DOI: https://doi.org/10.17816/EID643325 EDN: URMEHM

Аэрозольная дезинфекция в системе профилактических и противоэпидемических мероприятий: научный обзор

С.С. Смирнова[1, 2], А.А. Каменева[1], Н.Н. Жуйков[1], Ю.С. Стагильская[1], И.А. Егоров[1], Д.Д. Авдюнин[1]

[1] Федеральный научно-исследовательский институт вирусных инфекций «Виром», Екатеринбург, Россия;
[2] Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия

АННОТАЦИЯ

Организация и проведение дезинфекционных мероприятий являются одними из основных действенных направлений неспецифической профилактики инфекционных заболеваний. В настоящее время широкое распространение получил метод аэрозольной дезинфекции ввиду его практичности и результативности.

Поиск публикаций осуществлялся путём введения поисковых запросов по ключевым словам «аэрозольная дезинфекция», «профилактика», «противоэпидемические мероприятия», «вентиляция», «aerosol disinfection», «prevention», «anti-epidemic measures», «ventilation» на русском и английском языках в научной электронной библиотеке (НЭБ), поисковой системе eLibrary, поисковой системе Google Scholar. На английском языке — в поисковой системе PubMed, базе Национального центра биотехнологической информации США (National Center for Biotechnology Information, NCBI), поисковой системе от Google по патентам (Patents.google.com). Глубина поиска составила 84 года (1940–2024 гг.). В процессе поиска найдена 1751 публикация, из них критериям отбора соответствовали 53 статьи.

Анализ литературных данных показал, что аэрозольная дезинфекция, приобретая широкое распространение во многих странах мира и различных сферах жизнедеятельности, имеет долгую историю, начавшуюся с конца XVIII века. Технологии аэрозольной дезинфекции стали незаменимыми в современном мире, хотя остаются нерешёнными вопросы о бактерицидности дисперсных систем, оптимизации используемого оборудования и разработки стандартов для качественной дезинфекции.

Аэрозольная дезинфекция занимает важное место в системе профилактических и противоэпидемических мероприятий, оказывая значимое влияние на снижение риска возникновения эпидемических вспышек инфекционных заболеваний с различными механизмами передачи.

Ключевые слова: аэрозольная дезинфекция; профилактика; противоэпидемические мероприятия; обзор.

Как цитировать:
Смирнова С.С., Каменева А.А., Жуйков Н.Н., Стагильская Ю.С., Егоров И.А., Авдюнин Д.Д. Аэрозольная дезинфекция в системе профилактических и противоэпидемических мероприятий: научный обзор // Эпидемиология и инфекционные болезни. 2024. Т. 29, № 6. С. 423–431. DOI: 10.17816/EID643325 EDN: URMEHM

Рукопись получена: 23.12.2024 **Рукопись одобрена:** 18.02.2025 **Опубликована online:** 03.04.2025

ЭКО • ВЕКТОР

Статья доступна по лицензии CC BY-NC-ND 4.0 International
© Эко-Вектор, 2024

DOI: https://doi.org/10.17816/EID643325 EDN: URMEHM

Aerosol Disinfection in the System of Preventive and Anti-Epidemic Measures: a Review

Svetlana S. Smirnova[1, 2], Anastasia A. Kameneva[1], Nikolay N. Zhuikov[1], Yulia S. Stagilskaya[1], Ivan A. Egorov[1], Dmitry D. Avdyunin[1]

[1] Federal Scientific Research Institute of Viral Infections «Virome», Ekaterinburg, Russia;
[2] Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia

ABSTRACT

Organization and implementation of disinfection measures are among the most effective strategies of non-specific prevention of infectious diseases. *Aerosol disinfection* has now gained widespread use due to its practicality and efficacy.

A literature search was carried out using such keywords as *aerosol disinfection, prevention, anti-epidemic measures*, and *ventilation* in both Russian and English, across the *Scientific Electronic Library, eLIBRARY.RU* search engine, and *Google Scholar*. For English-language publications, searches were conducted in *PubMed*, the *National Center for Biotechnology Information* (NCBI) database, and *Google Patents* (Patents.google.com). The search covered a time period of 84 years (1940–2024). A total of 1,751 articles were identified, of which 55 met the selection criteria.

Analysis of the literature revealed that aerosol disinfection, now widespread in many countries and various fields of activity, has a long-standing history dating back to the late 18th century. Aerosol disinfection technologies have become indispensable in the modern world, although issues related to the bactericidal properties of dispersed systems, optimization of disinfection equipment, and the development of quality standards for effective disinfection remain unresolved.

Aerosol disinfection holds a valuable place within the system of preventive and anti-epidemic measures, having a significant impact on reducing the risk of epidemic outbreaks of infectious diseases with various mechanisms of transmission.

Keywords: aerosol disinfection; prevention; anti-epidemic measures; review.

To cite this article:
Smirnova SS, Kameneva AA, Zhuikov NN, Stagilskaya YuS, Egorov IA, Avdyunin DD. Aerosol Disinfection in the System of Preventive and Anti-Epidemic Measures: a Review. *Epidemiology and Infectious Diseases.* 2024;29(6):423–431. DOI: 10.17816/EID643325 EDN: URMEHM

Submitted: 23.12.2024 **Accepted:** 18.02.2025 **Published online:** 03.04.2025

ECO•VECTOR

The article can be used under the CC BY-NC-ND 4.0 International license
© Eco-Vector, 2024

ВВЕДЕНИЕ

XXI век отмечен всевозрастающей агрессией микроорганизмов. По заявлению Всемирной организации здравоохранения, «инфекционные болезни атакуют нас по всем фронтам», что обосновывает повышенное внимание к профилактике инфекционных заболеваний и росту требований к качеству дезинфекционных мероприятий. Широкое распространение резистентных штаммов микроорганизмов требует постоянного изучения эффективности биоцидного действия дезинфицирующих средств [1].

Из широкого разнообразия дезинфекционных технологий, известных в настоящее время, одной из самых безопасных для окружающих является аэрозольная дезинфекция с применением перекиси водорода в качестве дезинфектанта. Перекись водорода не оказывает значительного разрушающего действия на предметы интерьера и распадается на химически безопасные элементы [2]. Способ аэрозольной дезинфекции эффективен для уничтожения бактерий, вирусов и патогенных грибов в воздухе и на трансферных поверхностях, что особенно важно в местах с высокой проходимостью людей, таких как больницы, офисы, общественный транспорт. Аэрозольная дезинфекция используется для создания микроскопических капель, что обеспечивает равномерное покрытие и более глубокую и всестороннюю обработку в целях эффективной борьбы с воздушно-капельными инфекциями за счёт воздействия мелкодисперсного аэрозоля дезинфицирующих средств на микроорганизмы[1, 2].

Бактерии и вирусы, передающиеся, в первую очередь, воздушно-капельным путём, представляют опасность для общественного здравоохранения [3], в связи с чем постоянно возникает необходимость в разработке новых методов дезинфекции путём внедрения автоматизированной и непрерывной системы для повышения эффективности, надёжности и экономической целесообразности процессов дезинфекции, что будет снижать влияние человеческого фактора, уменьшать риск перекрёстного заражения и обеспечивать гибкость и адаптивность в различных условиях [4, 5].

МЕТОДОЛОГИЯ ПОИСКА ДАННЫХ

Поиск публикаций осуществлялся путём введения поисковых запросов по ключевым словам «аэрозольная дезинфекция», «профилактика», «противоэпидемические мероприятия», «вентиляция», «aerosol disinfection», «prevention», «anti-epidemic measures», «ventilation» на русском и английском языках в научной электронной библиотеке (НЭБ), поисковой системе eLibrary, поисковой системе Google Scholar; на английском языке — в поисковой системе PubMed, базе Национального центра биотехнологической информации США (National Center for Biotechnology Information, NCBI), поисковой системе от Google по патентам (Patents.google.com). Глубина поиска составила 84 года (1940–2024). В процессе поиска была найдена 1751 публикация.

Критерии включения публикаций: наличие данных о способах дезинфекции в различные временные периоды; наличие данных о дезинфекции аэрозольного типа и её применении в различных сферах с использованием разнообразных дезинфектантов; наличие заключения по результатам исследования; наличие полного текста в бесплатном доступе; содержание ряда ключевых слов.

Критерии исключения публикаций: отсутствие ключевых слов и пересечения публикации с темой; неактуальность публикации в связи с годом её выхода; недоступность полного бесплатного текста.

Таким образом, отобрано 53 статьи, которые были включены в обзор.

ИСТОРИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

С древних времён врачи осознавали значимость дезинфекции, особенно в отношении обработки раневых поверхностей, что было необходимо для предотвращения инфекций, сокращения рисков заражения, улучшения процессов заживления, уничтожения патогенных микроорганизмов, способных вызывать воспаление и осложнения. Использовались раскалённое железо и кипящее масло, уксус, известь, мази с бальзамическими свойствами [6]. Развитие в области химии способствовало тому, что в 1818 году была синтезирована перекись водорода, а в 1885 году впервые применили йод для обработки ран [7, 8].

Первые исследования по дезинфекции воздуха были проведены в XIX веке. В 1863 году крупнейший английский хирург и учёный, создатель хирургической антисептики Джозеф Листер (Joseph Lister) предложил использовать карболовую кислоту для дезинфекции воздуха в операционных перед началом и во время операций путём распыления её из пульверизатора [9]. Концепция аэрозоля зародилась ещё в 1790 году, когда во Франции появились первые газированные напитки под давлением. Пульверизатор, или форсунки, были изобретены в 1865 году одновременно английским изобретателем Эйдоном и российским учёным А.И. Шпаковским. Основной целью применения форсунок было достижение наивысшей степени распыления дезинфицирующих растворов[3].

[1] Методические рекомендации 3.5.0315-23 «Рекомендации по выбору и применению очистки и обеззараживания воздуха в зданиях и помещениях общественного назначения» (утверждены Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 30.01.2023). Режим доступа: https://base.garant.ru/408056345/?ysclid=m8yf21r3ex639336800 Дата обращения: 15.11.2024.

[2] World Health Organization [Интернет]. Cleaning and disinfection of environmental surfaces in the context of COVID-19: Infection prevention and control. Режим доступа: https://www.who.int/publications/i/item/cleaning-and-disinfection-of-environmental-surfaces-inthe-context-of-covid-19 Дата обращения: 15.11.2024.

[3] Энциклопедический словарь Ф.А. Брокгауза и И.А. Ефрона. Отопление нефтяное. Режим доступа: https://dic.academic.ru/dic.nsf/brokgauz_efron/137252/Отопление?ysclid=m8ygd3om7n742531958 Дата обращения: 15.11.2024.

Дезинфекция воздуха и поверхностей стала особенно актуальной в условиях массовых заболеваний, таких как пандемии, эпидемии или вспышки инфекционных болезней. В 1878 году в станице Ветлянка (Россия) вспыхнула серьёзная чумная эпидемия, но своевременно принятые меры не позволили чуме выйти из своего очага. Для просвещения населения профессор Ю.Т. Чудновский написал брошюру «Предохранительные меры от чумы», в которой описал методы борьбы с чумной заразой, в том числе пульверизацию раствором салициловой кислоты [10].

Термин «аэрозоль» впервые был предложен британским профессором Фредериком Г. Доннаном (Frederick George Donnan) в конце первой мировой войны для обозначения высокодисперсных систем, таких как ядовитые дымы боевых отравляющих веществ, которые начали применяться в военных целях [11], а запатентовал первый аэрозольный баллончик с клапаном в 1927 году норвежский инженер-химик Эрик Ротхайм (Erik Andreas Rotheim) совместно с американскими энтомологами Лайлом Гудхью (Lyle D. Goodhue) и Уильямом Салливаном (William H. Sullivan) [12].

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

С 1930-х годов начали активно развиваться аэрозольные технологии [13, 14], что позволило создавать более эффективные методы дезинфекции воздуха. В 1954, 1957 и 1958 годах были запатентованы три изобретения, в основе которых лежал принцип аэрозольного обеззараживания и обработки разного рода помещений [15–17].

В 1961 году аэрозольный метод применяли при дезинсекции самолётов с использованием воздушных потоков системы вентиляции судна, которая способствовала распространению паров DDVP (O,O-диметил-2,2-дихлорвинилового фосфата) по всему воздушному судну, что приводило к 100% гибели комнатных мух [18, 19]. В 2001 году в ветеринарной практике было использовано распыление 4% раствора пероксимоносульфата для дезинфекции поверхностей [20], в этом же году техникой сухого аэрозольного обеззараживания применяли перекись водорода для обеззараживания поверхностей и внутренних помещений, машин скорой помощи и различных видов медицинского оборудования [21]. В 2010 году провели исследование по инактивации устойчивых к метициллину золотистого стафилококка (Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus, MRSA) и устойчивых к ванкомицину энтерококков (Vancomycin-resistant Enterococcus, VRE) на различных поверхностях окружающей среды посредством распыления дезинфицирующего средства на основе стабилизированного диоксида хлора и четвертичного аммониевого соединения (Cryocide20) [22]. В период пандемии COVID-19 аэрозольная дезинфекция приобрела особую актуальность для предотвращения распространения вируса, когда необходимость в эффективных мерах стала критически важной и требовала создания безопасной среды и снижения риска заражения [23].

С течением времени спектр дезинфицирующих средств, применяемых в аэрозольной дезинфекции, постепенно увеличивался, росли также требования к их безопасности и безвредности для окружающей среды. Стали внедряться биоцидные препараты нового поколения с широким спектром действия, которые являлись более эффективными и безопасными [24]. Параллельно с дезинфекционными средствами совершенствовались и способы распыления дезинфектантов — от баллончиков [25], ультразвуковых распылителей, обеспечивающих создание мелкодисперсного аэрозоля для равномерного распределения дезинфицирующего средства и более глубокого проникновения в труднодоступные места [26], высокоскоростных форсунок, обеспечивающих более точный и направленный распыл, позволяя повысить эффективность обработки [27], до интеллектуальных систем управления распылением (датчики, управляющие режимом распыления, автоматически регулируют интенсивность и направление потока аэрозоля в зависимости от условий окружающей среды и типа дезинфицирующего средства) [28].

Автоматизация процесса позволила интегрироваться аэрозольным дезинфекторам с системами вентиляции, обеспечив тем самым автоматизированную обработку воздуха в помещениях без необходимости ручного распыления [29], также при помощи датчиков и программного обеспечения обеспечивался контроль концентрации дезинфицирующего средства в воздухе, что позволяло оптимизировать процесс дезинфекции и гарантировать безопасность [25, 30]. Аналогичным образом повышение уровня безопасности и снижение риска заражения достигалось внедрением системы удалённого управления и аварийной остановки, посредством чего оператор контролировал работу дезинфектора дистанционно, система обеспечивала также автоматическую остановку работы дезинфектора в случае возникновения нештатных ситуаций [31].

Адаптируясь к условиям и специфике борьбы с инфекционными заболеваниями, аэрозольная дезинфекция всё больше признавалась эффективным и безопасным инструментом в системе профилактики и борьбы с контагиозными заболеваниями и активно применялась во многих странах мира. Важно отметить, что для каждого конкретного случая методика дезинфекции, тип дезинфицирующего средства и способ применения осуществлялись с учётом рекомендаций специалистов, специфики объекта и задач дезинфекции (табл. 1) [32–37]. Основным элементом устройства для получения аэрозолей служили форсунки, обеспечивающие достижение наибольшей относительной скорости жидкости и окружающего её воздуха. Расход дезинфицирующих средств варьировал в пределах 10–50 мл/м^3, время экспозиции — от 60 до 120 минут, дисперсность — от 5 до 30 мкм. Увеличение дисперсности аэрозоля и концентрации рабочего раствора не всегда приводило к положительным результатам: для обеззараживания воздуха наиболее эффективными были менее жёсткие режимы, чем для обеззараживания поверхностей [38]. При создании

Таблица 1. Опыт применения аэрозольной дезинфекции в различных сферах жизнедеятельности человека

Опыт применения	Область применения и страна	Используемые дезинфицирующие препараты
Patterson и соавт., 2005 [32]	Дезинфекция в области ветеринарии с целью оценки эффективности 4% дезинфицирующего средства на основе перекиси водорода, распыляемого на поверхности в стационаре для крупных животных, по результатам выявления *Staphylococcus aureus* и *Salmonella enterica* серотипа *Typhimurium* (Форт-Коллинс, штат Колорадо). Эффективность дезинфекции проверена путём оценки снижения *S. aureus* и *S. enterica* серотипа *Typhimurium. S. aureus и S. typhimurium* были помещены на полиэфирные плёнки в разных районах больницы. После распыления дезинфицирующего средства количество жизнеспособных бактерий сравнивали с контрольными образцами для оценки снижения их количества: было загрязнено в среднем $4{,}03\times10^7$ КОЕ *S. aureus* или $6{,}17\times10^6$ КОЕ *S. typhimurium.* Дезинфекция окружающей среды с использованием направленного распыления 4% раствора пероксимоносульфата привела более чем к 99,9999% снижению бактериальных колониеобразующих единиц	4% раствор пероксимоносульфата
Amodio и соавт., 2020 [33]	Дезинфекция в Университетской больнице Цюриха (клиническая больница на 950 коек с шестью отделениями интенсивной терапии (Швейцария). Использовано программируемое устройство (HyperDRYMist, модулятор микрораспылителя 99MB от 99Technologies), генерирующее сухой туман из перекиси водорода с размером частиц менее 1 мкм. Дезинфекция проводилась в невентилируемом помещении площадью 60 м^3 с закрытыми, но негерметичными дверями и окнами. Микрораспылитель HPDM был установлен в углу комнаты, а объекты исследования располагались на расстоянии более 2 м от аппарата. Всего было распылено 3 мл/м^3 дезинфицирующего раствора, что соответствует 140 частям на 1 млн перекиси водорода. Во всех 124 образцах с выявленной колонизацией обнаружена только микрофлора кожи или окружающей среды, ни одной патогенной бактерии не обнаружено. Количество бактерий снизилось более чем на 90% в 45% (95% ДИ 37–53) объектов. В сильно загрязнённых объектах распыление HPDM привело к снижению количества колониеобразующих единиц в среднем на 89%	6,6% раствор перекиси водорода, 60 мг/л катионов серебра
Артемов и соавт., 2021 [34]	Дезинфекция санитарных автомобилей и транспортировочного бокса в гараже территориального центра медицины катастроф (ТЦМК; Воронежская область, Россия). При организации оказания медицинской помощи пациентам с подозрением и с подтверждённой инфекцией COVID-19 в 2020 году и проведении профилактических и противоэпидемических мероприятий проводилась заключительная дезинфекции санитарных автомобилей и транспортировочного бокса в гараже ТЦМК, оборудованном специальным боксом. Фельдшер в средствах индивидуальной защиты проводил дезинфекцию 6% перекисью водорода с использованием аппарата Nocospray для аэрозольной дезинфекции с последующим использованием в салоне автомобиля ультрафиолетового облучателя открытого типа	6% раствор перекиси водорода
Arunwuttipong и соавт., 2021 [35]	Дезинфекция в общественном транспорте с целью разработки и валидации эффективной системы обеззараживания общественного транспорта (Бангкок, Таиланд). Экспериментальные исследования проводились в 13 междугородних автобусах общего пользования. В эксперименте использовался аэрозольный генератор с ультразвуковым распылителем. Процесс валидации дезинфекции проводился с использованием как химического, так и биологического индикатора споровых дисков. Для сравнения использовались обе концентрации перекиси водорода (5% и 7%). В аэрозольный период обе концентрации перекиси водорода через 30 мин оказались эффективными для спороцидного 6-логарифмического восстановления. Цикл обеззараживания составил 100 мин исходя из среднего времени разложения 70 мин	5% и 7% раствор перекиси водорода
Wood и соавт., 2021 [36]	Дезинфекция в операционной госпиталя второго уровня миротворческой армии ООН в Ливане (Китай). Бактерицидные эффекты обычного спрея дихлоризоцианурата натрия, аэрозольного спрея дихлоризоцианурата натрия, обычного спрея надуксусной кислоты, аэрозольного спрея надуксусной кислоты и ультрафиолетовых лучей в присутствии людей сравнивали методом естественного осаждения. Бактерицидное действие аэрозольного распыления дихлоризоцианурата натрия/надуксусной кислоты было лучше, чем у двух других методов распыления, при этом степень удаления бактерий из воздуха через несколько минут после дезинфекции составляла 74,6% и 69% соответственно	Производные хлора, надуксусная кислота
Estienney и соавт., 2022 [37]	Санитарная обработка машин скорой помощи в период пандемии COVID-19 в коммуне западного пригорода Парижа (Булонь-Бийанкур, Франция). В исследовании использовался автомобиль скорой помощи Renault SA, оснащённый детской интенсивной терапией. Образцы вируса были размещены на носилках автомобиля. Для образования тумана перекиси водорода использовали распылитель. Небулайзер поместили в угол салона согласно рекомендациям производителя. Транспортное средство было припарковано снаружи, и средняя температура салона во время эксперимента составляла 25°C. Небулайзер распыляли в течение 5 мин с последующей выдержкой в течение 1 ч для полного разложения перекиси водорода. Химические показатели использовались для определения достаточного воздействия перекиси водорода. Мазки брали с поверхностей до и после обработки и тестировали на геном SARS-CoV-2 с использованием полимеразной цепной реакции в реальном времени. Подобные эксперименты с вирусами проводились также в зале ожидания инфекционного отделения, где отсутствовала вентиляция. Время распыления составило 13 мин при общем объёме обработанных помещений 44 м^3, включая туалет	6% раствор перекиси водорода, нитрат серебра

аппарата в зависимости от конкретных требований выбирали оптимальный вариант с учётом таких характеристик, как дисперсность получаемых частиц, производительность, затраты энергии, размер и масса [39].

НОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ

В целом аэрозольная дезинфекция является эффективным методом, но её применение требует особой осторожности. Необходимо учитывать все риски и ограничения, а также выбирать правильный дезинфектант и способ его использования. К применению в медицинских организациях допускаются только зарегистрированные в установленном порядке средства (при наличии свидетельства о государственной регистрации, инструкции к применению, этикетки, декларации о соответствии). Оборудование, применяемое для аэрозольной дезинфекции, должно иметь сертификат соответствия, декларацию о соответствии требованиям технического регламента Таможенного союза[4]; при обработке должны соблюдаться правильность выбора режима дезинфекции в зависимости от назначения помещения, технология и меры предосторожности, корректность выбора оборудования для обработки обеззараживания систем вентиляции и кондиционирования воздуха[5].

Несмотря на наличие рекомендательных нормативных документов по дезинфекции системы вентиляции, они не отражают в должной мере критерии оценки микробной обсеменённости вентиляционных систем, их санитарно-техническое состояние, отсутствуют отработанные технологии дезинфекционной обработки системы вентиляции с контролем качества проведённых мероприятий[6, 7, 8, 9]. Достаточно длительное время проблемы практической дезинфекции системы вентиляции, такие как недостаточное нормативно-методическое обеспечение, разработка новых дезинфицирующих средств с учётом особых требований к качеству и безопасности, внедрение новых технологий дезинфекции системы вентиляции, обеспечивающих эффективность обеззараживания внутренних поверхностей воздуховодов, остаются нерешёнными. Размер аэрозольных частиц при проведении аэрозольной дезинфекции неодинаков; при обработке препарат осаждается неравномерно, что увеличивает его расход. Дезинфектант может распределяться неравномерно, что приводит к недостаточному воздействию на некоторые обрабатываемые области [40]. Частицы аэрозоля могут оседать на поверхностях, создавая неравномерное покрытие и оставляя незащищённые участки [41].

Некоторые дезинфектанты в аэрозольной форме могут быть токсичными для людей, особенно в замкнутых пространствах. Дезинфектанты легко воспламеняемы, поэтому их использование должно быть максимально безопасным, особенно в местах с открытым огнём [42].

Ряд дезинфектантов, в частности хлорная известь, формальдегид, щелочной глутаровый альдегид, четвертичные аммониевые основания, надуксусная кислота, могут повреждать покрытия окружающих предметов интерьера и отделки, а дезинфектанты на основе раствора анолита могут оставлять остатки на поверхностях [43]. Неправильное применение аэрозольной дезинфекции может быть опасным для здоровья, для чего требуются специальное оборудование и подготовка персонала[10].

Аэрозольная дезинфекция в системе профилактических и противоэпидемических мероприятий имеет многовековую историю. Понятие «аэрозоль» впервые появилось в конце XVIII века, а применять его стали в конце Первой мировой войны для обозначения высокодисперсных систем боевых отравляющих веществ. Следует отметить, что в нашей стране впервые были систематизированы данные применения дезинфекционной аппаратуры для генерации аэрозолей, и что учёные нашей страны явились основоположниками науки об аэрозолях. Установление этиологии и путей передачи инфекционных заболеваний, изучение физико-химических свойств аэрозолей, выявление значительного количества химических соединений, обладающих высокой активностью, разработка и внедрение в практику сельского хозяйства, ветеринарии,

[4] ТР ТС 004/2011 от 16.08.2011 N 768 «О безопасности низковольтного оборудования». Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/902299536?ysclid=m8yq9aiup1337994018 Дата обращения: 15.11.2024.

[5] Методические рекомендации МР 3.5.1.0103-15 от 28.09.2015 «Методические рекомендации по применению метода аэрозольной дезинфекции в медицинских организациях». Режим доступа: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71117992/?ysclid=m8yqin35pu809233282 Дата обращения: 15.11.2024.

[6] Постановление от 28.01.2021 № 4 об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 3.3686-21 «Санитарно-эпидемиологические требования по профилактике инфекционных болезней». Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/573660140 Дата обращения: 15.11.2024.

[7] Методические рекомендации МР 3.5.0071-13 от 24.05.2013 «Организация и проведение дезинфекционных мероприятий на различных объектах в период подготовки и проведения массовых мероприятий». Режим доступа: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70310128/?ysclid=m8yqtw7s4b267292844 Дата обращения: 15.11.2024.

[8] Методические рекомендации МР 3.1/2.1.0186-20 от 25.05.2020 «Рекомендации по проведению профилактических мероприятий в целях предотвращения распространения новой коронавирусной инфекции (COVID-19) при восстановлении профильной деятельности медицинских организаций». Режим доступа: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74110050/?ysclid=m8yr06gc9x902084325 Дата обращения: 15.11.2024.

[9] Постановление от 24.12.2020 № 44 об утверждении санитарных правил СП 2.1.3678-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к эксплуатации помещений, зданий, сооружений, оборудования и транспорта, а также условиям деятельности хозяйствующих субъектов, осуществляющих продажу товаров, выполнение работ или оказание услуг». Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/573275590?ysclid=m8yr4ol6c5445788973 Дата обращения: 15.11.2024.

[10] Методические рекомендации МР 3.5.0315-23 от 30.01.2023 «Рекомендации по выбору и применению очистки и обеззараживания воздуха в зданиях и помещениях общественного назначения». Режим доступа: https://base.garant.ru/408056345/?ysclid=m8yra3whgd589497795 Дата обращения: 15.11.2024.

растениеводства оборудования для образования аэрозолей способствовали широкому применению аэрозольной дезинфекции в системе профилактических мероприятий [44]. Научные исследования по применению аэрозолей для дезинфекции помещений и воздуха в медицинских организациях начали проводиться в 70–80-е годы прошлого столетия [45].

Активное применение аэрозольной дезинфекции отмечается с 2000-х годов, когда широкое распространение приобрели внутрибольничные инфекции, и на рынок услуг по дезинфекции массово стали поступать аэрозольные генераторы, в том числе «холодного» и «горячего» тумана [46]. В настоящее время невозможно представить проведение дезинфекционных мероприятий без аэрозольной технологии, в то же время существующие проблемы в практике использования аэрозольной дезинфекции требуют дальнейшего изучения бактерицидности дисперсных систем, оптимизации оборудования, разработки нормативных документов для проведения качественной дезинфекции помещений и предметов окружающей среды. Учитывая, что аэрозольная система является неустойчивой и постоянно изменяющейся, существует необходимость определения обеззараживающего уровня, дисперсности того или иного дезинфицирующего средства, направленности действия [47]. Существуют требования к аэрозолям дезинфицирующих средств: экологическая безопасность, уменьшение времени экспозиции, сохранность материала обрабатываемых поверхностей, возможность использования простого метода нейтрализации [48].

Высокая эпидемиологическая эффективность применения аэрозольной дезинфекции достигнута в организованных коллективах, животноводческих комплексах, а также в сельском хозяйстве, в дезинфекции военной техники и гражданского транспорта, при строительстве и сдаче вновь вводимых объектов, включая медицинские [49–51]. Актуальной проблемой всё также остаётся дезинфекция вентиляционных систем, в том числе с применением аэрозольных технологий [52].

При проведении аэрозольной дезинфекции необходимо учитывать ряд факторов для достижения обеззараживающего эффекта. В первую очередь уделяется внимание температурному режиму (учитывается разница температуры воздуха, стен и инвентаря). Затем следует обратить внимание на содержание дисперсности аэрозоля: чем выше дисперсность, тем больше частиц оседает на вертикальных поверхностях и потолке. Стоит также обратить внимание на достижение обеззараживающего эффекта дезинфицирующего аэрозоля, который лучше всего реализуется в пылевой фазе (применение «сухого» тумана с размером капель от 2,0 до 10,0 мкм). Качество предварительной очистки поверхностей и количество распыляемого раствора также играют значительную роль. Наконец, необходимо учитывать совместимость аэрозоля дезинфицирующего раствора с обрабатываемыми материалами [53].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведённого системного обзора изучены различные аспекты применения аэрозольной дезинфекции в разных сферах. В обзоре обобщены и систематизированы имеющиеся данные об эффективности метода, выявлены его преимущества и недостатки, обоснована необходимость дальнейшего совершенствования и расширения практического применения аэрозольной дезинфекции с учётом выявленных особенностей и ограничений.

Аэрозольная дезинфекция занимает важное место в системе профилактических и противоэпидемических мероприятий, оказывая значимое влияние на снижение риска возникновения эпидемических вспышек инфекционных заболеваний с различными механизмами передачи.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. С.С. Смирнова — координация работы, руководство процессом сбора и анализа литературы, редактирование текста рукописи; А.А. Каменева, Н.Н. Жуйков — сбор и систематизация литературных источников, анализ и обобщение данных, написание текста рукописи; И.А. Егоров, Ю.С. Стагильская, Д.Д. Авдюнин — поиск и анализ актуальных научных публикаций, подготовка материалов для включения в обзор, редактирование рукописи. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы и гарантировали, что вопросы, связанные с точностью или добросовестностью любой части работы, будут должным образом рассмотрены и решены.

Источники финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов (личных, профессиональных или финансовых), связанных с третьими лицами (коммерческими, некоммерческими, частными), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи, а также иных отношений, деятельности и интересов за последние три года, о которых необходимо сообщить.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. S.S. Smirnova: coordination of work, management of the process of collecting and analyzing literature, editing the manuscript; A.A. Kameneva, N.N. Zhuikov: collection and systematization of literary sources, analysis and generalization of data, writing the text of the manuscript; I.A. Egorov, Yu. S. Stagilskaya, D.D. Avdyunin: search and analysis of relevant scientific publications, preparation of materials for inclusion in the review, editing the manuscript. Thereby, all authors provided approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work in ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Funding sources. None.

Disclosure of interests. The authors declare that they have no relevant financial or non-financial relationships, including any activities, interests or relationships with any organizations or individuals that could conflict with, or seem to influence, the content of this article. Additionally, they have not received any financial support from any organization or individual that might be influenced by the contents of this paper. Furthermore, they declare that there are no other relevant relationships, activities, or interests that could be considered in relation to the content of their work over the past three years.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Jones IA, Joshi LT. Biocide use in the antimicrobial era: A review. *Molecules*. 2021;26(8):2276. doi: 10.3390/molecules26082276 EDN: RVXVGT

2. Kunduru KR, Kutner N, Nassar-Marjiya E, et al. Disinfectants role in the prevention of spreading the COVID-19 and other infectious diseases: The need for functional polymers! *Polym Adv Technol*. 2022;33(11):3853–3861. doi: 10.1002/pat.5689

3. Qiu G, Zhang X, deMello AJ, et al. On-site airborne pathogen detection for infection risk mitigation. *Chem Soc Rev*. 2023;52(24):8531–8579. doi: 10.1039/d3cs00417a EDN: TZQHOT

4. Patent RUS № 2218183 C2/2003.12.10. Maleev BV, Zaitsev YN. *Method of aerosol disinfection of enclosed spaces, including the air environment and objects, as well as animals, birds, plants and humans in these spaces, using electrochemically activated solutions (garden)*. (In Russ.) Available from: https://yandex.ru/patents/doc/RU2218183C2_20031210?ysclid=m8yg0nqqj5125554159 Accessed: Nov 15, 2024.

5. Blazejewski C, Wallet F, Rouzé A, et al. Efficiency of hydrogen peroxide in improving disinfection of ICU rooms. *Crit Care*. 2015;19(1):30. doi: 10.1186/s13054-015-0752-9 EDN: GMBIPR

6. Morozov AM, Sergeev AN, Kadykov VA, et al. About the history of the antiseptic's development as the beginning of modern surgery. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2020;(3):140. doi: 10.17513/spno.29706 EDN: IEEOMP

7. Lane HJ, Blum N, Fee E, et al. Oliver wendell holmes (1809-1894) and Ignaz philipp semmelweis (1818-1865): Preventing the transmission of puerperal fever. *Am J Public Health*. 2010;100(6):1008–1009. doi: 10.2105/AJPH.2009.185363

8. Morozov AM, Sergeev AN, Sergeev NA, et al. Modern methods of stimulating the process of regeneration of postoperative wounds. *Siberian Med Rev*. 2020;3(123):54–60. doi: 10.20333/2500136-2020-3-54-60 EDN: WHYDTP (In Russ.)

9. Worboys M. Joseph Lister and the performance of antiseptic surgery. *Notes Rec R Soc Lond*. 2013;67(3):199–209. doi: 10.1098/rsnr.2013.0028

10. Pirogovskaya MM. The vetlyanka plague of 1878-1879: Sanitary discourse, sanitary strategy and the (re-)making of sensibility. *Antropologicheskij forum*. 2012;17:198–229. EDN: NUTHKX

11. Beresnev SA, Gryazin VI. *Physics of atmospheric aerosols:* A course of lectures. Ekaterinburg: Ural University Publishing House; 2008. 227 p. (Series: Ecology and Nature Management). (In Russ.)

12. Goodhue LD, Sullivan WN, inventors; Current Assignee Claude R Wickard. *Dispensing apparatu*. United States patent US 2,331,117 (Serial No. 413,474). 1941 Oct 3.

13. Puck TT. The mechanism of aerial disinfection by glycols and other chemical agents: I. Demonstration that the germicidal action occurs through the agency of the vapor phase. *J Exp Med*. 1947;85(6):729–739. doi: 10.1084/jem.85.6.729

14. Twort CC, Baker AH, Finn SR, et al. The disinfection of closed atmospheres with germicidal aerosols. *J Hyg (Lond)*. 1940;40(3):253–344. doi: 10.1017/s0022172400027820

15. Patent RUS № 101146 A1/1955.01.01. Dumsky VF, Evalenko RV, Ivanova ZV, et al. *Method of aerosol treatment of closed rooms and agricultural plants*. (In Russ.) Available from: https://yandex.ru/patents/doc/SU101146A1_19550101?ysclid=m8yiv7molc206625364 Accessed: Nov 15, 2024.

16. Patent RUS № 111191 A1/1957.01.01. Yarnych VS. *Agent for aerosol disinfection and disinfestation of premises*. (In Russ.) Available from: https://yandex.ru/patents/doc/SU111191A1_19570101 Accessed: Nov 15, 2024.

17. Patent RUS № 119971 A1/1959.01.01. Patz SI. *Combination atomiser for disinfectant solutions, suspensions and other liquids*. (In Russ.) Available from: https://yandex.ru/patents/doc/SU119971A1_19590101 Accessed: Nov 15, 2024.

18. Jensen JA, Pearce GW, Quarterman KD. Insecticidal vapours for aircraft disinsection. *Bull World Health Organ*. 1961;24:611–616.

19. Schoof HF, Jensen JA, Porter JE, et al. Disinsection of aircraft with a mechanical dispenser of DDVP vapour. *Bull World Health Organ*. 1961;24:623–628.

20. Prokopenko AA, Wanner NE, Kushch IV, et al. Disinfection technology of veterinary and sanitary objects by directed aerosols of anolyte perox. *Problems on veterinary sanitation, hygiene and ecology*. 2020;3:322–327. doi: 10.36871/vet.san.hyg.ecol.202003006 EDN: DYBEZP

21. Andersen BM, Rasch M, Hochlin K, et al. Decontamination of rooms, medical equipment and ambulances using an aerosol of hydrogen peroxide disinfectant. *J Hosp Infect*. 2006;62(2):149–155. doi: 10.1016/j.jhin.2005.07.020

22. Callahan KL, Beck NK, Duffield EA, et al. Inactivation of methicillin-resistant staphylococcus aureus (MRSA) and vancomycin-resistant enterococcus faecium (VRE) on various environmental surfaces by mist application of a stabilized chlorine dioxide and quaternary ammonium compound-based disinfectant. *J Occup Environ Hyg*. 2010;7(9):529–534. doi: 10.1080/15459624.2010.487806

23. Choi H, Chatterjee P, Lichtfouse E, et al. Classical and alternative disinfection strategies to control the COVID-19 virus in healthcare facilities: A review. *Environmental Chemistry Letter*. 2021;19(3):1945–1951. doi: 10.1007/s10311-021-01180-4 EDN: YEPKIQ

24. Ochowiak M, Krupińska A, Włodarczak S, et al. Analysis of the possibility of disinfecting surfaces using portable foggers in the era of the SARS-CoV-2 epidemic. *Energies*. 2021;14(7):2019. doi: 10.3390/EN14072019 EDN: FUWSIF

25. Tuleshov A, Khabiev A, Rakhmatulina A, et al. Practical application of the new disinfection robot in the fight against viral infections. *Bulletin of Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpayev*. 2023;124(1);264–273. doi: 10.52167/1609-1817-2023-124-1-264-273 EDN: YENSOO

26. Patent RUS № 2481160 C1/2013.05.10. Khmelev VN, Shalunov AV, Henne DV, et al. *Ultrasonic atomiser*. (In Russ.) Available from: https://yandex.ru/patents/doc/RU2481160C1_20130510 Accessed: Nov 15, 2024.

27. Patent RUS № 206843 U1/2021.09.29. Trubitsyn AA, Trubitsyna DA, Khristoforov AA. *Device for aerosol disinfection of closed rooms*. (In Russ.) Available from: https://yandex.ru/patents/doc/RU206843U1_20210929 Accessed: Nov 15, 2024.

28. Patent RUS № 200217 U1/2020.10.13. Pyt'ko NS. *Autonomous automatic device for disinfection of surfaces*. (In Russ.) Available from: https://yandex.ru/patents/doc/RU200217U1_20201013 Accessed: Nov 15, 2024.

29. Patent RUS № 2731265 C1/2020.09.01. Alimov AV, Zhuykov NN, Rupysheva TA. *Aerosol method of disinfection of ventilation systems*. (In Russ.) Available from: https://yandex.ru/patents/doc/RU2731265C1_20200901 Accessed: Nov 15, 2024.

30. Liljedahl LA, Retzer HJ, Sullivan WN, et al. Aircraft disinfection: The physical and insecticidal characteristics of (+)-phenothrin applied by aerosol at "blocks away". *Bull World Health Organ*. 1976;54(4):391–396.

31. Yao Z, Ma N, Chen Y. An autonomous mobile combination disinfection system. *Sensors (Basel)*. 2023;24(1):53. doi: 10.3390/s24010053 EDN: JWWGOS

32. Patterson G, Morley PS, Blehm KD, et al. Efficacy of directed misting application of a peroxygen disinfectant for environmental decontamination of a veterinary hospital. *J Am Vet Med Assoc*. 2005;227(4):597–602. doi: 10.2460/javma.2005.227.597

33. Amodio E, Kuster SP, Garzoni C, et al. Disinfecting noncritical medical equipment-Effectiveness of hydrogen peroxide dry mist as an adjunctive method. *Am J Inf Control*. 2020;48(8):897–902. doi: 10.1016/j.ajic.2020.05.016 EDN: DSTJCW

34. Artemov AN, Balabaev GA, Vorobiev AI, et al. Organization of stage medical care to patients with suspected and confirmed new coronavirus infection Covid-19 in the Voronezh region. *Disaster Med*. 2021;(2):46–49. doi: 10.33266/2070-1004-2021-2-46-49 EDN: UHJTEL

35. Arunwuttipong A, Jangtawee P, Vchirawongkwin V, et al. Public buses decontamination by automated hydrogen peroxide aerosolization system. *Open Access Maced J Med Sci*. 2021;9(E):847–856. doi: 10.3889/oamjms.2021.6828 EDN: EKKHWN

36. Wood JP, Magnuson M, Touati A, et al. Evaluation of electrostatic sprayers and foggers for the application of disinfectants in the era of SARS-CoV-2. *PLoS One*. 2021;16(9):e0257434. doi: 10.1371/journal.pone.0257434 EDN: TPFBYR

37. Estienney M, Daval-Frerot P, Aho-Glélé LS, et al. Use of a hydrogen peroxide nebulizer for viral disinfection of emergency ambulance

and hospital waiting room. *Food Environ Virol*. 2022;14(2):217–221. doi: 10.1007/s12560-022-09519-y EDN: KQRJBJ
38. Shestopalov NV, Skopin AY, Fedorova LS, et al. Developing methodical approaches to managing risks of airborne infections with aerosol contagion. *Health Risk Analysis*. 2019;(1):84–92. doi: 10.21668/health.risk/2019.1.09 EDN: THVPAQ
39. Khovzun TV, Lobanov YV, Shah AV, et al. Domestic generator of "cold fog" aerosols for disinfection with highly dispersed aerosols at food industry enterprises. *Aktual'nye voprosy pererabotki myasnogo i molochnogo syr'ya*. 2008;(3):273–281. (In Russ.)
40. Fokin AI, Petrova AA. The development of new effective protocols of air disinfection in poultry houses with gaseous iodine. *Ptitsevodstvo*. 2019;(6):56–60. doi: 10.33845/0033-3239-2019-68-6-56-60 EDN: WCNAAE
41. Chezganova EA, Efimova OS, Sozinov SA, et al. Particulate matter in a hospital environment: as potential reservoir for hospital strains. *Epidemiology & Vaccinal prevention.* 2019;18(4):82–92. doi: 10.31631/2073-3046-2019-18-4-82-92 EDN: NNOSHO
42. Krasochko PA, Gotovsky DG, Bublov AV, et al. *Disinfection:* Educational and methodological manual. Vitebsk; 2020. 84 p. (In Russ.) EDN: VBASQT
43. Patent RUS № 2379058 C1/2010.01.20. Sventitsky EN, Glushenko VM, Tolparov UN et al. *Method of aerosol disinfection of closed rooms.* (In Russ.) Available from: https://yandex.ru/patents/doc/RU2379058C1_20100120 Accessed: Nov 15, 2024.
44. Sventitsky EN, Chernyaeva EV, Egorova TS, et al. Disinfection of enclosed facilities with aerosol of electrochemically activated solution. *Extreme Med*. 2011;4(38):85–90. EDN: TJHVUD
45. Patent RUS № 789118 A1/1980.12.23. Kitaev AV, Yarnykh VS, Kelbikhanov NM, Gusev VN. *Method of air disinfection.* (In Russ.) Available from: https://yandex.ru/patents/doc/SU789118A1_19801223 Accessed: Nov 15, 2024.
46. Vysotsky AE, Fomchenko IV, Verbitsky AA. Aerosol disinfection of livestock buildings with Sandim-D preparation. *Vitebskaya gosudarstvennaya ordena Znak Pocheta veterinarnaya akademiya*. 2005;41(2-1):16–17. EDN: VCLIXT
47. Prozorkina NV, Rubashkina LA. Fundamentals of microbiology, virology and immunology: textbook for secondary specialized medical educational institutions. Rostov-on-Don: Feniks; 2012. 378 p. (In Russ.)
48. Schinköthe J, Scheinemann HA, Diederich S, et al. Airborne disinfection by dry fogging efficiently inactivates severe acute respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2), mycobacteria, and bacterial spores and shows limitations of commercial spore carriers. *Appl Environ Microbiol*. 2021;87(3):e02019-20. doi: 10.1128/AEM.02019-20
49. Sachkova OS, Koroleva AM. Domestic and foreign experience in application of equipment and methods of air disinfection in public transport. *Security Problems of the Russian Society*. 2021;(1):24–33. EDN: INTKQP
50. Kuznetsov VV, Belyakov PE, Sharov SA, et al. Modern high-performance methods for special processing of arms, military and special equipment. *J NBC Protection Corps*. 2022;6(3):271–281. doi: 10.35825/2587-5728-2022-6-3-271-281 EDN: ODTSIN
51. Sanguinet J, Edmiston C. Evaluation of dry hydrogen peroxide in reducing microbial bioburden in a healthcare facility. *Am J Infect Control*. 2021;49(8):985–990. doi: 10.1016/j.ajic.2021.03.004 EDN: SKGMNI
52. Totaro M, Costa AL, Casini B, et al. Microbiological air quality in heating, ventilation and air conditioning systems of surgical and intensive care areas: The application of a disinfection procedure for dehumidification devices. *Pathogens*. 2019;15,8(1):8. doi: 10.3390/pathogens8010008
53. Ivanov BG, Ziganshin BG, Rudakov AI, et al. Assessment of distribution of disinfecting liquid drops on the surface processed. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2019;14(3):103–107. doi: 10.12737/article_5db969d80165a4.44685655 EDN: HNUTDX

ОБ АВТОРАХ

*** Смирнова Светлана Сергеевна**, канд. мед. наук;
адрес: Россия, 620030, Екатеринбург, ул. Летняя, 23;
ORCID: 0000-0002-9749-4611;
eLibrary SPIN: 3127-4296;
e-mail: smirnova_ss@niivirom.ru

Каменева Анастасия Андреевна;
ORCID: 0009-0006-2386-8939;
eLibrary SPIN: 7699-6092;
e-mail: kameneva_aa@niivirom.ru

Жуйков Николай Николаевич;
ORCID: 0000-0002-7018-7582;
eLibrary SPIN: 2218-5795;
e-mail: zhuikov_nn@niivirom.ru

Стагильская Юлия Сергеевна;
ORCID: 0009-0000-9261-5624;
eLibrary SPIN: 2923-4892;
e-mail: stagilskaya_ys@niivirom.ru

Егоров Иван Андреевич;
ORCID: 0000-0002-7153-2827;
eLibrary SPIN: 6465-0182;
e-mail: egorov_ia@niivirom.ru

Авдюнин Дмитрий Дмитриевич;
ORCID: 0009-0005-3660-2251;
eLibrary SPIN: 2299-4143;
e-mail: avdyunin_dd@niivirom.ru

AUTHORS' INFO

*** Svetlana S. Smirnova**, MD, Cand. Sci. (Medicine);
address: 23 Letnaya st, Ekaterinburg, Russia, 620030;
ORCID: 0000-0002-9749-4611;
eLibrary SPIN: 3127-4296;
e-mail: smirnova_ss@niivirom.ru

Anastasia A. Kameneva;
ORCID: 0009-0006-2386-8939;
eLibrary SPIN: 7699-6092;
e-mail: kameneva_aa@niivirom.ru

Nikolay N. Zhuikov;
ORCID: 0000-0002-7018-7582;
eLibrary SPIN: 2218-5795;
e-mail: zhuikov_nn@niivirom.ru

Yulia S. Stagilskaya;
ORCID: 0009-0000-9261-5624;
eLibrary SPIN: 2923-4892;
e-mail: stagilskaya_ys@niivirom.ru

Ivan A. Egorov;
ORCID: 0000-0002-7153-2827;
eLibrary SPIN: 6465-0182;
e-mail: egorov_ia@niivirom.ru

Dmitry D. Avdyunin;
ORCID: 0009-0005-3660-2251;
eLibrary SPIN: 2299-4143;
e-mail: avdyunin_dd@niivirom.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author