



## Защитные перчатки нового поколения: актуальные тенденции технологических решений и перспективы применения (научный обзор)

Захарова Ю.А.<sup>1✉</sup>, Новиков В.А.<sup>1</sup>, Андреев С.В.<sup>1</sup>, Макарова М.А.<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Федеральный научный центр гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана, Москва, Россия;

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии имени Пастера, Санкт-Петербург, Россия;

<sup>3</sup>Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия

### Аннотация

**Введение.** Защитные перчатки широко используют в медицине, они обеспечивают уровень биологической защиты пациентов и медицинского персонала. Вместе с тем существует риск развития инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи, у сотрудников и пациентов при их ненадлежащем применении. Значимой проблемой является рост медицинских отходов и их утилизация. В этой связи разработка новых подходов к обеспечению максимальной защиты персонала и пациентов, минимизации риска инфицирования, благодаря созданию защитных перчаток на основе биоразлагаемых полимерных материалов с антимикробным покрытием, является актуальной эпидемиологической и экологической задачей.

В статье обсуждаются современные технологии и возникающие проблемы при получении новых материалов для создания защитных перчаток с антимикробными свойствами при использовании производных гуанидина, четвертичных аммониевых соединений, хлорированных фенолов, эфирных масел, соединений йода, солей серебра, частиц и наночастиц металлов и их оксидов, экстрактов растительных масел, анилиновых красителей. Введение таких бионаполнителей, как крахмал и наноцеллюлоза, будет способствовать улучшению биоразлагаемых свойств при сохранении необходимых физико-химических характеристик. Разработка новых композитных материалов с улучшенными характеристиками биodeградации в форме термопластичных эластомеров, полилактида и поликапролактона позволит решить проблему утилизации отходов из синтетического каучука.

**Заключение.** Анализ современной научной литературы определил высокий интерес в мире к созданию защитных перчаток с антимикробными свойствами на основе биоразлагаемых материалов. Однако их применение, кроме непосредственного подавления роста патогенной микрофлоры, может дополнительно нести ряд проблем, связанных с влиянием на здоровье человека и экосистему. Для успешной реализации данного направления важно продолжать научные исследования по приданию перчаткам заявленных свойств с использованием эффективных, надёжных и безопасных технологий с разработкой унифицированных методик и протоколов оценки антимикробной активности для последующего широкого внедрения в практику. Создание биоразлагаемых защитных перчаток имеет большие перспективы, поскольку будет способствовать снижению риска распространения инфекций в медицинских организациях и внесёт существенный вклад в охрану окружающей среды.

**Ключевые слова:** защитные перчатки, антимикробные свойства, функциональные материалы, научный обзор, биоразлагаемые компоненты

**Источник финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Для цитирования:** Захарова Ю.А., Новиков В.А., Андреев С.В., Макарова М.А. Защитные перчатки нового поколения: актуальные тенденции технологических решений и перспективы применения (научный обзор). *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии*. 2025;102(5):635–646.

DOI: <https://doi.org/10.36233/0372-9311-715>

EDN: <https://www.elibrary.ru/YTNXJP>

Review

<https://doi.org/10.36233/0372-9311-715>

## Next-Generation Protective Gloves: Current Trends in Technological Solutions and Application Prospects (Scientific Review)

Yulia A. Zakharova<sup>1✉</sup>, Vyacheslav A. Novikov<sup>1</sup>, Sergey V. Andreev<sup>1</sup>, Mariia A. Makarova<sup>2,3</sup><sup>1</sup>F.F. Erisman Federal Scientific Center of Hygiene, Moscow, Russia;<sup>2</sup>Saint-Petersburg Pasteur Institute, St. Petersburg, Russia;<sup>3</sup>North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, St. Petersburg, Russia

### Abstract

**Introduction.** Protective gloves are widely used in medicine to provide biological protection for patients and medical staff. However, if gloves are used improperly, there is a risk of healthcare-associated infections (HAIs) for both staff and patients. A significant problem is the resulting growth in medical waste and its disposal. Therefore, developing new approaches to ensure maximum protection for staff and patients, and minimize the risk of infection, by creating protective gloves based on biodegradable polymer materials with an antimicrobial coating, is an urgent epidemiological and environmental objective.

This paper discusses modern technologies and emerging issues in the creation of new materials for protective gloves with antimicrobial properties. These materials can be made using guanidine derivatives, quaternary ammonium compounds (QACs), chlorinated phenols, essential oils, iodine compounds, silver salts, metal oxides and metal nanoparticles and oxides, vegetable oil extracts, aniline dyes. The introduction of biofillers such as starch and nanocellulose will help improve biodegradability. They will also help maintain the necessary physical and chemical characteristics. The problem of synthetic rubber waste disposal can be solved by the development of new composite materials with improved biodegradation characteristics. These materials are in the form of thermoplastic elastomers (TPE), polylactide (PLA) and polylactone (PLC).

**Conclusion.** A review of the scientific literature revealed a significant global interest in the creation of protective gloves with antimicrobial properties made from biodegradable materials. However, in addition to directly suppressing the growth of pathogenic microflora, their use may also pose a number of problems related to their impact on human health and the ecosystem. The successful implementation of this direction hinges on the continuation of scientific research on imparting the declared properties to gloves. This research should use effective, reliable and safe technologies, as well as the development of unified methods and protocols for assessing antimicrobial activity. Once these are in place, the research can be implemented widely in practice. The production of biodegradable protective gloves offers significant potential, as it will help to reduce the risk of infection spreading in healthcare organizations and contribute to environmental protection.

**Keywords:** *protective gloves, antimicrobial properties, functional materials, review, biodegradable components*

**Funding source.** This study was not supported by any external sources of funding.

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

**For citation:** Zakharova Yu.A., Novikov V.A., Andreev S.V., Makarova M.A. Next-generation protective gloves: current trends in technological solutions and application prospects (scientific review). *Journal of microbiology, epidemiology and immunobiology*. 2025;102(5):635–646.

DOI: <https://doi.org/10.36233/0372-9311-715>

EDN: <https://www.elibrary.ru/YTNXJP>

### Введение

Развитие человеческого потенциала и охрана окружающей среды являются важными задачами, определяющими внутреннюю политику государства, и требуют совершенствования комплекса мер по созданию условий для укрепления здоровья граждан, увеличения ожидаемой продолжительности жизни, снижения смертности, профилактики инфекционных болезней, включая инфекции, связанные с оказанием медицинской помощи (ИСМП),

которые Указом Президента Российской Федерации определены в качестве биологической угрозы<sup>1</sup>.

ИСМП являются одной из ключевых проблем мирового здравоохранения [1, 2]. Каждый день от 7 до 15 пациентов из 100 приобретают их в стационаре.

<sup>1</sup> Указ Президента РФ от 11.03.2019 № 97 «Об Основах государственной политики Российской Федерации в области обеспечения химической и биологической безопасности на период до 2025 года и дальнейшую перспективу».

наре, каждый 10-й умирает<sup>2</sup>. Наибольшую значимость вопросы профилактики ИСМП традиционно имеют в учреждениях родовспоможения [3, 4] и в хирургических стационарах [5]. Актуальность возрастает в связи со сложной демографической ситуацией, а также ростом стихийных бедствий, техногенных катастроф и военных конфликтов. В формировании эпидемических очагов ИСМП, кроме бактериальных патогенов, устойчивость которых к антимикробным препаратам и биоцидам приобрела глобальный характер, растёт роль вирусов, включая респираторные [6] и кишечные [7]. Остаётся высокой значимость возбудителей гемоконтактных вирусных инфекций [8]. Перечисленное выше предполагает усиление мер неспецифической профилактики ИСМП, в частности, совершенствование средств индивидуальной защиты.

### Современные проблемы использования защитных перчаток в медицине

Защитные перчатки являются важнейшим атрибутом каждого медицинского работника. Как средства индивидуальной защиты (СИЗ) одноразового применения они предназначены для создания барьера между пациентом и медицинским персоналом при выполнении профессиональных обязанностей. Медицинские перчатки, кроме основных защитных свойств (непроницаемость для микроорганизмов, герметичность, прочность, безопасность для здоровья пациента и персонала), должны обладать удовлетворительными потребительскими свойствами (удобство/комфортность, качественная упаковка и маркировка, простота утилизации, функциональность)<sup>3</sup>.

В зависимости от степени инвазивности медицинских манипуляций и риска инфицирования пациента защитные перчатки делят на хирургические и диагностические/смотровые. Хирургические перчатки должны быть стерильными. Диагностические/смотровые перчатки могут быть стерильными или нестерильными. Нестерильные перчатки используют в качестве мер стандартной предосторожности при работе с пациентами, инфицированными и/или колонизированными резистентными штаммами микроорганизмов, и лицами, инфицированными вирусами — возбудителя-

ми гемоконтактных инфекций (вирусы гепатитов В и С, ВИЧ и др.).

В зависимости от материала защитные перчатки делят на латексные, синтетические и комбинированные. В настоящее время большинство производителей защитных перчаток используют в качестве основы природный или синтетический латекс [9]. Изделия из натурального латекса (резины) производят из сока растения *Hevea brasiliensis*, они более комфортны [10–12]. В России преимущественно используют латексные перчатки. Материал дает чувство удобства при контакте с кожей рук, что обеспечивается его высокой эластичностью и способностью абсорбировать пот. Несмотря на положительные свойства, натуральный латекс часто вызывает аллергические реакции — до 25% медсестёр, использующих латексные перчатки, отмечают у себя симптомы дерматита [13]. В связи с этим большинство медицинских работников предпочитают перчатки из синтетических материалов: винила, неопрена, полиуретана и нитрила. Они более прочные и стойкие к воздействию химических веществ, при этом более тонкие, что обеспечивает высокую чувствительность пальцев рук. Чаще других используют перчатки из нитрила, реже — из поливинилхлорида и полихлоропрена [14, 15]. Такие перчатки не имеют пор, однако уступают латексным в прочности и эластичности, их целостность, в противоположность латексным, не восстанавливается при микрповреждениях.

Одна из разновидностей перчаток повышенной прочности — кольчужные. В нашей стране их используют до сих пор, но они защищают только от порезов, а не от проколов. В этой связи в европейских лечебных организациях и в современных российских клиниках в практику входят двойные перчатки. При их использовании риск контакта рук хирурга с кровью пациента сокращается с 70 до 2%, а при перфорации внешней перчатки внутренняя остается неповреждённой в 87% случаев [16]. При использовании двух пар перчаток, надетых одна поверх другой, кожа значительно лучше защищена от попадания крови, чем при применении одинарных перчаток. Вместе с тем обнаружить повреждения в двойных перчатках так же сложно, как в одинарных.

В 1993 г. на европейском рынке появились двойные перчатки с индикацией прокола, получившие к настоящему времени широкое распространение. Принцип достаточно прост, но эффективен. Нижняя перчатка отличается от верхней по цвету. Жидкость (кровь, промывные воды и пр.) при повреждении наружной перчатки оказывается между перчатками, и в области прокола образуется контрастное пятно, которое сигнализирует о перфорации. Таким образом, при использовании перчаток с индикацией выявляется до 97% проколов, а при использовании одного слоя перчаток — лишь 8% [16].

<sup>2</sup> WHO launches first ever global report on infection prevention and control. 2022. URL: <https://www.who.int/news/item/06-05-2022-who-launches-first-ever-global-report-on-infection-prevention-and-control> (дата обращения: 06.05.2022).

<sup>3</sup> МР 3.5.1.0113-16 «Использование перчаток для профилактики инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи, в медицинских организациях» (утв. Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации А.Ю. Поповым 02.09.2016).

В зависимости от вида материала перчатки должны соответствовать разным стандартам. Для нитриловых смотровых перчаток это стандарт ASTM D6319-19 «Standard Specification for Nitrile Examination Gloves for Medical Application», для смотровых перчаток из натурального латекса — ASTM D3578-19 «Standard Specification for Rubber Examination Gloves», для перчаток из поливинилхлорида — ASTM D5250-19 «Standard Specification for Poly(vinyl chloride) Gloves for Medical Application». В стандарте EN 374-2:2014 «Protective gloves against dangerous chemicals and microorganisms — Part 2: Determination of resistance to penetration, IDT» представлен метод оценки на проницаемость микроорганизмами, обеспечивающий минимальный уровень защиты 2 (перчатка, устойчивая к проникновению воздуха и воды, прошедшая испытания на утечку, считается устойчивой к микроорганизмам). Обновлённый стандарт ввёл новые требования к проведению испытаний по оценке защиты от вирусов (в дополнение к грибкам и бактериям), ISO 16604 — к оценке защиты от контакта с кровью и биологическими жидкостями как готового изделия, так и самого материала.

Ни один из видов перчаток не является абсолютно непроницаемым для микроорганизмов. Проникновение инфекционного агента внутрь перчаток может происходить через микротравмы и поры, размеры которых сопоставимы с размерами микроорганизмов. Попавшая внутрь перчаток жидкость чаще локализуется в области большого пальца и на кончиках пальцев, и только в 30% случаев эти дефекты замечаются пользователями. Среднестатистическая частота таких «незамеченных» проколов во время хирургических вмешательств составляет 34,7–92% [17]. Частота повреждений хирургических перчаток во время ортопедических операций может достигать 26,1%, при этом в 82% случаев они остаются незамеченными [18]. Имеют место различия в частоте проколов перчаток у врачей и медсестёр. Так, из 1457 обследованных перчаток врачей повреждёнными оказались 17,3%, а из 325 сестринских — 23,7% [19].

Несмотря на то что современные технологии позволили существенно улучшить механические свойства перчаток, даже их двойное использование (две перчатки на одной руке) не может исключить проникновение микроорганизмов при проколах и других механических повреждениях. М.Н. Bardorf и соавт. провели оценку влияния в случае прокола защитных свойств хирургических перчаток из таких материалов, как латекс, нитрил, неопрен [20]. Установлено, что проникновение микроорганизмов зависело от жёсткости или эластичности материала. В работе А.Н. Goldman и соавт. более 50% (из 33 пар) наружных перчаток при ортопедических операциях имели макро- или микроперфорации по

причине контакта с хирургическими вращающимися инструментами (сверла) [21]. А. Wolfensberger и соавт. отмечали, что в 14% случаев микроорганизмы попадали на руки с перчаток при их снятии [22]. В этой связи при выборе типа хирургических перчаток необходимо принимать во внимание особые условия видов оперативных вмешательств, которые могут быть удовлетворены за счёт дополнительных свойств перчаток.

Производителями медицинских изделий предложены для внедрения в практику как высокоэффективная мера перчатки с внутренним антибактериальным покрытием. Защитный механизм одной из разновидностей таких перчаток базируется на технологии активного покрытия, содержащего в составе хлоргексидина биглюконат с широким спектром антимикробного действия [23].

Серьёзная ошибка, которую часто допускает медицинский персонал, работая в перчатках (прежде всего в опудренных), — обработка их спиртовыми растворами. Доля сотрудников, которые не меняют перчатки, обрабатывая их спиртом, или меняют перчатки лишь при контакте с кровью, согласно опросам (анкетированию) составляет 6,5% [24]. Известно, что спиртовые растворы разрушают верхний защитный слой перчаток, делая их проницаемыми для микроорганизмов и образуя «компресс» из пудры в виде смеси кожного антисептика и «перчаточного сока», что может привести к послеоперационным спаечным образованиям у пациента и отрицательно влиять на заживление раны. Пудра с перчаток сотрудника лаборатории, попав в биологическую пробу, также может привести к ложноотрицательным результатам при исследовании сыворотки крови на ВИЧ [16].

Перчатки не рекомендуется обрабатывать антисептическими и дезинфицирующими средствами, что подтверждено экспериментальными исследованиями. Установлено проникновение *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus* через латексные медицинские перчатки без антисептика через 30 мин — в 15% случаев, через 60 мин — в 25%, а через перчатки тех же видов, но обработанных антисептиком, — в 29,2 и 45,5% соответственно [25].

Важной проблемой остаются случаи мытья рук в перчатках с мылом персоналом в промежутках между оказанием помощи разным пациентам или между проведением манипуляций с одним и тем же пациентом, что не рекомендовано, однако на практике происходит довольно часто. Руки также могут соприкасаться с потенциально загрязнённой внешней поверхностью перчаток во время их снятия. Проведённые А.Р. Tenorio и соавт. исследования в отношении ванкомицин-резистентных энтерококков установили, что, несмотря на использование перчаток, эти патогены обнаруживали на руках персонала после снятия перчаток в 30% случаев [26].

Перечисленное выше позволило сделать вывод о недостаточной эффективности защиты рук медицинского персонала и пациентов при использовании современных видов защитных перчаток и необходимости дополнительного внесения в их состав антимикробных компонентов. Рост числа устойчивых к антибиотикам и дезинфицирующим средствам микроорганизмов диктует необходимость поиска новых антимикробных наполнителей, к которым в меньшей степени будет развиваться резистентность. Прежде всего речь идёт об отделениях стационаров с высокой циркуляцией внутрибольничных штаммов микроорганизмов, где применение защитных перчаток с антимикробным эффектом будет наиболее востребованным.

### **Рост объёмов медицинских отходов как ведущая экологическая проблема**

В медицинских организациях одноразовые перчатки после использования подлежат обеззараживанию/обезвреживанию как медицинские отходы соответствующего класса (как правило, классов Б или В, в некоторых случаях Г или Д)<sup>4</sup>. Представляя эпидемиологическую опасность, медицинские отходы являются куда более значимой угрозой, чем большинство иных отходов производства и потребления [27]. Изменение методов диагностики и лечения пациентов, резкий рост спроса на медицинский инструментарий одноразового применения существенно повлияли на морфологический состав больничных отходов, скорость их формирования и накопления.

Медицинские отходы сложны и разнообразны, многие их компоненты являются опасными по микробиологическому составу. Важным является не только санитарно-эпидемиологическая безопасность, но и экономическая эффективность их обеззараживания/обезвреживания. Обеспечение эпидемиологической и экологической безопасности обращения с медицинскими отходами требует активного межведомственного взаимодействия и правового регулирования [28].

По данным ВОЗ, образование медицинских отходов в мире возрастает ежегодно и к 2021 г. уже составило 2,27 кг на человека в день. В развивающихся странах медицинских отходов образуется в 2–3 раза больше, чем в развитых странах [29]. По

данным агентства по охране окружающей среды США, около 20% медицинских отходов формируются в больницах, 15% — в лабораториях, 35% — в домах престарелых, 30% — в клиниках первой помощи и других учреждениях здравоохранения<sup>5</sup>. Наряду с этим в 2020 г., как отмечено в докладе ООН, в развитых странах мира в 30% медицинских учреждений, а в наименее развитых в 60% отсутствовало оборудование для утилизации отходов [30]. В России в 2021 г. образовалось порядка 8,448 млрд т отходов [31], из них 3,5 млн т — медицинских [32].

Использование СИЗ на основе синтетических материалов (полипропилен, полиуретан и полиакрилонитрил в масках, а также латекс, винил, полиэтилен и нитрил в перчатках) представляет собой серьёзную экологическую проблему загрязнения окружающей среды в виде не только твёрдых отходов, но и пластиковых частиц, образовавшихся в результате их фрагментации. Эти частицы не поддаются биологическому разложению, могут длительное время оставаться в окружающей среде и представлять серьёзную опасность для представителей водной и наземной фауны и флоры. Так, по подсчётам специалистов, только количество одноразовых масок для лица, которые попали в Мировой океан в 2020 г., оценивалось в 1,56 млрд единиц [33].

Прогресс медицинских технологий неизбежен, однако влечёт значительные объёмы увеличения медицинских отходов. В этой связи ведётся поиск как новых технологий обезвреживания и уничтожения, так и принципов управления количеством отходов. Открытое сжигание медицинских отходов или сжигание иным ненадлежащим способом приводят к выбросу диоксинов, фуранов и твёрдых частиц в воздух, загрязняя окружающую среду [34].

В этой связи задача по приданию защитным перчаткам не только антимикробных свойств, но и максимально возможных биоразлагаемых компонентов является одним из важных профилактических и экологических направлений по минимизации рисков возникновения и распространения инфекционных болезней, сохранения здоровья населения в условиях безопасной и комфортной среды обитания.

### **Новые материалы для получения перчаток с антимикробными свойствами**

Антимикробные компоненты, которые могли бы быть включены в состав материала защитных перчаток из натурального или синтетического каучука, представлены производными гуанидина (соли хлоргексидина и полигексаметилен бигуанида),

<sup>4</sup> Раздел X СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий» (утв. Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации А.Ю. Поповой 28.01.2021).

<sup>5</sup> National Overview: Facts and Figures on Materials, Wastes and Recycling / US EPA. <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/national-overview-facts-and-figuresmaterials> (дата обращения: 29.04.2023).

солями четвертичных аммониевых соединений, хлорированными фенолами (триклозан), эфирными маслами (фарнезол, феноксиэтанол, октоксиглицерин), соединениями йода, солями серебра, наночастицами металлов и их оксидов, а также экстрактами некоторых растительных масел (горечавка фиолетовая), анилиновыми красителями (бриллиантовый зелёный), соединениями на основе хитозана, куркумы и подобными веществами [35]. Ковалентно связывая антибактериальный агент с полимерными поверхностями, можно добиться стойкого эффекта и «самообеззараживания» материала. Как вероятные антимикробные компоненты рассматриваются металлы и их оксиды, в частности частицы серебра, оксида цинка, меди, а также композитные материалы на их основе [36–38].

В работе X. Chen и соавт. для придания натуральному латексу антимикробных свойств в его состав (до вулканизации) были добавлены вис커еры карбоната кальция (CaCO<sub>3</sub>), тетраподоподобные вис커еры оксида цинка (T-ZnO), а также вис커еры оксисульфата магния в виде игл и частиц произвольной формы (MgOSw) [39]. Антимикробную активность изучали методом Оксфордской чашки и суспензионным методом. В качестве тест-микроорганизмов использовали *E. coli*, *S. aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* и *S. epidermidis*. Наилучшие результаты в отношении всех микроорганизмов были получены для образцов, содержащих оксид цинка. Несколько ниже отмечали антимикробную активность у материалов, содержащих карбонат кальция. Образцы на основе оксисульфата магния проявили антимикробный эффект лишь в отношении *P. aeruginosa*. Полученные результаты подтвердили тот факт, что T-ZnO активизирует активную окислительную группу (ОН), приводящую к гибели микроорганизмов.

E. Smiechowicz и соавт. предложили использовать для создания защитных перчаток целлюлозное волокно [40]. В состав волокон были введены наночастицы кремния с иммобилизованными наночастицами серебра. Авторы ограничились лишь результатами физико-химических свойств материала (прочность, паропроницаемость, устойчивость к механическому воздействию и изменению pH), не указав антимикробную активность.

В работе T. Agrornwichanor и соавт. установлен частичный антимикробный эффект добавки к натуральному латексу в виде N,N,N-триметилхитозана, сорбированного на поли(метилметакрилате) и стабилизированного наночастицами кремния в отношении грамположительных и грамотрицательных микроорганизмов [41]. Выраженное антимикробное действие данной композиции было установлено лишь для грамположительного *S. aureus*.

Оксид графена, а также его производные обладают широким спектром противовирусного

действия в отношении ДНК- и РНК-содержащих вирусов, включая оболочечные и безоболочечные вирусы. Материалы на основе графена, индуцированные лазером, демонстрировали антибактериальные свойства [42]. Исследования эффективности их применения до настоящего времени проводились исключительно в лабораторных условиях, а данные литературы, подтверждающие эффективность при апробации в практических условиях, отсутствуют.

Высокие антибактериальные свойства выявлены при введении в натуральный латекс частиц серебра, осаждённых на оксиде графена. Антимикробную активность композитных материалов T. Li и соавт. оценивали по площади зон задержки роста культур тест-микроорганизмов *E. coli* и *S. aureus* в эксперименте с этими добавками [43]. Синтезированные материалы продемонстрировали высокую антибактериальную активность, вместе с тем, авторам так и не удалось установить связь между величиной зон задержки роста и концентрацией синтезированной добавки. Механизм антимикробного действия при этом объясняли активным выделением ионов серебра Ag<sup>+</sup> и их взаимодействием с тиольными SH-группами в составе белковых молекул микроорганизмов.

L.A. Alshabanah и соавт. провели исследования полимерного композитного материала, в составе которого также присутствовали наночастицы серебра размером 17–51 нм [44]. В качестве матрицы выбран поливиниловый спирт или термопластичный полиуретан. Антимикробные свойства оценивали аналогично по зонам задержки роста микроорганизмов (*S. aureus* и его метициллин-резистентный вариант (MRSA), *E. coli*, *Acinetobacter baumannii* и *Klebsiella pneumoniae*). Установлена высокая антимикробная активность материала на основе полиуретана с содержанием 4% наночастиц серебра в отношении всех тестируемых штаммов.

M. Kahar Bador и соавт. описали способ придания нитриловым перчаткам антимикробных свойств за счёт нанесения на их поверхность полигексаметиленбигуанид гидрохлорида [45]. Оценку эффективности проводили с привлечением медицинского персонала из отделения интенсивной терапии. Определяли количество выросших на питательном агаре колониеобразующих единиц (КОЕ/мл) микроорганизмов в результате посева проб (смывы с перчаток) после выполнения персоналом четырех манипуляций (внутривенное введение раствора, уход за полостью рта пациента, проведение физиотерапевтических процедур, смена постельного белья). Исследования проводили параллельно с использованием стандартных нитриловых перчаток без полигексаметиленбигуанид гидрохлорида (контроль). В первых трех из четырех видов манипуляций антибактериальные перчатки имели менее выраженное бактериальное загрязнение относительно

контроля. При смене постельного белья существенная разница в бактериальной контаминации перчаток в группах не наблюдалась.

S. Ali и соавт. изучали влияние антимикробного действия полигексаметиленбигуанид гидрохлорида на выживаемость *Streptococcus pyogenes*, карбапенем-резистентной *E. coli*, MRSA и *K. pneumoniae* [46]. Через 15 мин после нанесения на необработанные перчатки (1 см<sup>2</sup>) суспензии (10 мкл), содержащей 10<sup>4</sup> КОЕ/мл бактериальной культуры, независимо от типа загрязнения, перечисленные бактерии сохраняли исходный уровень концентрации. Перчатки, обработанные полигексаметиленбигуанид гидрохлоридом, снижали уровень микробной контаминации на 99,99% в течение 10 мин контакта. Однако антимикробные свойства таких перчаток имели сильную зависимость от наличия биологических загрязнений (кровь, органические соединения и пр.).

В работе M. Suchomel и соавт. изучено влияние хлоргексидин биглюконата на выживаемость микроорганизмов кожи рук хирургов после ношения перчаток в течение 3 ч [47]. Предварительно руки обрабатывали кожным антисептиком, содержащим 60% (об.) *n*-пропанола. Ношение хирургических перчаток, содержащих хлоргексидин биглюконат, приводило к снижению количества микрофлоры на 2,67 lg. При необработанных перчатках степень снижения была менее выражена (от 1,96 lg до 1,68 lg,  $p \leq 0,01$ ).

J. Leitgeb и соавт. в аналогичном исследовании (с хлоргексидин биглюконатом) установили высокую степень антимикробной защиты рук спустя 2 ч ношения перчаток [48]. В эксперименте принимали участие 16 здоровых взрослых добровольцев. Они надевали на одну руку перчатку с хлоргексидин биглюконатом (опыт), на другую — без него (контроль), после 2 ч ношения выполняли определённые движения пальцами, снимали перчатки с рук. В дальнейшем на внутреннюю поверхность срезаемых у перчаток пальцев наносили тест-микроорганизмы *S. aureus* (ATCC 6538) или *K. pneumoniae* (ATCC 4352) в количестве 10<sup>8</sup> КОЕ/мл. Основным критерием оценки считали среднее количество жизнеспособных форм, выраженное в КОЕ, после 5-минутного контакта с тест-микроорганизмами. В пробах перчаток, обработанных хлоргексидин биглюконатом, среднее количество *S. aureus* оказалось ниже относительно контрольной группы на 6,24 lg, а *K. pneumoniae* — на 6,22 lg.

Эффективной добавкой к натуральному латексу являются четвертичные аммониевые соединения. A. Arakkal и соавт. установили, что введение в состав полимерного прекурсора четвертичного поли(4-винилпиридина) обеспечивало необходимую степень защиты (99,99%) в отношении клинических изолятов *P. aeruginosa* (PAO1) и *A. baumannii* (C80) [49].

В нескольких научных работах W. Моораяк и соавт. для придания перчаткам антимикробных свойств использовали кожуру мангостана [50]. В качестве активных компонентов выступали ксантоны — вторичные метаболиты, встречающиеся также в растениях, грибах и лишайниках. Ксантонам приписывают антиоксидантные, противораковые, противовоспалительные, противоаллергические, антибактериальные, противогрибковые и противовирусные свойства. В качестве бионаполнителя применяли натуральную резину. Добавление порошка кожуры мангостана улучшало антимикробные свойства резиновых перчаток без ущерба их физико-механическим характеристикам. При этом токсичность материала была существенно ниже относительно экземпляров с нитратом серебра.

Композитный материал на основе порошка мангостана и оксида цинка описан M. Luengchavanon и соавт. [51]. Антимикробный компонент был нанесён на поверхность обычных нитриловых перчаток. Минимальная ингибирующая концентрация для MRSA составила 160 мкг/мл. Установлено высокое ингибирующее действие в отношении *K. pneumoniae*. Несмотря на высокую эффективность представленного авторами способа, для достижения эффекта потребовался длительный контакт микроорганизмов с поверхностью — не менее 30 мин, что в реальных условиях труднодостижимо.

Одним из перспективных антимикробных компонентов растительного происхождения считается экстракт алоэ. H. Khanzada и соавт. в эксперименте установили методом электроспиннинга высокую антимикробную эффективность волокон поливинилацетата с экстрактом алоэ в отношении *S. aureus* и *E. coli* [52].

Введение в состав перчаток антимикробных добавок может способствовать в ряде случаев расширению их функциональных возможностей. Так, C. Salvadores Fernandez и соавт., нанеся на нитриловые перчатки композитный материал, содержащий оксид цинка, и интегрируя в материал перчаток гибкие электрические контакты, получили на кончиках пальцев сверхчувствительный слой, который, как заявляют авторы, может быть использован в качестве инструмента диагностики [53]. Они успешно применили такие перчатки для исследования повреждения сфинктера свиньи в эксперименте *ex vivo*.

Новый подход к созданию «самоочищающихся» защитных перчаток, основанный на действии электрического тока в результате трения нейлона и силиконовой резины, предложен S. Bayan и соавт. [54]. Небольшое биоэлектрическое устройство (2 × 2 см), состоящее из силиконовой резины и нейлона (нанесённых на нитрил), генерировало более 20 В переходного напряжения или 41 мкВт выходной мощности, что было достаточно для

зарядки конденсатора до 65 В всего за ~ 50 с. При этом выделяющаяся энергия была использована для уничтожения микроорганизмов, попадающих на поверхность. Так, для снижения количества *P. aeruginosa* и *E. coli* эффективность метода составила 50–70%.

Е.М. Klupp и соавт. изучили антимикробную активность смотровых перчаток со светоактивируемыми свойствами [55]. Эксперимент проведён в практических условиях в отношении грамположительных микроорганизмов. Контаминацию поверхностей перчаток в соответствии со стандартизированной методикой (ASTM D7907) проводили суспензией *Enterococcus faecium* (ATCC 6057) и его ванкомицин-резистентным вариантом, а также MRSA (ATCC 43300). Результаты свидетельствовали о недостаточной активности применяемого способа в отношении используемых штаммов. Уровень снижения контаминации составлял менее  $1 \log_{10}$  при экспозиции воздействия света 10 мин. Авторы пришли к выводу о неэффективности метода.

В работе D. Patil и соавт. описан способ придания нитрилу антимикробных свойств без добавления действующего вещества [56]. На поверхности перчаток методом реактивного ионного травления был создан определённый нанотопографический рисунок, напоминающий крыло цикады. Изменённая структура поверхности приводила к гибели более 85% изолятов *P. aeruginosa*, при этом эффективность антимикробного свойства такого материала имела чёткую зависимость от структуры поверхности.

### Современные подходы к созданию биоразлагаемых защитных перчаток

Полимерные материалы, в том числе синтетический каучук, требуют значительного времени для разложения в природных условиях — около 3 лет [57]. Одной из причин длительного пребывания в окружающей среде в неизменённом виде является синтетическое происхождение каучуков, для производства которых используется сырьё из ископаемого топлива. Разнообразие мономеров, применяемых для синтеза каучука, привело к созданию множества видов синтетических каучуков, однако их утилизация по-прежнему затруднена. Управление отходами резиновых изделий в конце их жизненного цикла представляет глобальную экологическую проблему современности.

На скорость разложения в природе перчаток, как и любых других материалов, оказывают влияние многочисленные факторы, к которым можно отнести виды почвенных микроорганизмов, температуру, pH среды, а также наличие в составе материала химических добавок. Известно, что синтетический каучук можно комбинировать с термопластами. Полученные при этом термопластичные эластомеры будут обладать одновременно термопластичными

и эластомерными свойствами. Термопластичные свойства позволят их эффективнее перерабатывать.

Некоторые термопласты — полилактид (PLA) и поликапролактон (PCL) — имеют в своём составе гидролизуемые сложноэфирные связи, благодаря которым материалы на их основе демонстрируют хорошую гидролитическую деградацию [58]. Включение этих соединений в состав синтетического каучука может усилить биоразлагаемые свойства продукта. В настоящее время PLA, являясь полимером на биологической основе (производится из кукурузы или сахарной свеклы), широко используется при разработке экологически чистых пластиков, наполнителей для 3D-печати и в качестве компонента полимерных смесей. Термопластичный поли(эфир уретан), получаемый из PCL, гидрированного 4,4'-метиленидифенилдиизоцианата и цепеудлинителей различной длины (например, 2-этилмочевин диола, полученной из аминокислоты), полностью разлагается в течение 100 дней в щелочном растворе [59].

В качестве материалов для биоразлагаемых плёнок также могут применяться полиэфиры 1,4-бутандиола, 1,3-пропандиола и/или 2,3-бутандиола в комплексе с различными органическими кислотами, такими как молочная, себациновая, итаконовая и янтарная [60].

G.Y. Yew и соавт. указали на возможность использования других биологических добавок, полученных из пищевых продуктов, растений (водорослей) [61]. Опубликованы работы по применению бионаполнителей в эластомеры из целлюлозы, крахмала, хитозана, PLA или полигликолевой кислоты [62].

В качестве бионаполнителя для латекса предложен крахмал. S. Daud и соавт. провели экспериментальные исследования с крахмалом саго для улучшения биоразлагаемости плёнок из натуральной резины [63]. Крахмал саго с сульфатно-эфирными группами был получен путём обработки водным раствором серной кислоты в течение 7 дней при комнатной температуре. Размер частиц крахмала при этом первоначально составлял 1,233 мкм, а после процесса кислотного гидролиза уменьшался до 0,313 мкм, что позволило получить латексные плёнки с равномерно инкорпорированными частицами крахмала. Биоразлагаемость таких плёнок составляла за 3 нед до 25%.

R. Blanchard и соавт. описали применение в качестве бионаполнителя для натуральной резины нанокристаллической целлюлозы [64]. Однако убедительных данных об антимикробной активности таких плёнок авторами представлено не было.

### Заключение

Защитные перчатки являются важнейшим СИЗ, широко применяемым в различных сферах

деятельности, прежде всего в медицине. Выбор типа перчаток зависит от особенностей выполняемых работ и требований стандартов качества. Наиболее распространёнными материалами для изготовления перчаток являются нитрил, натуральный латекс и поливинилхлорид, соответствующие своим стандартам безопасности и эффективности. Современные международные стандарты, такие как ASTM и ISO, обеспечивают высокий уровень защиты от проникновения микроорганизмов, включая вирусы, бактерии и грибы. Однако исследования показывают, что даже при соблюдении всех мер предосторожности и использовании современных технологий существует риск проникновения микроорганизмов через повреждённые перчатки, особенно при выполнении сложных манипуляций, связанных с использованием острых инструментов.

Несмотря на значительные достижения в области производства защитных перчаток, остаётся необходимость дальнейшего совершенствования методов контроля качества и разработки новых подходов к обеспечению максимальной защиты работников. Это включает повышение осведомлённости персонала о правилах безопасного использования перчаток и внедрение инновационных решений для минимизации риска инфицирования.

Проблема утилизации отходов из синтетического каучука становится всё более актуальной ввиду сложности их разложения в естественных условиях. Несмотря на разнообразие синтетических каучуков, их длительное пребывание в окружающей среде создаёт серьёзные экологические проблемы. Современные исследования направлены на разработку материалов, обладающих улучшенными характеристиками биodeградации, таких как термопластичные эластомеры, содержащие гидролизуемые сложноэфирные связи, что позволит значительно ускорить процесс разложения. Использование биополимеров, таких как PLA и PCL, открывает перспективы для создания экологически чистых материалов, пригодных для широкого спектра приложений, включая производство одноразовых перчаток. Введение бионаполнителей, таких как крахмал и нанокристаллическая целлюлоза, будет способствовать улучшению биоразлагаемых свойств материалов, обеспечивая при этом сохранение необходимых физико-механических характеристик. Исследования в области модификации состава и структуры синтетических каучуков, направленные на увеличение скорости их биodeградации, необходимы для решения глобальной экологической проблемы, связанной с управлением отходами резиновых изделий. Использование комбинированных материалов, включающих как традиционные синтетические компоненты, так и биоразлагаемые добавки, представляется перспективным научным направлением развития индустрии полимерных материалов.

Анализ данных современной научной литературы продемонстрировал значительный рост интереса к разработке защитных перчаток с антимикробными свойствами. Несмотря на очевидную привлекательность идеи придания перчаткам антибактериальных качеств, её реализация сталкивается с рядом серьёзных технических и медицинских проблем. Важно учитывать не только эффективность противомикробных компонентов, но и их потенциальное воздействие на здоровье медицинского персонала, пациентов и окружающую среду. Необходимость разработки единых критериев оценки антимикробной активности и определения рисков требует комплексного рискориентированного подхода, учитывающего интересы всех заинтересованных сторон. Отсутствие унифицированных методик тестирования затрудняет сравнение результатов различных исследований и препятствует выработке общих рекомендаций по использованию антимикробных добавок.

Таким образом, для успешного продвижения идеи создания «антисептических» перчаток важно проводить дальнейшие научные исследования, направленные на создание надёжных и безопасных способов введения активных веществ, разрабатывать стандартные протоколы оценки антимикробной активности для последующего внедрения в практику здравоохранения.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ | REFERENCES

1. Konnor R. 2021 national and state healthcare-associated infections progress report;2022. Available at: <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/122407>
2. Акимкин В.Г., Брусина Е.Б., Брико Н.И., Тутельян А.В. Инфекции, связанные с оказанием медицинской помощи: состояние проблемы и перспективы. *Вестник Российской академии медицинских наук*. 2024;79(5):406–15. Akimkin V.G., Brusina E.B., Briko N.I., Tutelyan A.V. Healthcare-associated infections: state of the problem and prospects. *Annals Of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2024;79(5):406–15. DOI: <https://doi.org/10.15690/vramn17998> EDN: <https://elibrary.ru/gssqnk>
3. Брико Н.И., Фельдблюм И.В., Зуева Л.П. и др. Организация и проведение эпидемиологического наблюдения и микробиологического мониторинга в учреждения родовспоможения. Федеральные клинические рекомендации. М.;2015. Briko N.I., Feldblum I.V., Zueva L.P., et al. Organization and conduct of epidemiological surveillance and microbiological monitoring in obstetric institutions. Federal clinical guidelines. Moscow;2015.
4. Захарова Ю.А., Николаева А.М., Фельдблюм И.В. Ведущие факторы риска развития внутрибольничных гнойно-септических инфекций в акушерских стационарах. *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии*. 2007;84(6):72–5. Zakharova Yu.A., Nikolaeva A.M., Feldblum I.V. Leading risk factors of development of nosocomial pyogenic and septic infections in maternity hospitals. *Journal of Microbiology, Epidemiology and Immunobiology*. 2007;84(6):72–5. EDN: <https://elibrary.ru/iisqez>
5. Брусина Е.Б., Зуева Л.П., Ковалишенина О.В. и др. Инфекции, связанные с оказанием медицинской помощи: современная доктрина профилактики. Часть 1. Исто-

- рические предпосылки. *Эпидемиология и вакцинопрофилактика*. 2018;17(5):17–24. Brusina E.B., Zuyeva L.P., Kovalishena O.V., et al. Healthcare-associated infections: modern doctrine of prophylaxis. Part I. Historical background. *Epidemiology and Vaccinal Prevention*. 2018;17(5):17–24. DOI: <https://doi.org/10.31631/2073-3046-2018-17-5-17-24> EDN: <https://elibrary.ru/yqxuyx>
6. Акимкин В.Г., Захарова Ю.А., Игонина Е.П., Болгарова Е.В. Нозокомиальные респираторные вирусные инфекции: современное состояние проблемы. *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии*. 2019;(5):50–61. Akimkin V.G., Zakharova Yu.A., Igonina E.P., Bolgarova E.V. Nosocomial respiratory viral infections: state of the problems. *Journal of Microbiology, Epidemiology and Immunobiology*. 2019;(5):50–61. DOI: <https://doi.org/10.36233/0372-9311-2019-5-50-61> EDN: <https://elibrary.ru/akeima>
  7. Алимов А.В., Игонина Е.П., Фельдблюм И.В. и др. Современное состояние проблемы энтеровирусных (неполио) инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи. *Инфекция и иммунитет*. 2020;10(3):486–96. Alimov A.V., Igonina E.P., Feldblum I.V., et al. Current status of healthcare-associated enteroviral (non-polio) infections. *Russian Journal of Infection and Immunity*. 2020;10(3):486–96. DOI: <https://doi.org/10.15789/2220-7619-CSF-1161> EDN: <https://elibrary.ru/gfnvrh>
  8. Акимкин В.Г., Алимов А.В., Захарова Ю.А. и др. Обзор актуальных вопросов диагностики и профилактики гемоконтактных нозокомиальных вирусных инфекций. *Вопросы вирусологии*. 2019;64(6):262–7. Akimkin V.G., Alimov A.V., Zakharova Yu.A., et al. Review of current issues of diagnosis and prevention of blood-borne nosocomial viral infections. *Problems of Virology*. 2019;64(6):262–7. DOI: <https://doi.org/10.36233/0507-4088-2019-64-6-262-267> EDN: <https://elibrary.ru/gglwtm>
  9. Preece D., Lewis R., Carré M.J. A critical review of the assessment of medical gloves. *Tribol. Mater. Surf. In.* 2021;15(1):10–9. DOI: <https://doi.org/10.1080/17515831.2020.1730619>
  10. Parisi C.A.S., Kelly K.J., Ansotegui I.J., et al. Update on latex allergy: New insights into an old problem. *World Allergy Organ. J.* 2021;14(8):100569. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.waojou.2021.100569>
  11. von Grote E.C., Palaniswamy K., Meckfessel M.H. Managing occupational irritant contact dermatitis using a two-step skincare regimen designed to prevent skin damage and support skin recovery. *J. Drugs Dermatol.* 2016;15(12):1504–10.
  12. Gunasegaran J., Teh Y.Y., Lim C.K., Ng S.F. Review on prevalence, risk factors, and research advancements on the use of medical gloves concerning hand dermatitis among health care workers. *Saf. Health Work.* 2024;15(2):129–38. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2024.02.005>
  13. Горбачева Е.М., Ильюшина И.В., Шаматкова С.В. Перчатки в медицине (обзор литературы). *Смоленский медицинский альманах*. 2022;(1):80–3. Gorbachova E.M., Ilyushina I.V., Shamatkova S.V. Gloves in medicine. *Smolensk Medical Almanac*. 2022;(1):80–3. EDN: <https://elibrary.ru/uykfdb>
  14. Critchley E., Pemberton M.N. Latex and synthetic rubber glove usage in UK general dental practice: changing trends. *Heliyon*. 2020;6(5):e03889. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03889>
  15. Houston-Hicks M., Lura D.J., Highsmith M.J. Play hands protective gloves: technical note on design and concept. *Technol. Innov.* 2016;18(2-3):207–10. DOI: <https://doi.org/10.21300/18.2-3.2016.207>
  16. Юрченко С.А. Перчатки в системе профилактики гемоконтактных инфекций. *Медицинская сестра*. 2013;(8):31–4. Yurchenko S.A. Gloves in the system of prevention of blood contact infections. *Meditsinskaya sestra (The Nurse)*. 2013;(8):31–4. EDN: <https://elibrary.ru/rpcpnh>
  17. Болехан В.Н., Голота А.С., Крассий А.Б. и др. Инфекции, связанные с оказанием медицинской помощи: современное состояние проблемы. *Военно-медицинский журнал*. 2014;335(7):48–54. Bolekhan V.N., Golota A.S., Krassii A.B., et al. Healthcare-associated infections. the current state of the problem. *Military Medical Journal*. 2014;335(7):48–54. EDN: <https://elibrary.ru/sszhpl>
  18. Бояров А.А., Тихилов Р.М., Шубняков И.И., Мидаев А.И. Повреждение хирургических перчаток при эндопротезировании тазобедренного сустава. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста*. 2019;7(3):55–62. Boyarov A.A., Tikhilov R.M., Shubnyakov I.I., Midaev A.I. Glove damage in total hip arthroplasty. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 2019;7(3):55–62. DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS7355-62> EDN: <https://elibrary.ru/ohuhrz>
  19. Лавренова Е.В. Хирургические перчатки. Всегда ли безопасно? *Медицинская сестра*. 2011;(6):32–4. Lavrenova E.V. Surgical gloves: are they always safe? *Meditsinskaya sestra (The Nurse)*. 2011;(6):32–4. EDN: <https://elibrary.ru/obuubn>
  20. Bardorf M.H., Jäger B., Boeckmans E., et al. Influence of material properties on gloves' bacterial barrier efficacy in the presence of microperforation. *Am. J. Infect. Control*. 2016;44(12):1645–9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2016.03.070>
  21. Goldman A.H., Haug E., Owen J.R., et al. High risk of surgical glove perforation from surgical rotatory instruments. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2016;474(11):2513–17. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11999-016-4948-3>
  22. Wolfensberger A., Clack L., Kuster S.P., et al. Transfer of pathogens to and from patients, healthcare providers, and medical devices during care activity — a systematic review and meta-analysis. *Infect. Control Hosp. Epidemiol.* 2018;39(9):1093–107. DOI: <https://doi.org/10.1017/ice.2018.156>
  23. Разумова Д.В., Суборова Т.Н., Малышев В.В. Медицинские перчатки с внутренним антибактериальным покрытием — новации в области дезинфектологии. *Клиническая больница*. 2017;(1):24–7. Razumova D.V., Suborova T.N., Malichev V.V. Medical gloves with inner antibacterial coating — innovation of disinfectology. *The Hospital*. 2017;(1):24–7. EDN: <https://elibrary.ru/ylnkuj>
  24. Мононов Д. Изучение поведения медицинского персонала при проведении гемотрансфузионных вмешательств в медицинских учреждениях. *Евразийский союз ученых. Серия: медицинские, биологические и химические науки*. 2021;(5):37–43. Monov D. Study of the behavior of medical personnel during hemotransfusion interventions in medical institutions. *Eurasian Union of Scientists. Series: Medical, Biological and Chemical Sciences*. 2021;(5):37–43. EDN: <https://elibrary.ru/tklkfj>
  25. Сергеев В.И., Шарипова И.С., Маркович Н.И. и др. Оценка возможности проникновения возбудителей гнойно-септических инфекций через латексные медицинские перчатки. *Дезинфекционное дело*. 2010;(2):25–7. Sergeev V.I., Sharipova I.S., Markovitch N.I., et al. Value feasibility of entry agents of pyo-septic infection through medical latex gloves. *Disinfection Affairs*. 2010;(2):25–7. EDN: <https://elibrary.ru/mtbkuh>
  26. Tenorio A.R., Badri S.M., Sahgal N.B., et al. Effectiveness of gloves in the prevention of hand carriage of vancomycin-resistant enterococcus species by health care workers after patient care. *Clin. Infect. Dis.* 2001;32(5):826–9. DOI: <https://doi.org/10.1086/319214>
  27. Моторин Д.Е. К вопросу о развитии механизма регуляции медицинских отходов. *Правовая парадигма*. 2021;20(3):193–9. Motorin D.E. On the development of the

- mechanism for regulating medical waste. *Legal Concept*. 2021; 20(3):193–9. DOI: <https://doi.org/10.15688/lc.jvol2021.3.28> EDN: <https://elibrary.ru/qcoqmb>
28. Кiek О.В., Полуpанова Н.В., Черняева Н.О. и др. Обращение с медицинскими отходами в условиях современного здравоохранения – проблемы и пути решения. *Кубанский научный медицинский вестник*. 2022;29(3):121–34. Kiek O.V., Polupanova N.V., Chernyaeva N.O., et al. Medical waste management in today's healthcare: issues and progress. *Kuban Scientific Medical Bulletin*. 2022;29(3):121–34. DOI: <https://doi.org/10.25207/1608-6228-2022-29-3-121-134> EDN: <https://elibrary.ru/ttjzhi>
29. Хайруллаева Н.З., Токанова Ш.Е., Омарбеков Е.Д. и др. Вопросы организации безопасного обращения с отходами лечебно-профилактических учреждений. Обзор литературы. *Наука и здравоохранение*. 2023;25(6):246–59. Khayrullayeva N.Z., Tokanova Sh.E., Omarbekov E.D., et al. Issues of organizing safe management of waste from healthcare institutions. Review. *Science & Healthcare*. 2023;25(6):246–59. DOI: <https://doi.org/10.34689/SH.2023.25.6.027> EDN: <https://elibrary.ru/bvhpzc>
30. Vetoshkina E.D., Koshcheeva E.S., Smirnov M.A. Problems of legal regulation of medical waste disposal. *Theoretical and Applied Ecology*. 2021;(4):224–9. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2021-4-224-229> EDN: <https://elibrary.ru/rfqqa>
31. Минигазимов Н.С., Азнагулов Д.Р., Минигазимова Л.И. Токсичные отходы, образующиеся у населения. Проблемы сбора, обезвреживания и утилизации. *Медицина труда и экология человека*. 2023;(2):117–28. Minigazimov N.S., Aznagulov D.R., Minigazimova L.I. Toxicological waste generated by the population. problems and solutions. *Occupational Medicine and Human Ecology*. 2023;(2):117–28. DOI: <https://doi.org/10.24412/2411-3794-2023-10208> EDN: <https://elibrary.ru/lplfms>
32. Зинченко А.А. Разработка стратегии обращения с медицинскими отходами в Российской Федерации. *Отходы и ресурсы*. 2022;9(2):14. Zinchenko A.A. Development of a strategy for managing medical waste management in the Russian Federation. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*. 2022;9(2):14. DOI: <https://doi.org/10.15862/16NZOR222> EDN: <https://elibrary.ru/byklmg>
33. Круско О.В., Козлова С.А. Современное состояние проблемы загрязнения окружающей среды средствами индивидуальной защиты медицинского назначения. *Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета*. 2024;(21):367–76. Krusko O.V., Kozlova S.A. The current state of the problem of environmental pollution with personal protective equipment for medical purposes. *Collection of Scientific Papers of Angarsk State Technical University*. 2024;(21):367–76. EDN: <https://elibrary.ru/jgpxku>
34. Хамитова Г.М., Хабиров А.И. Правовое регулирование утилизации медицинских отходов в зарубежном праве. *Право и управление. XXI век*. 2021;17(2):53–60. Khamitova G.M., Khabirov A.I. Legal regulation of medical waste disposal in foreign law. *Journal of Law and Administration*. 2021;17(2):53–60. DOI: <https://doi.org/10.24833/2073-8420-2021-2-59-53-60> EDN: <https://elibrary.ru/tfstxh>
35. Lovato M.J., Del Valle L.J., Puiggali J., Franco L. Performance-enhancing materials in medical gloves. *J. Funct. Biomater*. 2023;14(7):349. DOI: <https://doi.org/10.3390/jfb14070349>
36. Knobloch J.K., Tofern S., Kunz W., et al. "Life-like" assessment of antimicrobial surfaces by a new touch transfer assay displays strong superiority of a copper alloy compared to silver containing surfaces. *PLoS One*. 2017;12(11):e0187442. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187442>
37. Paosen S., Lethongkam S., Wunnoo S., et al. Prevention of nosocomial transmission and biofilm formation on novel biocompatible antimicrobial gloves impregnated with biosynthesized silver nanoparticles synthesized using Eucalyptus citriodora leaf extract. *Biotechnol. J*. 2021;16(9):e2100030. DOI: <https://doi.org/10.1002/biot.202100030>
38. Huang C., Li J., Mou W., Liu Y. Extremely well-dispersed zinc oxide nanofluids with excellent antibacterial, antifungal, and formaldehyde and toluene removal properties. *Ind. Eng. Chem. Res*. 2022;61(11):3973–82. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.2c00369>
39. Chen X., Qiu T., Christoforo T., et al. Durable and nontoxic natural rubber-based composites with antibacterial properties. *ACS Appl. Mater. Interfaces*. 2022;14(49):55155–66. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsami.2c20867>
40. Smiechowiec E., Klonowska M., Niekraszewicz B., Strzelinska M., et al. Knitted structures made of antibacterial fibers intended for protective gloves. *Materials (Basel)*. 2023;16(23):7276. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma16237276>
41. Arpornwichanop T., Polpanich D., Thiramanas R., et al. Enhanced antibacterial activity of NR latex gloves with raspberry-like PMMA-N,N,N-trimethyl chitosan particles. *Int. J. Biol. Macromol*. 2015;81:151–8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.07.063>
42. Thakur A.K., Sathyamurthy R., Ramalingam V., et al. A case study of SARS-CoV-2 transmission behavior in a severely air-polluted city (Delhi, India) and the potential usage of graphene based materials for filtering air-pollutants and controlling/monitoring the COVID-19 pandemic. *Environ. Sci. Process Impacts*. 2021;23(7):923–46. DOI: <https://doi.org/10.1039/d1em00034a>
43. Li T., Su Y., Wang D., et al. High antibacterial and barrier properties of natural rubber comprising of silver-loaded graphene oxide. *Int. J. Biol. Macromol*. 2022;195:449–55. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.12.029>
44. Alshabanah L.A., Hagar M., Al-Mutabagani L.A., et al. Hybrid nanofibrous membranes as a promising functional layer for personal protection equipment: manufacturing and antiviral/antibacterial assessments. *Polymers (Basel)*. 2021;13(11):1776. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym13111776>
45. Kahar Bador M., Rai V., Yusof M.Y., et al. Evaluation of the efficacy of antibacterial medical gloves in the ICU setting. *J. Hosp. Infect*. 2015;90(3):248–52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2015.03.009>
46. Ali S., Wilson A.P.R. Effect of poly-hexamethylene biguanide hydrochloride (PHMB) treated non-sterile medical gloves upon the transmission of Streptococcus pyogenes, carbapenem-resistant E. coli, MRSA and Klebsiella pneumoniae from contact surfaces. *BMC Infect. Dis*. 2017;17(1):574. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12879-017-2661-9>
47. Suchomel M., Brillmann M., Assadian O., et al. Chlorhexidine-coated surgical gloves influence the bacterial flora of hands over a period of 3 hours. *Antimicrob. Resist. Infect. Control*. 2018;7:108. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13756-018-0395-0>
48. Leitgeb J., Schuster R., Yee B.N., et al. Antibacterial activity of a sterile antimicrobial polyisoprene surgical glove against transient flora following a 2-hours simulated use. *BMC Surg*. 2015;15:81. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12893-015-0058-5>
49. Arakkal A., Rathinam P., Paramban S., Gopinathan H. Antibacterial natural rubber latex films with surface-anchored quaternary poly(4-vinylpyridine) polyelectrolyte. *React. Funct. Polym*. 2022;172:105190. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2022.105190>
50. Moopayak W., Tangboriboon N. Mangosteen peel and seed as antimicrobial and drug delivery in rubber products. *J. Appl. Polym. Sci*. 2020;137(37):49119. DOI: <https://doi.org/10.1002/app.49119>
51. Luengchavanon M., Ananchaenwong E., Marthosa S., et al. Application of antimicrobial rubber-coated cotton gloves for mangosteen-peel-extract-mediated biosynthesis of Ag-ZnO nanocomposites. *Polymers (Basel)*. 2024;17(1):32. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym17010032>

52. Khanzada H., Salam A., Qadir M.B., et al. Fabrication of promising antimicrobial aloe vera/PVA electrospun nanofibers for protective clothing. *Materials (Basel)*. 2020;13(17):3884. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma13173884>
53. Salvadores Fernandez C., Jaufuraully S., Bagchi B., et al. A triboelectric nanocomposite for sterile sensing, energy harvesting, and haptic diagnostics in interventional procedures from surgical gloves. *Adv. Healthc. Mater.* 2023;12(17):e2202673. DOI: <https://doi.org/10.1002/adhm.202202673>
54. Bayan S., Adhikari A., Pal U., et al. Development of triboelectrochemical fabrics for potential applications in self-sanitizing personal protective equipment. *ACS Appl. Bio Mater.* 2021;4(7):5485–93. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsabm.1c00314>
55. Klupp E.M., Knobling B., Franke G., et al. Activity of antimicrobial examination gloves under realistic conditions: challenge not fulfilled. *Antimicrob. Resist. Infect. Control.* 2023;12(1):116. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13756-023-01322-z>
56. Patil D., Golia V., Overland M., et al. Mechanobactericidal nanotopography on nitrile surfaces toward antimicrobial protective gear. *ACS Macro Lett.* 2023;12(2):227–33. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsmacrolett.2c00697>
57. Ab Rahman M.F., Rusli A., Misman M.A., Rashid A.A. Biodegradable gloves for waste management post-COVID-19 outbreak: a shelf-life prediction. *ACS Omega*. 2020;5(46):30329–35. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c04964>
58. Wissamitanan T., Dechwayukul C., Kalkornsurapranee E., Thongruang W. Proper blends of biodegradable polycaprolactone and natural rubber for 3D printing. *Polymers (Basel)*. 2020;12(10):2416. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym12102416>
59. Brannigan R.P., Walder A., Dove A.P. Application of modified amino acid-derived diols as chain extenders in the synthesis of novel thermoplastic polyester-urethane elastomers. *ACS Sustain. Chem. Eng.* 2017;5(8):6902–9. DOI: <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b01110>
60. Hu X., Shen X., Huang M., Liu C. Biodegradable unsaturated polyesters containing 2,3-butanediol for engineering applications: synthesis, characterization and performances. *Polymer*. 2016;84:343–54. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2016.01.007>
61. Yew G.Y., Tham T.C., Show P.L., et al. Unlocking the secret of bio-additive components in rubber compounding in processing quality nitrile glove. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 2020;191(1):1–28. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12010-019-03207-7>
62. Razak N.S., Mohamed R. Antimicrobial sustainable biopolymers for biomedical plastics applications – an overview. *Polimery*. 2021;66(11-12):574–83. DOI: <https://doi.org/10.14314/polimery.2021.11.2>
63. Daud S., You Y.S., Azura A.R. The effect of acid hydrolyzed sago starch on mechanical properties of natural rubber and carboxylated nitrile butadiene rubber latex. *Mater. Today Proc.* 2019;17:1047–55. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.06.511>
64. Blanchard R., Ogunsona E., Hojabr S., Berry R. Synergistic cross-linking and reinforcing enhancement of rubber latex with cellulose nanocrystals for glove applications. *ACS Appl. Polym. Mater.* 2020;2(2):887–98. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsapm.9b01117>

#### Информация об авторах

**Захарова Юлия Александровна** — д-р мед. наук, профессор, научный руководитель Института дезинфектологии ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана, Москва, Россия, [zakharova.ya@fncg.ru](mailto:zakharova.ya@fncg.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3416-0902>

**Новиков Вячеслав Алексеевич** — м. н. с. отдела дезинфекции и стерилизации (с лабораторией микробиологии) Института дезинфектологии ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана, Москва, Россия, [novikov.va@fncg.ru](mailto:novikov.va@fncg.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8858-5872>

**Андреев Сергей Викторович** — канд. хим. наук, зам. директора Института дезинфектологии ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана, Москва, Россия, [svandreev.niid@gmail.com](mailto:svandreev.niid@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-2405-9931>

**Макарова Мария Александровна** — д-р мед. наук, доцент, в. н. с., зав. лаб. кишечных инфекций Санкт-Петербургского НИИ эпидемиологии и микробиологии им. Пастера, Санкт-Петербург, Россия; профессор каф. медицинской микробиологии Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия, [makmaria@mail.ru](mailto:makmaria@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3600-2377>

**Участие авторов:** Захарова Ю.А. — идея публикации, написание текста, редактирование основного текста, заключительное оформление; Новиков В.А., Андреев С.В. — поиск источников литературы, написание основного текста; Макарова М.А. — итоговая редакция, оформление заключения. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства критериям Международного комитета редакторов медицинских журналов, внесли существенный вклад в проведение поисково-аналитической работы и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию до публикации.

Статья поступила в редакцию 28.07.2025;  
принята к публикации 07.10.2025;  
опубликована 31.10.2025

#### Information about the authors

**Yulia A. Zakharova** — Dr. Sci. (Med.), Professor, Scientific director, Institute of Disinfection, F.F. Erisman Federal Scientific Center of Hygiene, Moscow, Russia, [zakharova.ya@fncg.ru](mailto:zakharova.ya@fncg.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3416-0902>

**Vyacheslav A. Novikov** — junior researcher, Department of disinfection and sterilization (with microbiology laboratory), Institute of Disinfection, F.F. Erisman Federal Scientific Center of Hygiene, Moscow, Russia, [novikov.va@fncg.ru](mailto:novikov.va@fncg.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8858-5872>

**Sergey V. Andreev** — Cand. Sci. (Chem.), Deputy Director, Institute of Disinfection, F.F. Erisman Federal Scientific Center of Hygiene, Moscow, Russia, [svandreev.niid@gmail.com](mailto:svandreev.niid@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-2405-9931>

**Mariia A. Makarova** — Dr. Sci. (Med.), Associate Professor, senior researcher, Head, Laboratory of enteric infection, Saint-Petersburg Pasteur Institute; Professor, Department of Medical Microbiology, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, St. Petersburg, Russia, [makmaria@mail.ru](mailto:makmaria@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3600-2377>

**Authors' contribution:** Zakharova Yu.A. — idea of the publication, writing the text, editing the main text, final design; Novikov V.A., Andreev S.V. — search for literary sources, writing the main text; Makarova M.A. — final editing, design of the conclusion. All authors confirm that they meet the International Committee of Medical Journal Editors criteria for authorship, made a substantial contribution to the conception of the article, acquisition, analysis, interpretation of data for the article, drafting and revising the article, final approval of the version to be published.

The article was submitted 28.07.2025;  
accepted for publication 07.10.2025;  
published 31.10.2025