



Инструментальный метод с оптической детекцией для оценки антимикробного потенциала материалов, используемых для медицинских масок

Н. В. Дудчик

Научно-практический центр гигиены, г. Минск, Беларусь

Резюме

Цель исследования. Оптимизировать параметры тестирования антимикробной активности модифицированных нетканых материалов, используемых для изготовления медицинских масок, в отношении санитарно-показательных микроорганизмов и провести количественную оценку их антимикробного потенциала методом с оптической детекцией.

Материалы и методы. Оценка антимикробного потенциала проводили, моделируя прямой контакт материала с антимикробным импрегнированием в условиях *in vitro* методом с оптической детекцией на основании предложенного маркера T_s — времени достижения популяции микроорганизмов стационарной фазы развития в условиях периодического культивирования. Антимикробный потенциал рассчитывали по предложенной формуле и оценивали в соответствии с обоснованной количественной шкалой.

Результаты. В лабораторных условиях оптимизированы параметры тестирования антимикробной активности нетканых материалов с антимикробной обработкой оксидом цинка (ZnO) с использованием инструментального метода с оптической детекцией. Установлено, что материал, полученный с использованием электронно-лучевого напыления из активной газовой фазы, продемонстрировал более выраженный антимикробный потенциал (АМР) в отношении протестированных штаммов *Staphylococcus aureus* по сравнению с материалом, полученным путем импрегнирования *wet chemistry* из раствора в вакууме.

Заключение. Разработан инструментальный метод с оптической детекцией для количественной оценки антимикробного потенциала нетканых материалов. Обоснован критериально значимый маркер T_s (время достижения популяцией микроорганизмов стационарной фазы развития в периодической системе культивирования), предложена дискретная шкала оценки антимикробного потенциала.

Ключевые слова: маски медицинские, тест-штаммы, тестирование, антимикробный потенциал, маркеры, критериальная шкала, оптические параметры

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Источники финансирования. Работа выполнена в рамках научно-исследовательской работы «Провести моделирование и разработать методику оценки антимикробного потенциала нетканых полимерных материалов, модифицированных органическими и полимер-неорганическими покрытиями», договор с ГНУ «Институт химии новых материалов НАН Беларуси» от 01.12.2021 г. №Х21УЗБГ-030/01, в рамках задания «Создание модифицированных органическими и полимер-неорганическими покрытиями волокнистых материалов различного функционального назначения» по договору от 15.11.2021 г. №Х21УЗБГ-030 с БРФФИ ГКНТ-Узбекистан № ГР 20220004 от 05.01.2022 г.

Для цитирования: Дудчик НВ. Инструментальный метод с оптической детекцией для оценки антимикробного потенциала материалов, используемых для медицинских масок. *Проблемы здоровья и экологии*. 2022;19(2):140–146. DOI: <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2022-19-2-18>

Instrumental method with optical detection for evaluating the antimicrobial potential of materials used for medical mask production

Natallia V. Dudchik

Scientific Practical Centre of Hygiene, Minsk, Belarus

Abstract

Objective. To optimize the parameters for testing the antimicrobial activity of modified non-woven materials used for the production of medical masks against sanitary-indicative microorganisms and to quantify their antimicrobial potential using a method with optical detection.

Materials and methods. The antimicrobial potential was assessed by simulating a direct contact of the material with antimicrobial impregnation under *in vitro* conditions by the method with optical detection based on the proposed marker T_s – the time it takes for a population of microorganisms to reach the stationary phase of development under conditions of periodic cultivation. The antimicrobial potential was calculated according to the proposed formula and evaluated in accordance with a reasonable quantitative scale.

Results. In laboratory conditions, the parameters for testing the antimicrobial activity of nonwoven materials with antimicrobial treatment with zinc oxide - ZnO - using an instrumental method with optical detection have been optimized. It was found that the sample obtained using electron beam spraying from the active gas phase demonstrated more pronounced antimicrobial potential of AMP against the tested strains of *Staphylococcus aureus* compared with the sample obtained by wet chemistry impregnation from a solution in vacuum.

Conclusion. An instrumental method with optical detection for quantitative assessment of the antimicrobial potential of nonwoven materials has been developed. The criterion-significant marker T_s (the time it takes a population of microorganisms to reach the stationary phase of development in a periodic culture system) has been substantiated, and a discrete scale for assessing the antimicrobial potential has been proposed.

Keywords: *medical masks, test strains, testing, antimicrobial potential, markers, criteria scale, optical parameters*

Conflict of interest. The author declares no conflict of interest.

Funding. This work was performed within the framework of the research work "To carry out modelling and to develop a method for assessing antimicrobial potential of nonwoven polymer materials modified with organic and polymer-inorganic coatings", agreement with the Institute of Chemistry New Materials of the NAS of Belarus dated 01.12.2021 No.H21UZBG-030/01 within the task "Development of fiber materials of different functional purpose modified with organic and polymer-inorganic coatings" as per agreement dated 15.11.2021 No.H21UZBG-030/01, supported by the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research and the State Committee on Science and Technology of the Republic of Belarus, with Uzbekistan No.GR 20220004 dated 05.01.2022.

For citation: Dudchik NV. Instrumental method with optical detection for evaluating the antimicrobial potential of materials used for medical mask production. *Health and Ecology Issues*. 2022;19(2):140–146. DOI: <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2022-19-2-18>

Введение

Для обеспечения безопасности в процессе оказания различных видов медицинской помощи, при работе с патогенными биологическими агентами персоналом и пациентами используются средства индивидуальной защиты, позволяющие решать проблемы профилактики внутрибольничных инфекций и предупреждения производственно-обусловленных заболеваний медицинских работников [1–3]. Полипропиленовые нетканые материалы являются наиболее распространенной основой для создания различных средств индивидуальной защиты (маски, респираторные фильтры и др.). Для придания полимерным материалам антибактериальных свойств используются различные технологические подходы. Так, применение наночастиц металлов, в частности цинка (Zn) и оксида цинка (ZnO), в качестве антибактериального компонента в составе модифицирующих средств и покрытий является весьма перспективным [4–9]. Благодаря антибактериальной активности в отношении ряда грамположительных и грамотрицательных бактерий и низкой цитотоксичности они успешно применяются в широком спектре областей, в том числе в антибактериальных слоях для средств индивидуальной защиты, раневых перевязочных материалов, защитной одежды. Показано, что бактерицидный эффект

зависит от их размера, формы, морфологии, состава и стабильности наночастиц [9].

Однако стандартизованный инструментальный метод оценки антимикробных свойств материалов и химических компонентов и смесей для их импрегнирования в настоящее время отсутствует. В ряде работ приведены результаты оценки антимикробного потенциала с использованием методов диффузии в агар и метода серийных разведений [10, 11]. Несмотря на простоту и доступность, эти методы имеют ряд ограничений: не являются инструментальными, показатели воспроизводимости и повторяемости в ряде случаев не превышают 50 %, что не соответствует требованиям надлежащей лабораторной практики — *GLP*; метод диффузии в агар не может быть использован для оценки антимикробного потенциала гидрофобных и плотных полимерных материалов; результаты оценки не имеют хорошо обоснованных критериальных параметров и являются полуколичественными.

Задачей нашей работы была оптимизация параметров и разработка инструментального метода с оптической детекцией для количественной оценки антимикробного потенциала нетканого материала, импрегнированного неорганическим компонентом, используемого для изготовления медицинских масок.

Цель исследования

Оптимизировать параметры и разработать инструментальный метод с оптической детекцией для количественной оценки антимикробного потенциала нетканого материала, импрегнированного неорганическим компонентом, используемого для изготовления медицинских масок, в отношении санитарно-показательных микроорганизмов.

Материалы и методы

Объектами исследования были образцы полипропиленового нетканого материала «Акваспан» с поверхностной плотностью 100 г/см² отечественного производства, модифицированные ZnO, с использованием метода электронно-лучевого напыления из активной газовой фазы (материал 1) и методом импрегнирования Zn из раствора в вакууме *wet chemistry* (материал 2). Материалы предоставлены ГНУ «Институт химии новых материалов НАН Беларуси».

В работе использовали изоляты бактерий семейства *Staphylococcaceae*: *Staphylococcus aureus* ЦГ 30-2021 и *Staphylococcus aureus* ЦГ 21-2021, выделенные в ходе изучения микробных профилей средств индивидуальной защиты персонала лечебных стационаров организаций здравоохранения г. Минска в весенне-летний период 2021 г. Прослеживаемость фенотипических свойств штаммов в рабочей коллекции республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр гигиены» обеспечивалась процедурой криохранения. Изоляты демонстрировали стабильность культурально-морфологических и биохимических признаков в процессе многократных пассажей культивирования.

Дизайн модельного эксперимента. Проведено по 5 серий экспериментов для оценки антимикробного потенциала материала 1 и материала 2. В каждой серии антимикробный потенциал изучали в условиях прямого контакта образцов материалов со стандартизованной суспензией тест-культур. Культивирование тест-штаммов проводили при температуре 35–37 °С в течение 18–30 ч до достижения стационарной фазы роста на оптимизированной среде следующего состава: мясopептонный бульон — 500 мл, глюкоза — 10,0 г; CaCO₃ — 1,0 г; MgSO₄ — 0,2 г; CaCl₂ — 0,02 г; FeCl₃ — 0,02 г; раствор микроэлементов 10 % — 0,01 мл на 1000,0 мл; pH — 7,2–7,4. Инокуляцию проводили путем внесения суспензии микроорганизмов (3 объемных %) с начальной концентрацией 10⁹ КОЕ/см³ в колбы объемом 500 см³ с 250 см³ среды культивирования указанного состава. В условиях соблюдения правил асептики в колбы вносили образцы материалов размером 3,5 × 3,5 см. Контролем служи-

ла питательная среда с суспензией тест-штамма и образцом материала без антимикробного покрытия такого же размера. Во время эксперимента проводили измерения оптической плотности культуры путем отбора 2 см³ в начале опыта и через каждый час, соблюдая правила асептики. Измерения проводили на спектрофотометре Hitachi U-5100 при длине волны λ = 540 нм, длина оптического пути — 1 см. За окончательный результат измерения принимали среднее арифметическое значение результатов трех параллельных измерений.

В работе использовали средства измерений и испытательное оборудование, должным образом поверенные и калиброванные в соответствии с [12]. Дизайн и проведение исследований соответствовали требованиям надлежущей лабораторной практики.

Для количественной оценки антимикробного действия введен термин «антимикробный потенциал» и обоснован показатель *AMP*, рассчитываемый по формуле (1):

$$AMP = (Ts_2 - Ts_1) / Ts_1 \times 100 \%, \quad (1)$$

где Ts_1 — время наступления стационарной фазы в контроле с внесением образца материала без импрегнирования ZnO, ч;

Ts_2 — время наступления стационарной фазы в опыте с внесением образца материала с импрегнированием ZnO, ч.

Мы предлагаем следующую количественную шкалу оценки *AMP*: менее 25 % — слабый антимикробный потенциал; от 25 до 50 % — умеренно выраженный антимикробный потенциал; от 50 до 75 % — выраженный антимикробный потенциал; более 75 % — сильный антимикробный потенциал в отношении тест-штамма.

Результаты и обсуждение

Ранее нами было показано, что в процессе использования масок медицинскими работниками происходит значительное изменение их микробного статуса. Установлено, что бионагрузка масок медицинских из нетканого материала до использования составляла ≤ 20 КОЕ/г [13]. После использования в течение 2 ч данный показатель увеличился до 255–1720 КОЕ/г, в отдельных случаях достигая значения более 4000 КОЕ/г, при этом бактерии семейства *Staphylococcaceae* рода *Staphylococcus* составляли более 65 %. Фенотипические признаки выделенных изолятов демонстрировали значительный потенциал агрессии, в частности по показателям пленкообразования, гемолиза, способности к длительной персистенции, модификации факторов патогенности и антагонистической активности, что является неблагоприятным прогностическим признаком [13]. Поэтому производство нетка-

ных материалов с заданными антимикробными свойствами является весьма актуальной и научно значимой задачей, включающей и разработку стандартизованного метода оценки антимикробного потенциала медицинских масок.

Оценка антимикробных эффектов химических и физических факторов в условиях модельного эксперимента может проводиться с использованием ряда эффективных биомаркеров (культуральных, тинкториально-морфологических, метаболических, динамических и др.), объективно отражающих характер и выраженность биологического действия [14–16].

При разработке инструментального оптического метода в качестве критериально значимого параметра целесообразно использование маркера времени наступления стационарной фазы развития популяции в периодической культуре, что может быть оценено по оптической плотности суспензии микроорганизмов [14].

В ходе разработки метода была определена оптимальная технология проведения тестирования, которая включала следующие этапы: подбор тест-микроорганизмов и подготовка рабочей культуры; подготовка оптимизированной среды культивирования; инокулирование среды культивирования оптимизированного состава тест-штаммами до оптимальной конечной концентрации в колбах в объеме 25–50 мл; экспонирование нетканым материалом; инкубирование при оптимальных параметрах.

Прежде всего, была проведена оптимизация состава сред культивирования для бактерий семейства *Staphylococcaceae*, являющихся основными контаминантами масок в процессе их использования. Мы исходили из того, что химический состав питательных сред должен обеспечить нормальное развитие тест-культуры, но при этом не должен маскировать ингибирующее действие. Среда должна быть прозрачна, бесцветна

(или слегка окрашена), что наиболее характерно для полусинтетических сред. Наши исследования показали, что при росте тест-штаммов микроорганизмов на полных средах ингибирующее действие проявляется не в полной мере, а также может привести к явлению диауксии, когда развитие популяции тест-штамма описывается не классической S-образной кривой, а имеет атипичную форму с одной или несколькими переходными (временными) стационарными фазами. В таком случае использование показателя T_s (стационарная фаза) в качестве маркера оценки будет неприемлемо [17].

Показатель pH сред для культивирования составил 7,2–7,4, что является оптимальным для проведения количественной оценки. Буферная емкость оптимизированной среды позволяет поддерживать значение pH в оптимальном диапазоне 7,2–7,4 в течение культивирования тест-культур [18].

При оптимизации параметров проведения теста выявлено, что оптимальным является измерение оптической плотности аналитического материала, содержащего суспензию тест-штаммов бактерий семейства *Staphylococcaceae* в концентрации 10^4 – 10^5 КОЕ/см³, на питательной полусинтетической солевой среде при длине волны $\lambda = 540$ нм и длине оптического пути 1 см. Показано, что измерение оптической плотности при длине волны $\lambda = 540$ нм было наиболее оптимальным. При этом время наступления стационарной фазы популяции различалось для изученных изолятов тест-культур.

Графики развития популяции тест-штаммов в условиях экспозиции неткаными материалами представлены на рисунках 1 и 2.

Результаты оценки антимикробных потенциалов нетканых материалов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты оценки показателя AMP нетканых материалов на бактериальные тест-штаммы *Staphylococcus aureus* ($X \pm \sigma$, $n = 15$)

Table 1. Results of the assessment of the AMP parameter of nonwoven materials in *Staphylococcus aureus* bacterial test-stains ($X \pm \sigma$, $n = 15$)

Материал	Показатели			Оценка
	Ts1 (контроль)	Ts2	AMP	
<i>Staphylococcus aureus</i> ЦГ 21-2021				
Материал 1	18 ± 0,5 ч	28,0 ± 1* ч	56 %	Выраженный антимикробный потенциал
Материал 2	18 ± 0,5 ч	24,0 ± 1* ч	33 %	Умеренно выраженный антимикробный потенциал
<i>Staphylococcus aureus</i> НС 30-2021				
Материал 1	16,8 ± 0,5 ч	22,0 ± 0,5* ч	31 %	Умеренно выраженный антимикробный потенциал
Материал 2	16,8 ± 0,5 ч	20,6 ± 1* ч	23 %	Слабый антимикробный потенциал

* Статистически значимое различие средних значений в опыте и контроле ($p < 0,05$)

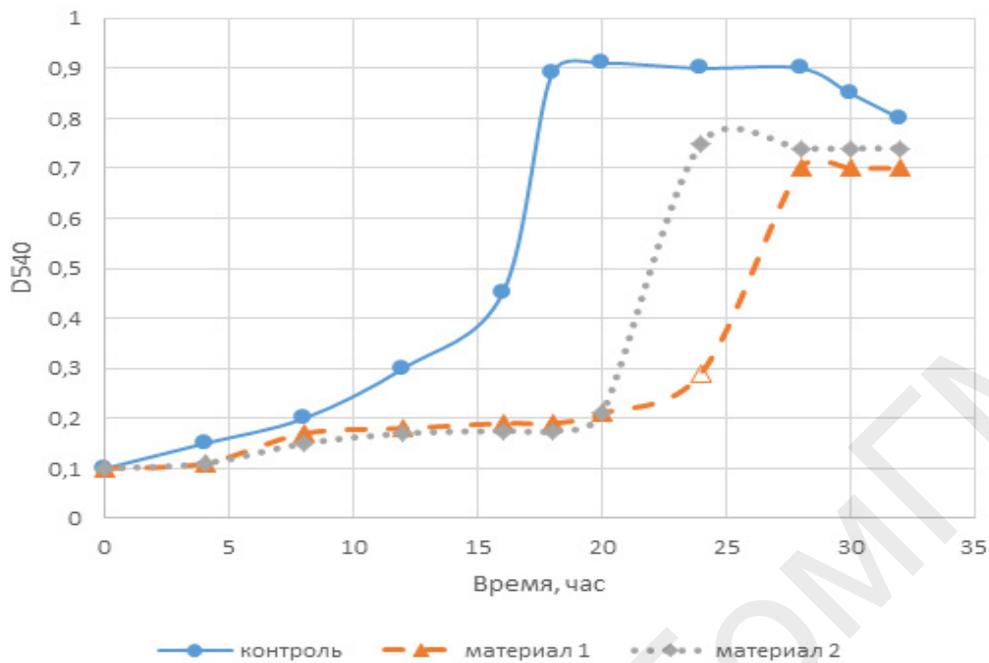


Рисунок 1. Графики развития популяции штамма *S. aureus* ЦГ 21-2021 в присутствии образцов нетканых материалов 1 и 2
 Figure 1. Charts of the development of *S. aureus* HC 21-2021 stain populations in the presence of nonwoven material samples 1 and 2

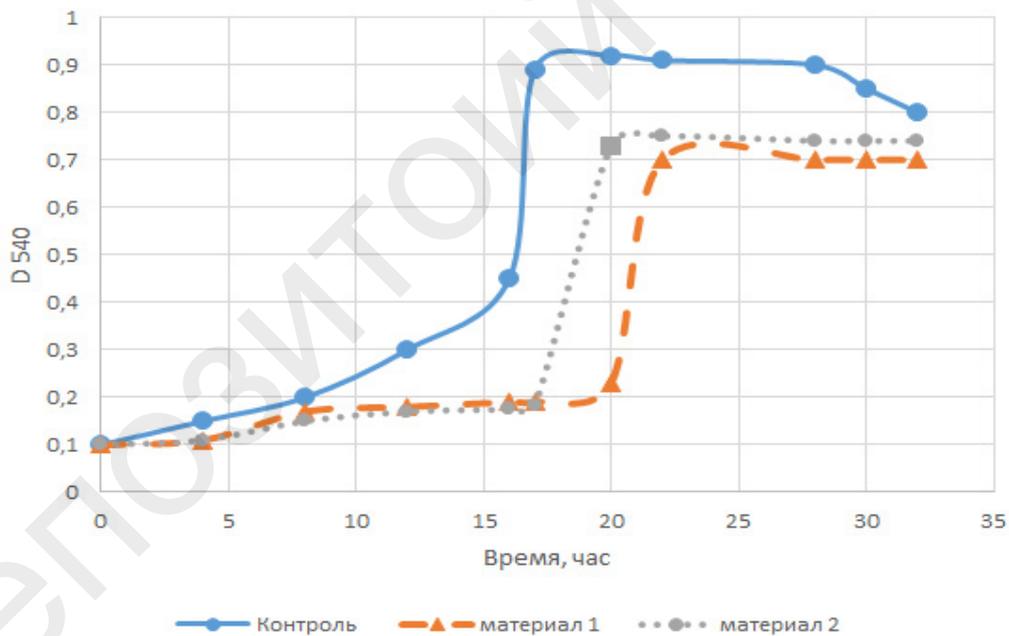


Рисунок 2. Графики развития популяции штамма *S. aureus* ЦГ 30-2021 в присутствии образцов нетканых материалов 1 и 2
 Figure 2. Charts of the development of *S. aureus* HC 30-2021 stain populations in the presence of nonwoven material samples 1 and 2

Стандартные отклонения измерений σ составляли 2,8–4,2 %, что является приемлемым для получения достоверных результатов в условиях внутрилабораторного тестирования.

Установлено, что материал 1 (метод электронно-лучевого напыления ZnO из активной газовой фазы) продемонстрировал более выраженный антимикробный потенциал (AMP)

в отношении протестированных штаммов *Staphylococcus aureus* по сравнению с материалом 2 (метод импрегнирования Zn wet chemistry из раствора в вакууме). Необходимо также подчеркнуть, что тест-штаммы проявили различную чувствительность / устойчивость к воздействию импрегнированного нетканого материала, импрегнированного биоцидами на основе ZnO. Так,

штамм *Staphylococcus aureus* ЦГ 30-2021, для которого ранее были подтверждены высокие показатели способности к образованию биопленок, выраженные гемолитическая и лецитиназная активности, способность к длительной персистенции, более чем в 1,3–1,7 раза был более устойчив к воздействию биоцида, что зависело также от технологии модификации нетканых материалов.

Заключение

Показано, что изоляты условно-патогенных микроорганизмов, выделенных из объектов среды обитания человека, являются эффективными тест-моделями для оценки антимикробной

активности нетканых материалов, импрегнированных биоцидами на основе ZnO. Использование в модельном эксперименте изолятов микроорганизмов, выделенных из природной среды, расширяет арсенал лабораторных методов и позволяет получить более полную и объективную оценку антимикробного потенциала, оптимизировать технологию изготовления модифицированных материалов. При этом изоляты с наиболее выраженным комплексом потенциала патогенности, такими как гемолитическая и лецитиназная активности, выраженные факторы персистенции, способность образовывать биопленки, были наиболее устойчивы к действию биоцидов на основе ZnO.

Список литературы

- Feng S, Shen C, Xia N, Song W, Fan M, Cowling BJ. Rational use of face masks in the COVID-19 pandemic. *Lancet Respir Med*. 2020;(8):434-436. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(20\)30134-X](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30134-X)
- Tcharkhtchi A, Abbasnezhad N, Zarbini Seydani M, Zirak N, Farzaneh S, Shirinbayan M. An overview of filtration efficiency through the masks: Mechanisms of the aerosols penetration. *Bioactive Materials*. 2021;(6):106-122. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2020.08.002>
- Manohar P, Loh B, Nachimuthu R, Hua X, Welburn SC, Leptihn S. Secondary bacterial infections in patients with viral pneumonia. *Front Med*. 2020;(7):420. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmed.2020.00420>
- Valdez-Salas B, Beltran-Partida E, Cheng N, Salvador-Carlos J, Valdez-Salas EA, Curiel-Alvarez M et al. Promotion of Surgical Masks Antimicrobial Activity by Disinfection and Impregnation with Disinfectant Silver Nanoparticles. *Int J of Nanomedicine*. 2021;(16):2689-2702. DOI: <https://doi.org/10.2147/IJN.S301212>
- Li Y, Leung P, Yao L, Song QW, Newton E. Antimicrobial effect of surgical masks coated with nanoparticles. *J Hosp. Infect*. 2006;62(1):58-63. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2005.04.015>
- Lee-Yae Tan, Lee Tin Sin, Soo-Tueen Bee. A review of antimicrobial fabric containing nanostructures metal-based compound. *J Vinyl Addit Technol*. 2019;(25):E3-E27. DOI: <https://doi.org/10.1002/vnl.21606>
- Roman LE, Gomez ED, Solis JL, Gomez MM. Antibacterial Cotton Fabric Functionalized with Copper Oxide Nanoparticles. *Molecules*. 2020;25(24):1-21. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules25245802>
- Tiwari V, Mishra N, Gadani K, Solanki PS, Shah NA, Tiwari M. Mechanism of Anti-bacterial Activity of Zinc Oxide Nanoparticle Against Carbapenem-Resistant *Acinetobacter baumannii*. *Front Microbiol*. 2018 Jun 6;9:1218. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01218>
- Gudkov SV, Burmistrov DE, Serov DA, Rebezov MB, Semenova AA, Lisitsyn AB. A Mini Review of Antibacterial Properties of ZnO Nanoparticles. *Front. Phys*. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphy.2021.641481>
- Gayathri Pullangott, Uthradevi Kannan, Gayathri S, Degala Venkata Kiran, Shihabudheen M. Maliyekkal. A comprehensive review on antimicrobial face masks: an emerging weapon in fighting pandemics (Review Article). *RSC. Adv*. 2021;(11):6544-6576. DOI: <https://doi.org/10.1039/D0RA10009A>
- Jiang L, Wang F, Han F, Prinyawiwatkul W, No H K, Ge B. Evaluation of diffusion and dilution methods to determine the antimicrobial activity of water-soluble chitosan derivatives. *J Appl Microbiol*. 2013;114(4):956-963. DOI: <https://doi.org/10.1111/jam.12111>
- ГОСТ ISO/IEC 17025-2019. Межгосударственный стандарт. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. Введ. 01.09.2019. Москва: Изд-во стандартов; 2019. 26 с.
- Сычик СИ, Дудчик НВ, Емельянова ОА, Жабровская АИ, Табелева НН, Бруй ГН и др. Оценка эффективности технологии дезинфекции средств индивидуальной защиты на основе генерирования аэрозолей кислородоактивных соединений. В: Коронавирусная инфекция 2021: фундаментальные, клинические и эпидемиологические аспекты: сб. науч. материалов Респ. Межведомств. рабочей группы по преодолению COVID-19. Минск: Беларуская навука; 2021. с. 182-195.
- Dudchik NV, Sychik SI, Shevlyakov VV. Prokaryotic test models for environmental ecotoxicological research: prospects and classification (review). *Theor Appl Ecol*. 2018;4(4):5-12. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2018-4-005-012>
- Дудчик НВ. Изучение свойств консорциума почвенных микроорганизмов как тест-объектов для оценки интегральной токсичности. *Гигиена и санитария*. 2012;91(5):82-84.
- Дудчик НВ, Щербинская ИП, Трейлиб ВВ, Янецкая СА, Будкина ЕА, Шедикова ОЕ. Оценка цитотоксического действия солей свинца с использованием ферментных тест-систем. *Здравоохранение*. 2010;(11):45.
- Дудчик НВ, Шевляков ВВ. Антимикробные свойства биологически активных веществ растений и методы их оценки. Минск: РИВШ; 2014. 166 с.
- Методы общей бактериологии. В 3 т. Под ред. Ф. Герхардта [и др.]; пер. с англ. под ред. ЕН Кондратьевой, ЛВ Калакуцкого. Москва; 1984. Т. 3.

References

- Feng S, Shen C, Xia N, Song W, Fan M, Cowling BJ. Rational use of face masks in the COVID-19 pandemic. *Lancet Respir Med*. 2020;(8):434-436. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(20\)30134-X](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30134-X)
- Tcharkhtchi A, Abbasnezhad N, Zarbini Seydani M, Zirak N, Farzaneh S, Shirinbayan M. An overview of filtration efficiency through the masks: Mechanisms of the aerosols penetration. *Bioactive Materials*. 2021;(6):106-122. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2020.08.002>
- Manohar P, Loh B, Nachimuthu R, Hua X, Welburn SC, Leptihn S. Secondary bacterial infections in patients with viral pneumonia. *Front Med*. 2020;(7):420. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmed.2020.00420>

4. Valdez-Salas B, Beltran-Partida E, Cheng N, Salvador-Carlos J, Valdez-Salas EA, Curiel-Alvarez M et al. Promotion of Surgical Masks Antimicrobial Activity by Disinfection and Impregnation with Disinfectant Silver Nanoparticles. *Int J of Nanomedicine*. 2021;(16):2689-2702.
DOI: <https://doi.org/10.2147/IJN.S301212>
5. Li Y, Leung P, Yao L, Song QW, Newton E. Antimicrobial effect of surgical masks coated with nanoparticles. *J Hosp Infect*. 2006;62(1):58-63.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2005.04.015>
6. Lee-Yae Tan, Lee Tin Sin, Soo-Tueen Bee. A review of antimicrobial fabric containing nanostructures metal-based compound. *J Vinyl Addit Technol*. 2019;(25):E3-E27.
DOI: <https://doi.org/10.1002/vnl.21606>
7. Roman LE, Gomez ED, Solis JL, Gomez MM. Antibacterial Cotton Fabric Functionalized with Copper Oxide Nanoparticles. *Molecules*. 2020;25(24):1-21.
DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules25245802>
8. Tiwari V, Mishra N, Gadani K, Solanki PS, Shah NA, Tiwari M. Mechanism of Anti-bacterial Activity of Zinc Oxide Nanoparticle Against Carbapenem-Resistant *Acinetobacter baumannii*. *Front Microbiol*. 2018 Jun 6;9:1218.
DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01218>
9. Gudkov SV, Burmistrov DE, Serov DA, Rebezov MB, Semenova AA, Lisitsyn AB. A Mini Review of Antibacterial Properties of ZnO Nanoparticles. *Front. Phys*. 2021.
DOI: <https://doi.org/10.3389/fphy.2021.641481>
10. Gayathri Pullangott, Uthradevi Kannan, Gayathri S, Degala Venkata Kiran, Shihabudheen M. Maliyekkal. A comprehensive review on antimicrobial face masks: an emerging weapon in fighting pandemics (Review Article). *RSC. Adv*. 2021;(11):6544-6576.
DOI: <https://doi.org/10.1039/D0RA10009A>
11. Jiang L, Wang F, Han F, Prinyawiwatkul W, No H K, Ge B. Evaluation of diffusion and dilution methods to determine the antimicrobial activity of water-soluble chitosan derivatives. *J Appl Microbiol*. 2013;114(4):956-963.
DOI: <https://doi.org/10.1111/jam.12111>
12. GOST ISO/IEC 17025-2019. Interstate standard. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Input. 09.01.2019. Moscow: Publishing House of Standards; 2019. 26 p. (In Russ.).
13. Sychik SI, Dudchik NV, Emelyanova OA, Zhabrovskaya AI, Tabeleva NN, Brui GN. Evaluation of the effectiveness of technologies for disinfection of personal protective equipment based on the generation of aerosols of oxygen-active compounds. In: Coronavirus infection 2021: fundamental, introductory and epidemiological aspects: Sat. scientific Rep materials. Interdepartmental. working group on combating COVID-19: under the general. Minsk; 2021. p. 182-195. (In Russ.).
14. Dudchik NV, Sychik SI, Shevlyakov VV. Prokaryotic test models for environmental ecotoxicological research: prospects and classification (review). *Theor. Appl. Ecol*. 2018;4(4):5-12.
DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2018-4-005-012>
15. Dudchik NV. Study of the properties of a consortium of soil microorganisms as test objects for assessing the integral toxicity. *Hygiene and sanitation*. 2012;91(5):82-84. (In Russ.).
16. Dudchik NV, Shcherbinskaya IP, Treilib VV, Yanetskaya SA, Budkina EA, Shedikova OE. Evaluation of the cytotoxic effect of lead salts using enzyme test systems. *Healthcare*. 2010;(11):45. (In Russ.).
17. Dudchik NV, Shevlyakov VV. Antimicrobial properties of biologically active substances of plants and methods for their evaluation. Minsk; 2014. 166 p. (In Russ.).
18. Methods of general bacteriology. In 3 vol. Ed. F. Gerhardt [and others]; per. from English. ed. EN. Kondratieva, LV Kalakutsky. Moscow; 1984. Vol. 3. (In Russ.).

Информация об авторе / Information about the author

Дудчик Наталья Владимировна, д.биол.н., доцент, ведущий лабораторией микробиологии, РУП «Научно-практический центр гигиены», Минск, Беларусь
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5877-9307>
e-mail: micro_sanitary@rspch.by; n_dudchik@mail.ru; n_dudchik@tut.by

Natallia V. Dudchik, DBiolSc, Associate Professor, Head of the Microbiology Laboratory, Scientific and Practical Center for Hygiene
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5877-9307>
e-mail: micro_sanitary@rspch.by; n_dudchik@mail.ru; n_dudchik@tut.by

Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Дудчик Наталья Владимировна
e-mail: n_dudchik@mail.ru; n_dudchik@tut.by

Natallia V. Dudchik
e-mail: n_dudchik@mail.ru; n_dudchik@tut.by

Поступила в редакцию / Received 16.02.2022

Поступила после рецензирования / Accepted 16.03.2022

Принята к публикации / Revised 21.06.2022