



## Разработка и обоснование методологии пробиотической очистки внутренней среды закрытых помещений в автоматизированном режиме

М.А. Позднякова, Е.С. Жукова, В.В. Шалаганова, Л.В. Полякова

ФБУН «Нижегородский НИИ гигиены и профпатологии» Роспотребнадзора,  
ул. Семашко, д. 20, г. Нижний Новгород, 603950, Российская Федерация

### Резюме

**Введение.** Очистка внутренней среды закрытых помещений пробиотическими средствами – развивающаяся экологичная дезинфектологическая технология, направленная на улучшение эпидемиологического и санитарно-гигиенического состояния за счет вытеснения пробиотическими культурами патогенной микрофлоры с объектов окружающей среды.

**Цель исследования:** разработать и обосновать методологию автоматизированной пробиотической очистки внутренней среды закрытого помещения на основе *Bacillus* spp., рассчитанную для современного сетевого программно-аппаратного комплекса на базе системы «интернет вещей», и апробировать ее при моделировании условий реального применения с использованием лабораторных животных.

**Материалы и методы.** На основе анализа 32 литературных источников рассчитали режим для автоматизированной пробиотической очистки. Тестирование нового способа проводили в экспериментальном закрытом помещении объемом 40 м<sup>3</sup>. Распыление раствора коммерческого пробиотика на основе *Bacillus* spp. осуществлялось с помощью адиабатического увлажнителя воздуха, подключенного к модулю управления сетевого программно-аппаратного комплекса на базе системы «интернет вещей». Антимикробная эффективность очистки оценивалась стандартными микробиологическими методами. Проверка воздействия на организм осуществлялась по интегральным показателям функционального состояния организма и изменениям в микрофлоре толстого кишечника лабораторных крыс.

**Результаты.** Разработана и обоснована методология автоматизированной пробиотической очистки внутренней среды закрытого помещения на основе *Bacillus* spp.: для помещения объемом 40 м<sup>3</sup> рекомендуемый режим распыления пробиотика с концентрацией микроорганизмов  $(2,8 \pm 0,4) \times 10^3$  КОЕ/мл составляет ежедневно по 273 мл в течение 28 суток. Апробация данного режима показала антимикробное действие в отношении *Enterococcus* spp. и *Staphylococcus* spp. при отсутствии избыточного роста *Bacillus* spp. на поверхностях. Не выявлено негативного влияния на общее состояние лабораторных животных. Показано антикlostридиальное действие на микрофлору толстого кишечника крыс.

**Заключение.** Разработанная и обоснованная новая методология автоматизированной пробиотической очистки внутренней среды закрытого помещения была апробирована при моделировании условий реального применения. Получены базисные данные ее воздействия на санитарно-показательные микроорганизмы внутренней среды закрытого помещения и на отдельные параметры состояния организма лабораторных животных.

**Ключевые слова:** внутренняя среда закрытых помещений, автоматизированная пробиотическая очистка, технология «интернет вещей», микробная контаминация, лабораторные животные.

**Для цитирования:** Позднякова М.А., Жукова Е.С., Шалаганова В.В., Полякова Л.В. Разработка и обоснование методологии пробиотической очистки внутренней среды закрытых помещений в автоматизированном режиме // Здоровье населения и среда обитания. 2025. Т. 33. № 10. С. 56–65. doi: 10.35627/2219-5238/2025-33-10-56-65

## Development and Substantiation of the Methodology for Automated Probiotic-Based Cleaning of Indoor Environments

Marina A. Pozdnyakova, Evgeniya S. Zhukova, Veronika V. Shalaganova, Lyubov V. Polyakova

Nizhny Novgorod Scientific Research Institute of Hygiene and Occupational Diseases,  
20 Semashko Street, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation

### Summary

**Introduction:** Cleaning of the indoor environment with probiotic agents is an evolving environmentally friendly disinfection technology aimed at improving epidemiological and hygienic conditions by displacing pathogenic microflora from environmental objects with probiotic cultures.

**Objective:** To develop and validate the methodology for an automated probiotic cleaning of indoor environment using *Bacillus* spp. designed for a modern network software and hardware complex based on the Internet of Things system and to test it under simulating real-life application conditions on laboratory animals.

**Materials and Methods:** Having reviewed 32 literature sources, we estimated the regimen for automated probiotic-based purification and tested the new technique in a 40 m<sup>3</sup> closed experimental chamber. The solution of a commercial probiotic of *Bacillus* spp. was sprayed using an adiabatic humidifier connected to the control module of the Internet of Things system. We established the antimicrobial efficacy of cleaning using standard microbiological testing methods and evaluated health effects using integral indicators of the functional state and changes in gut microbiota in laboratory rats.

**Results:** We developed and substantiated the methodology for automated probiotic cleaning of indoor environment using *Bacillus* spp. To clean a 40 m<sup>3</sup> room, 273 mL of the *Bacillus*-based probiotic cleanser containing  $(2.8 \pm 0.4) \times 10^3$  CFU/mL of microorganisms should be sprayed hourly for 28 days. Testing of this automated mode proved the reduction in the surface bioburden of *Enterococcus* spp. and *Staphylococcus* spp. with no excessive growth of *Bacillus* spp. No adverse health effects were observed in laboratory animals. The probiotic demonstrated anticlostridial activity in the large intestine of rats.

**Conclusions:** The developed and validated new methodology of automated probiotic-based cleaning of the indoor environment has undergone real-life scenario testing. Basic data on its impact on indoor pathogens and some physiological parameters of laboratory animals were collected.

**Keywords:** indoor environment, automatic probiotic-based cleaning, Internet of Things, microbial contamination, laboratory animals.

**Cite as:** Pozdnyakova MA, Zhukova ES, Shalaganova VV, Polyakova LV. Development and substantiation of the methodology for automated probiotic-based cleaning of indoor environments. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2025;33(10):56–65. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2025-33-10-56-65

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2025-33-10-56-65>  
Original Research Article

**Введение.** Создание комфортной и безопасной среды для жизни человека является одной из национальных целей развития России и приоритетов государственной политики, определенных руководством нашей страны<sup>1</sup>.

Вместе с тем многие исследования показывают, что до 90 % своего времени человек, живущий в крупном городе, проводит в закрытых помещениях (ЗП) [1, 2]. Исходя из этого становится очевидным, что многочисленные факторы внутренней среды ЗП оказывают большее влияние на здоровье, чем качество наружного воздуха, что подтверждено рядом независимых работ [3–5]. При этом ВОЗ выделила микробную контаминацию как ключевой элемент загрязнения воздуха в ЗП<sup>2</sup>. Неуклонный рост устойчивости микроорганизмов (МО) к антимикробным препаратам, проблема внутригоспитальных инфекций и опыт пандемии COVID-19 актуализируют проблему разработки новых методов управления микрофлорой абиотической среды ЗП [6].

В 2009 году была высказана гипотеза о том, что пробиотические МО и биосурфактанты из окружающей среды могут играть важную роль в методах борьбы с внутрибольничными инфекциями [7]. За последние несколько лет в экспериментах *in vitro* на культурах, искусственно контаминированных тест-микроорганизмами объектах, и испытаниях в практических условиях показана выраженная антагонистическая активность по отношению к патогенным и условно-патогенным МО ЗП у пробиотических штаммов *Bacillus* spp. [8–11]. На сегодняшний день известно, что стабильный антимикробный эффект от пробиотической очистки внутренней среды ЗП возможен лишь вследствие длительного (2–4 недели) систематического применения [10, 11], что трудозатратно при использовании стратегии ручной уборки, следовательно, необходима автоматизация данного процесса.

В решение данной задачи, учитывая принципы Стратегии научно-технического развития страны<sup>3</sup>, предлагается использовать активно развивающуюся сегодня концепцию «интернет вещей». Данный подход уже начинает внедряться некоторыми исследователями в область комплексного мониторинга и корректировки показателей внутренней среды ЗП в составе так называемых «умных» технологий [12, 13]. В ходе настоящего исследования была применена новаторская российская запатентованная разработка – сетевой программно-аппаратный комплекс (СПАК)<sup>4</sup>, позволяющий полностью автоматизировать процесс распыления пробиотика в ЗП.

Вместе с тем, по данным проведенного информационного поиска глубиной 15 лет, до настоящего времени методология применения подобных систем для пробиотической очистки не разработана, равно как эффективные и безопасные режимы такого

воздействия не определены. Также не обнаружены исследования влияния пробиотиков в виде аэрозоля на организм человека и животных. Перечисленные факты послужили обоснованием научной новизны настоящего исследования.

В связи с вышесказанным **целью исследования** явилось: разработать и обосновать методологию автоматизированной пробиотической очистки внутренней среды закрытого помещения на основе *Bacillus* spp., рассчитанную для современного сетевого программно-аппаратного комплекса на базе системы «интернет вещей», и апробировать ее при моделировании условий реального применения с использованием лабораторных животных.

**Материалы и методы.** Исследование выполнено на базе ФБУН «Нижегородский НИИ гигиены и профпатологии» Роспотребнадзора (г. Нижний Новгород, Россия).

На первом (документарном, теоретическом) этапе расчет метода осуществлялся по данным информационного поиска. Анализ проводился с использованием публикаций, доступных в базах данных CyberLeninka, ResearchGate, PubMed, открытых интернет-ресурсах на русском и английском языках, в электронных и печатных архивах периодических научных журналов. Помимо научных статей рассматривались документы ВОЗ и нормативные законодательные акты РФ, посвященные данной проблеме. Критериями включения были временные рамки глубиной 15 лет. Всего по данной проблеме просмотрено 494 источника, для анализа были отобраны 32.

Второй этап (тестирование) осуществлялся в период август–сентябрь 2023 года – вне отопительного сезона. Дневная и ночная среднесуточная температура атмосферного воздуха составила  $22,1 \pm 2,1$  и  $11,5 \pm 1,6$  °C соответственно; относительная влажность воздуха окружающей среды –  $72,1 \pm 2,1$  %. Тестирование проводилось при моделировании условий реального распыления пробиотика в экспериментальном ЗП объемом 40 м<sup>3</sup> и площадью поверхностей стен и пола 65,5 м<sup>2</sup>, оборудованном СПАК на базе технологии «интернет вещей»<sup>5</sup>. Во время тестирования в помещении имели доступ только рабочий по уходу за животными и научный сотрудник, осуществлявшие комплексный уход, осмотр состояния и исследовательские манипуляции с крысами с максимальным временем непрерывной работы до 1 ч. Кратность воздухообмена в ЗП поддерживалась на уровне 2,5 ч<sup>-1</sup>. Мониторинг показаний температуры (*t*, °C) и относительной влажности воздуха (*φ*, %) осуществлялся с помощью гигрометра психрометрического ВИТ-1 (ОАО «Термоприбор», Россия) и датчика температуры, давления, относительной влажности воздуха на электронном модуле ВМЕ280, откалиброванном

<sup>1</sup> Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2024 № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 г. и на перспективу до 2036 г.» [Электронный ресурс.] Режим доступа: [www.consultant.ru](http://www.consultant.ru) (дата обращения: 11.01.2025).

<sup>2</sup> WHO Regional Office for Europe. WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Dampness and Mould. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2009. Accessed October 17, 2025. <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/9261a374-7d3b-4825-a61e-0c09dea2af87/content>

<sup>3</sup> Указ Президента Российской Федерации от 28.02.2024 г. № 145 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» [Электронный ресурс.] Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50358?ref=supernova.is> (дата обращения: 11.01.2025).

<sup>4</sup> Умнов А.Л. Сетевой программно-аппаратный комплекс для управления внутренней средой замкнутых помещений. Патент РФ № 2790317; 2023.

<sup>5</sup> Умнов А.Л. Сетевой программно-аппаратный комплекс для управления внутренней средой замкнутых помещений. Патент РФ № 2790317; 2023.

в полевых условиях путем сравнения его показаний с данными прибора эталонного класса.

Распыление пробиотика осуществлялось с помощью адиабатического увлажнителя воздуха, основанного на мелкодисперсном центробежном распылении воды на диске вентилятора, подключенного к модулю управления применяемой системы. В качестве пробиотического средства использовали коммерчески доступный концентрированный препарат на основе композиции спор *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus megaterium* в очищенной воде, рекомендованный производителем для распыления в пространстве помещений. Рабочий раствор пробиотика готовили путем расчетного двухэтапного разведения концентрированного препарата ( $1,6 \times 10^{11}$  КОЕ/мл) в дехлорированной водопроводной питьевой воде до концентрации  $1,6 \times 10^7$  КОЕ/мл и обновляли 1 раз в сутки с соблюдением температурного режима хранения разбавленного средства (холодильник DEXP FR-16). Концентрацию жизнеспособных МО подтверждали и контролировали культуральным методом через 0,5, 3,5, 18 и 24 ч после приготовления раствора. Фактическая средняя концентрация рабочего раствора пробиотика составила  $(2,8 \pm 0,4) \times 10^3$  КОЕ/мл. Всего на 28 дней воздействия потребовалось 45 мл концентрата.

Для оценки антимикробной активности тестируемого режима проводили стандартное качественное и/или количественное определение содержания МО в ЗП до, через 14 и 28 суток после воздействия (более 1700 посевов). С помощью аспиратора ПУ-1Б проводили отбор проб воздуха в четырех точках помещения общим объемом 1000 дм<sup>3</sup> (16 проб)<sup>6</sup> на расстоянии 0,5, 2,5 и 4,5 м от распылителя. Для посева использовали чашки с питательным агаром типа МПА (мясопептонный агар) и средой Сабуро. Взятие смывов (32 образца) производили ватными тампонами в пробирку со стерильной пептонной водой в 8 разноудаленных от распылителя точках с пяти видов поверхностей<sup>7</sup>. Смывную жидкость высевали на манит-солевой агар (для *Staphylococcus* spp.), среду Эндо и хромогенную среду для идентификации колиформных бактерий (для *E. coli*, *Klebsiella* spp., *Proteus* spp., *Citrobacter* spp., *Pseudomonas* spp. и *Enterobacter* spp.), энтерококкагар (для *Enterococcus* spp.), кровяной агар (для *Streptococcus* spp. и *Bacillus* spp.), а также МПА (для общего микробного числа – ОМЧ). Отбор проб проводили не ранее чем через 7 часов после осуществления пробиотической обработки [6]. Использовались культуральные среды российских, индийских и испанских производителей.

В экспериментальной части приняли участие 25 клинически здоровых белых беспородных самца

крыс возрастом 4 месяца и массой  $489,9 \pm 38,6$  г, разделенных на 2 группы на основе ориентировочно-исследовательской активности в тесте «открытое поле» и веса: 1) опытная ( $n = 15$ ) – животные, конвенционально содержащиеся в помещении, где распылялся пробиотик; 2) контрольная ( $n = 10$ ) – животные, конвенционально содержащиеся в стандартных условиях (ветеринарное заключение № 52-005973 от 03.07.2023). Животные имели свободный доступ к водопроводной питьевой воде и полнорационному комбикорму для лабораторных животных. В период адаптации к условиям экспериментального ЗП (в течение 6 недель до распыления пробиотика) лабораторные крысы опытной группы служили также дополнительным источником естественной микробиологической контаминации: в помещении проводилась влажная механическая уборка без использования дезинфицирующих средств.

Для испытания влияния тестируемого способа распыления пробиотика на общее состояние организма применяли интегральные тесты: исследование динамики массы тела (300 замеров) и потребления пищи и воды (600 замеров), мониторинг поведенческих реакций крыс<sup>8</sup>. Оценку поведенческих реакций проводили с помощью еженедельных клинических наблюдений и клинических осмотров на предмет выявления неблагоприятного состояния по признакам боли и дистресса с присвоением баллов<sup>9</sup> и теста «открытое поле», описанного в работе [14] с модификацией [15], в начале и в конце эксперимента.

Для оценки влияния предложенного режима распыления пробиотика на микрофлору кишечника исследовали фекальные массы [16] крыс методом последовательных десятикратных разведений суспензии в стерильном физиологическом растворе с последующим высевом на хромогенную среду для культивирования *E. coli*, среду Блаурокка для *Bifidobacterium* spp. и *Lactobacillus* spp., железосульфитный агар для *Clostridium* spp., кровяной агар для *Bacillus* spp., а также МПА для определения ОМЧ (более 3000 посевов). Тинкториальные характеристики смешанных культур определяли путем окрашивания мазков по Граму с последующим микроскопическим исследованием на микроскопе 12V DC 30W (400 микропрепаратов).

Статистическая обработка данных проводилась с использованием программ Statistica 8.0 и SigmaPlot 13.0. Распределение количественных данных оценивали с помощью критерия Шапиро – Уилка. При нормальном распределении количественные данные представляли в виде среднего и стандартного отклонения ( $M \pm SD$ ), при ненормальном распределении применяли  $Me [Q1; Q3]$ , где  $Me$  – медиана,  $Q1$  – 25-й перцентиль,  $Q3$  – 75-й перцентиль набора данных.

<sup>6</sup> МУК 4.2.2942-11 Методы санитарно-бактериологических исследований объектов окружающей среды, воздуха и контроля стерильности в лечебных организациях. Москва: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. 12 с.

<sup>7</sup> МР 4.2.0220-20 Методы санитарно-бактериологического исследования микробной обсемененности объектов внешней среды. Методические рекомендации (утв. Роспотребнадзором 04.12.2020). [Электронный ресурс.] Режим доступа: <https://www.profiz.ru/cpl/2021/MP%204.2.0220-20.%204.2.%20Методы%20контроля.%20Биологические%20и%20микроб.pdf> (дата обращения 11.01.2025)

<sup>8</sup> Р 4.2.3676-20 «Методы лабораторных исследований и испытаний дезинфекционных средств для оценки их эффективности и безопасности» (утв. Роспотребнадзором 18.12.2020) [Электронный ресурс.] Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573820733?ysclid=mg4vrrq3sbh740945631> (дата обращения 11.01.2025).

<sup>9</sup> National Research Council (US) Committee on Recognition and Alleviation of Pain in Laboratory Animals. Recognition and Alleviation of Pain in Laboratory Animals. Washington (DC): National Academies Press (US); 2009. 3, Recognition and Assessment of Pain. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK32656> (дата обращения: 11.01.2025).

https://doi.org/10.35627/2219-5238/2025-33-10-56-65  
Original Research Article

Для описания качественных данных использовали долю и стандартное отклонение процентной доли ( $\rho \pm \sigma$ , %). Применяемые в работе критерии при сравнении данных описаны по тексту работы (критический уровень значимости  $p < 0,05$ ).

**Результаты.** Основываясь на результатах предварительно проведенного информационного поиска, теоретически (документарно) был рассчитан режим для автоматизированного распыления пробиотического средства с использованием СПАК для ЗП объемом 40 м<sup>3</sup> и площадью поверхностей стен и пола 65,5 м<sup>2</sup>. Для покрытия поверхностей раствором из расчета 100 мл/м<sup>2</sup> требуется 6550 мл с концентрацией пробиотических МО порядка 10<sup>5</sup>–10<sup>7</sup> КОЕ/мл. Для формирования систематического воздействия, что требуется при пробиотической очистке, было предложено распылять этот объем раствора равномерно в течение суток, чтобы снизить вероятность избыточного переувлажнения воздуха, т. е. по 273 мл/ч в течение 28 дней. СПАК позволяет распылять растворы со скоростью 58 мл/мин, т. е. время одного акта распыления – 4,7 мин.

Оценку антимикробной эффективности тестируемого режима распыления пробиотика проводили в условиях естественной микробиологической контаминации, создаваемой преимущественно в процессе жизнедеятельности лабораторных животных. Была определена степень микробиологического загрязнения в экспериментальном ЗП

непосредственно до воздействия пробиотического препарата. Результаты представлены в таблицах 1 и 2. Другие исследуемые МО (*Citrobacter* spp., *Proteus* spp., *Klebsiella* spp., *Enterobacter* spp., *Streptococcus* spp., *Pseudomonas* spp., *Aspergillus* spp.) не были обнаружены в период эксперимента.

После 14-суточного распыления пробиотического раствора в ЗП с присутствием лабораторных животных отмечена статистически значимая элиминация с неживых поверхностей энтерококков. Показано уменьшение общей микробиологической контаминации воздушной среды на 20 % ( $p = 0,043$ , критерий Уилкоксона): снизилась концентрация энтерококков и стафилококков, а *Candida* spp. и *Penicillium* spp. не выселились. Содержание *Bacillus* spp. в воздушной среде ЗП составило 1 КОЕ/м<sup>3</sup>. Несмотря на то что при последующем распылении произошла стабилизация содержания бактериальных компонентов в воздушной среде, пробиотик продолжал выполнять задачу пробиотической очистки, что подтверждается данными исследования уровня контаминации неживых поверхностей. Спустя 28 суток воздействия пробиотического раствора на микрофлору помещения стафилококки не были обнаружены в смывах. При этом не зарегистрировано избыточной обсемененности *Bacillus* spp. – изменения доли встречаемости пробиотических микроорганизмов были статистически незначимыми (табл. 1). Однако такое длительное распыление рабочего раствора

**Таблица 1.** Качественная характеристика микробиологического загрязнения абиотических поверхностей закрытого помещения до и после воздействия пробиотика

**Table 1.** Qualitative characteristics of microbiological contamination of abiotic surfaces in a closed chamber before and after probiotic exposure

Доля встречаемости среди смывов с неживых поверхностей / Occurrence rate in swabs from abiotic surfaces, $\rho \pm \sigma$ , %	Группы микроорганизмов / Groups of microorganisms					
	<i>Escherichia coli</i>	<i>Enterococcus</i> spp.	<i>Staphylococcus</i> spp.	<i>Candida</i> spp.	<i>Penicillium</i> spp.	<i>Bacillus</i> spp.
До распыления пробиотика / Before probiotic spraying ( $\varphi = 47,8 \pm 3,2$ %, $t = 26,6 \pm 0,5$ °C)						
0,0 ± 0,0	50,0 ± 17,5	87,5 ± 30,8	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	12,5 ± 4,2	
После 14 суток распыления пробиотика / After 14 days of probiotic spraying ( $\varphi = 52,7 \pm 7,7$ %, $t = 23,9 \pm 0,6$ °C)						
12,5 ± 4,2	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	62,5 ± 15,7	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	
После 28 суток распыления пробиотика / After 28 days of probiotic spraying ( $\varphi = 55,0 \pm 4,8$ %, $t = 22,3 \pm 0,2$ °C)						
0,0 ± 0,0	25,0 ± 15,0	0,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	25,0 ± 15,0	

**Примечание:** здесь и в табл. 2:  $\varphi$  – относительная влажность воздуха;  $t$  – температура воздуха; <sup>a</sup> $p < 0,05$  при сравнении с данными «до распыления» по тесту Мак-Немара.

**Notes:** here and in Tables 2,  $\varphi$  is the relative humidity and  $t$  is the temperature of indoor air; <sup>a</sup> $p < 0.05$  compared with the values before spraying, based on the McNemar's test.

**Таблица 2.** Характеристика микробиологического загрязнения воздушной среды закрытого помещения до и после воздействия пробиотика

**Table 2.** Characteristics of microbiological contamination of indoor air in a closed chamber before and after probiotic exposure

Концентрация микроорганизмов, КОЕ/м <sup>3</sup> / Concentration of microorganisms, CFU/m <sup>3</sup>	Группы микроорганизмов / Groups of microorganisms					Общее микробное число / Total plate count
	<i>Enterococcus</i> spp.	<i>Staphylococcus</i> spp.	<i>Candida</i> spp.	<i>Penicillium</i> spp.	<i>Bacillus</i> spp.	
До распыления пробиотика / Before probiotic spraying ( $\varphi = 47,8 \pm 3,2$ %, $t = 26,6 \pm 0,5$ °C)						
758	3034	1	5	2	3800	
После 14 суток распыления пробиотика / After 14 days of probiotic spraying ( $\varphi = 52,7 \pm 7,7$ %, $t = 23,9 \pm 0,6$ °C)						
608	2431	0	0	1	3040	
После 28 суток распыления пробиотика / After 28 days of probiotic spraying ( $\varphi = 55,0 \pm 4,8$ %, $t = 22,3 \pm 0,2$ °C)						
600	2396	35	9	0	3040	

сопровождалось небольшим (в пределах низкого уровня контаминации) ростом условно-патогенной микрофлоры, а именно *Candida* spp. и *Penicillium* spp. в воздухе ЗП.

После 28 суток распыления отмечено снижение температуры с  $26,6 \pm 0,5$  до  $22,3 \pm 0,2$  °C ( $p < 0,01$ ,  $t$ -критерий Стьюдента) и повышение относительной влажности воздуха с  $47,8 \pm 3,2$  до  $55,0 \pm 4,8$  % ( $p < 0,01$ ,  $t$ -критерий Стьюдента). В этот же временной период в помещении с контрольной группой животных снизилась только температура воздуха на  $0,5$  °C ( $p < 0,01$ ,  $t$ -критерий Стьюдента).

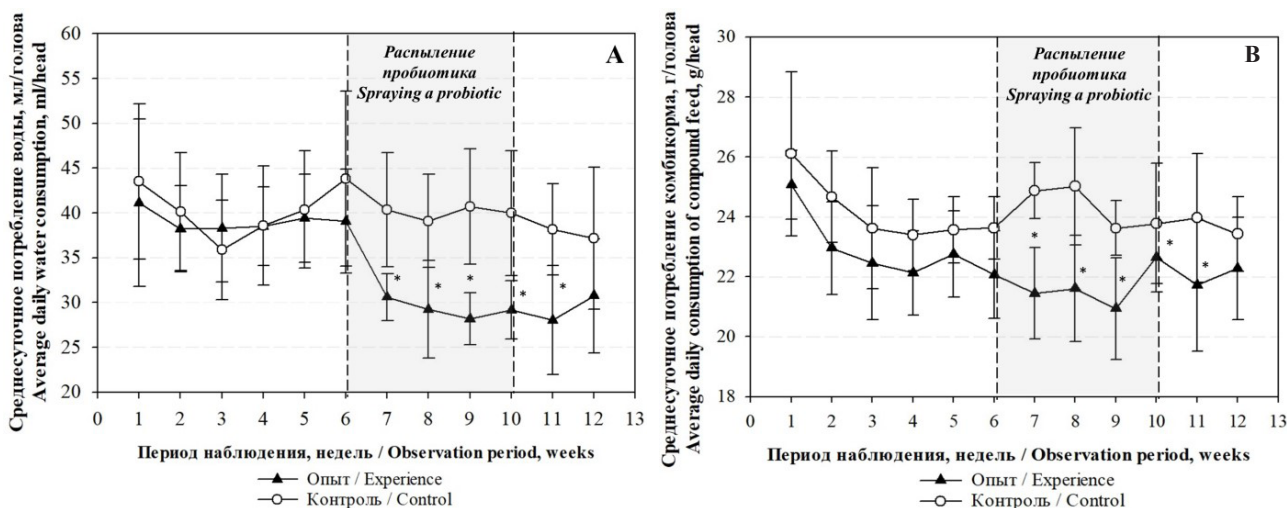
Мониторинг массы тела показал, что при исходной однородности параметров в период воздействия пробиотика животные опытной группы набирали вес немного менее интенсивно и весили на момент завершения воздействия на  $12,2$  % меньше крыс контрольной группы ( $p = 0,043$ ,  $t$ -критерий Стьюдента) ( $547,93 \pm 30,40$  и  $615,10 \pm 38,16$  г соответственно). Это может быть связано с изменениями в динамике потребления воды и корма крысами: различия наблюдались после первой недели распыления пробиотика (рисунок). Зарегистрировано снижение количества выпиваемой воды и потребляемого

корма животными в опытной группе на  $25$  и  $12$  % соответственно.

Клинические наблюдения и осмотры на предмет выявления боли и дистресса свидетельствовали об удовлетворительном состоянии животных на протяжении всего эксперимента: колебания баллов составляли от 0 до 3 из 10 максимально возможных. Воздействие пробиотика статистически значимо ассоциировано со снижением доли встречаемости признаков неблагополучия (табл. 3).

Исходно однородные по данным теста «открытое поле» животные опытной и контрольной групп в конце эксперимента статистически значимо различались (табл. 4).

В контрольной группе животных наблюдалось снижение двигательной и исследовательской активности на  $43$  и  $56$  % соответственно по сравнению с началом эксперимента ( $p = 0,005$ , критерий Уилкоксона), а также по сравнению с крысами опытной группы в конце исследования ( $p = 0,009$ , критерий Манна – Уитни). В опытной группе двигательной-исследовательская активность не изменилась, но на  $37$  % снизилась эмоциональная реактивность (количество верчений, актов груминга,



**Рисунок.** Динамика потребления воды (А) и корма (В) животными опытной и контрольной группы во время эксперимента ( $M \pm SD$ )

**Figure.** Dynamics of water (A) and feed (B) consumption by experimental and control animals during the observation period ( $M \pm SD$ )

**Примечание:** \*  $p < 0,05$  по сравнению с контрольной группой по  $t$ -критерию Стьюдента.

**Note:** \*  $p < 0.05$  compared with controls, based on the Student's  $t$ -test.

**Таблица 3.** Изменение общего состояния организма лабораторных животных по результатам клинических наблюдений и клинических осмотров,  $p \pm \sigma_p$ , %

**Table 3.** Changes in the general state of the organism of laboratory animal based on the results of clinical observations and examinations,  $p \pm \sigma_p$ , %

Группа / Group	Доля встречаемости баллов боли и дистресса, $p \pm \sigma_p$ , % / Occurrence of pain and distress scores, $p \pm \sigma_p$ , %					
	до распыления пробиотика / before probiotic spraying		период распыления пробиотика <sup>а</sup> / during probiotic exposure <sup>а</sup>		после распыления пробиотика <sup>б</sup> / after probiotic spraying <sup>б</sup>	
	0	1-2	0	1-3	0	1-2
Опыт / Experimental	3,3 ± 3,3	96,6 ± 3,3	20,0 ± 5,2	80,0 ± 5,2	23,3 ± 7,7	76,7 ± 7,7
Контроль / Control	0 ± 0,0	100,0 ± 0,0	0 ± 0,0	100,0 ± 0,0	0 ± 0,0	100,0 ± 0,0

**Примечание:** наличие статистически значимых различий частоты исхода в зависимости от воздействия фактора по точечному критерию Фишера <sup>а</sup> $P = 0,001$  и <sup>б</sup> $P = 0,034$  при уровне значимости  $p < 0,05$ .

**Notes:** the presence of statistically significant differences in the frequency of outcome given the effect of the factor based on the Fisher's exact test <sup>а</sup> $P = 0.001$  and <sup>б</sup> $P = 0.034$  at a significance level of  $p < 0.05$ .

**Таблица 4. Изменение ориентировочно-поведенческой активности животных опытной и контрольной группы в начале и в конце эксперимента, Me [Q1;Q3]****Table 4. Parameters of behavioral activity of experimental and control rats before and after probiotic exposure in the open-field test, Me [Q1;Q3]**

Параметры ориентировочно-поведенческой активности / Behavioral activity parameters	Опытная группа / Experimental group		Контрольная группа / Control group	
	В начале эксперимента / Before exposure	В конце эксперимента / After exposure	В начале эксперимента / Before exposure	В конце эксперимента / After exposure
Горизонтальная двигательная активность / Horizontal locomotor activity	65,0 [49,0;89,0]	63,7 [53,7;71,0] <sup>a</sup>	76,7 [65,7;82,3]	43,7 [39,7;56,3] <sup>c</sup>
Общая исследовательская активность / General investigative activity	80,3 [66,7;104,3]	80,0 [69,0;85,3] <sup>a</sup>	94,5 [79,7;99,7]	52,8 [49,0;69,3] <sup>c</sup>
Эмоциональная реактивность / Emotional reactivity	10,0 [7,7;11,0]	6,3 [5,3;7,7] <sup>a, b</sup>	9,7 [7,7;12,3]	9,0 [7,7;10,0]
Тревожность / Anxiety	0,5 [0,2;0,8]	1,8 [0,0;8,6] <sup>b</sup>	1,0 [0,5;1,6]	2,6 [1,3;8,5]

**Примечание:** <sup>a</sup>  $p = 0,009$  при сравнении с контрольной группой в конце эксперимента по критерию Манна – Уитни; <sup>b</sup>  $p = 0,002$  при сравнении с опытной группой в начале эксперимента по критерию Уилкоксона; <sup>c</sup>  $p = 0,005$  при сравнении с контрольной группой в начале эксперимента по критерию Уилкоксона.

**Notes:** <sup>a</sup>  $p = 0,009$  compared with controls after exposure, based on the Mann – Whitney  $U$  test; <sup>b</sup>  $p = 0,002$  compared with experimental animals before exposure; <sup>c</sup>  $p = 0,005$  compared with controls before exposure, based on the Wilcoxon test.

дефекаций и уринаций) и на 28 % повысилась тревожность (время фризинга) ( $p = 0,002$ , критерий Уилкоксона).

Данные мониторинга микрофлоры толстого кишечника крыс на протяжении эксперимента представлены в табл. 5.

При исходной однородности количественного состава исследуемых МО в толстом кишечнике у крыс обеих групп наблюдались признаки дисбиотического нарушения: на  $10^2$  КОЕ/г было снижено количество *Bifidobacterium* spp. и на  $10^3$  КОЕ/г *E. coli* относительно нормы по литературным данным [17, 18]. Исследование микрофлоры кишечника непосредственно перед распылением пробиотика у животных показало сдвиг показателей МО относительно первичной оценки: на фоне усиления дефицита по бифидобактериям и эшерихиям наблюдалось повышение содержания *Clostridium* spp. до максимально исследуемого разведения  $10^{11}$  КОЕ/г и снижение ОМЧ до  $10^5$  КОЕ/г, что является отклонением от нормы по литературным данным [17, 18] и примерно соответствует 2-й фазе дисбактериоза по классификации И.Б. Куваевой и К.С. Ладодо [19].

Исследование микробиологических показателей фекальных масс крыс опытной группы после 14-суточного воздействия пробиотика показало статистически значимое увеличение количества *Bifidobacterium* spp. на  $10^{2,8}$  КОЕ/г и *E. coli* на  $10^4$  КОЕ/г, а также снижение содержания *Clostridium* spp. до  $10^{2,6[1,0; 3,0]}$  КОЕ/г с превышением нормальных значений лишь у  $33,3 \pm 1,2$  % животных. Однако статистически значимые различия с контрольными животными установлены только в отношении *Clostridium* spp. Более длительное воздействие пробиотика показало схожую динамику изменения микробного пейзажа толстого кишечника крыс обеих групп за исключением *Clostridium* spp. У животных опытной группы наблюдается стабилизация содержания кластридий в пределах нормы, тогда как у всех крыс контрольной группы данные

МО высевались в максимальном исследуемом разведении ( $1 : 10^{11}$ ).

**Обсуждение.** Результаты проведенного авторами анализа доступных литературных данных [6, 8, 10, 11]<sup>10,11</sup>, предварившего настоящую собственную научно-практическую работу, показали, что в основном для ручной пробиотической очистки поверхностей в ЗП использовались препараты на основе *Bacillus* spp. с концентрацией от  $3,1 \times 10^6$  до  $5,0 \times 10^8$  КОЕ/мл. Однако в доступной литературе не были выявлены сведения о концентрации пробиотических МО в применяемом растворе пробиотика. Далее в многочисленных инструкциях к применению коммерческих концентратов были найдены рекомендации о приготовлении 5–30 % растворов – в зависимости от назначения моющего средства, а следовательно, расчетные рекомендуемые концентрации рабочих растворов пробиотических средств, предположительно, могут варьировать в довольно широком диапазоне –  $6,2 \times 10^5$  –  $1,7 \times 10^7$  КОЕ/мл. В работах отдельных авторов показана эффективность плотности нанесения на поверхности растворов пробиотика 100 мл/м<sup>2</sup> [8]. Таким образом, литературные данные по рассматриваемой теме весьма неоднозначны и малоконкретны в числовом выражении. Однако именно эти материалы составили теоретический ориентир для проведения собственных расчетов.

Обобщая результаты практической части настоящей работы, а именно тестирования антимикробного действия на микрофлору внутренней среды ЗП при применении предложенного автоматизированного режима распыления пробиотического средства на основе *Bacillus* spp. с концентрацией  $(2,8 \pm 0,4) \times 10^3$  КОЕ/мл, отметим следующее: статистически значимый противомикробный эффект в отношении энтерококков поверхностей ЗП был зарегистрирован через 14 сут., а в отношении стафилококков – через 28 сут. Эти данные сопоставимы с данными литературы при стратегии ручной уборки, с использованием

<sup>10</sup> Умнов А.Л. Сетевой программно-аппаратный комплекс для управления внутренней средой замкнутых помещений. Патент РФ № 2790317; 2023.

<sup>11</sup> Виллох Ф.В.М., Де Костер К. Способ очистки поверхностей во внутренних помещениях и в техническом оборудовании с помощью доброкачественных бактерий. Патент РФ № 2 737 090; 2020.

**Таблица 5. Динамика микрофлоры толстого кишечника лабораторных крыс в опытной и контрольной группах во время эксперимента**

**Table 5. Dynamics of gut microbiota indicators in the experimental and control rats during the experiment**

Группы микроорганизмов / Groups of microorganisms	Группа исследования / Group of animals	Частота наблюдений / Frequency of observations, $\rho \pm \sigma, \%$	Концентрация, lg KOE/r / Concentration, lg CFU/g Me [Q1;Q3]
<i>Первичная оценка / Primary testing</i>			
<i>Bifidobacterium</i> spp.	Опыт / Experimental	47 ± 13	3,7 [0,0; 11,0]
	Контроль / Control	40 ± 15	1,6 [0,0; 1,0]
<i>Lactobacillus</i> spp.	Опыт / Experimental	100	8,1 [5,0; 11,0]
	Контроль / Control	100	9,8 [9,0; 11,0]
<i>Escherichia coli</i>	Опыт / Experimental	100	1,8 [1,0; 3,0]
	Контроль / Control	100	1,6 [1,0; 3,0]
<i>Clostridium</i> spp.	Опыт / Experimental	73 ± 11	2,5 [0,0; 3,0]
	Контроль / Control	50 ± 16	1,9 [0,0; 1,0]
<i>Bacillus</i> spp.	Опыт / Experimental	0	0
	Контроль / Control	0	0
Общее микробное число / Total plate count	Опыт / Experimental	100	10,8 [8,7; 11,6]
	Контроль / Control	100	9,9 [8,7; 11,6]
<i>Перед распылением пробиотика / Before probiotic spraying</i>			
<i>Bifidobacterium</i> spp.	Опыт / Experimental	13 ± 9	0,4 [0,0; 0,0] <sup>a</sup>
	Контроль / Control	10 ± 9	0,3 [0,0; 0,0]
<i>Lactobacillus</i> spp.	Опыт / Experimental	100	9,5 [9,0; 11,0] <sup>a</sup>
	Контроль / Control	100	11,0 [11,0; 11,0]
<i>Escherichia coli</i>	Опыт / Experimental	87 ± 9	1,4 [1,0; 3,0] <sup>a</sup>
	Контроль / Control	100	3,2 [3,0; 5,0]
<i>Clostridium</i> spp.	Опыт / Experimental	100	4,7 [3,0; 7,0] <sup>a, g</sup>
	Контроль / Control	100	11,0 [11,0; 11,0] <sup>b</sup>
<i>Bacillus</i> spp.	Опыт / Experimental	0	0
	Контроль / Control	0	0
Общее микробное число / Total plate count	Опыт / Experimental	100	5,6 [5,6; 5,6] <sup>a</sup>
	Контроль / Control	100	5,3 [5,3; 5,3] <sup>b</sup>
<i>После 14 суток распыления пробиотика / After 14 days of probiotic spraying</i>			
<i>Bifidobacterium</i> spp.	Опыт / Experimental	67 ± 12	3,2 [0,0; 7,0] <sup>c</sup>
	Контроль / Control	30 ± 14	2,5 [0,0; 3,0]
<i>Lactobacillus</i> spp.	Опыт / Experimental	100	8,3 [7,0; 11,0]
	Контроль / Control	100	8,0 [5,0; 11,0]
<i>Escherichia coli</i>	Опыт / Experimental	100	5,8 [3,0; 9,0] <sup>c</sup>
	Контроль / Control	100	4,8 [3,0; 7,0]
<i>Clostridium</i> spp.	Опыт / Experimental	87 ± 9	2,6 [1,0; 3,0] <sup>b</sup>
	Контроль / Control	80 ± 13	8,8 [11,0; 11,0]
<i>Bacillus</i> spp.	Опыт / Experimental	0	0
	Контроль / Control	0	0
Общее микробное число / Total plate count	Опыт / Experimental	100	5,0 [4,9; 5,1] <sup>c</sup>
	Контроль / Control	100	5,5 [5,5; 5,5] <sup>d</sup>
<i>После 28 суток распыления пробиотика / After 28 days of probiotic spraying</i>			
<i>Bifidobacterium</i> spp.	Опыт / Experimental	80 ± 10	3,0 [1,0; 7,0]
	Контроль / Control	60 ± 15	2,0 [0,0; 7,0]
<i>Lactobacillus</i> spp.	Опыт / Experimental	100	11,0 [5,0; 11,0]
	Контроль / Control	100	11,0 [9,0; 11,0]
<i>Escherichia coli</i>	Опыт / Experimental	93 ± 7	5,0 [3,0; 9,0]
	Контроль / Control	100	9,0 [5,0; 11,0] <sup>b</sup>
<i>Clostridium</i> spp.	Опыт / Experimental	60 ± 13	1,0 [0,0; 11,0] <sup>i</sup>
	Контроль / Control	100	11,0 [11,0; 11,0] <sup>b</sup>
<i>Bacillus</i> spp.	Опыт / Experimental	0	0
	Контроль / Control	0	0
Общее микробное число / Total plate count	Опыт / Experimental	100	5,3 [5,2; 5,3] <sup>e, i</sup>
	Контроль / Control	100	5,3 [5,3; 5,4] <sup>b, f</sup>

**Примечание:** <sup>a</sup>  $p < 0,05$  при сравнении с опытом при первичной оценке, <sup>b</sup>  $p < 0,05$  при сравнении с контролем при первичной оценке, <sup>c</sup>  $p < 0,05$  при сравнении с опытом до распыления, <sup>d</sup>  $p < 0,05$  при сравнении с контролем до распыления, <sup>e</sup>  $p < 0,05$  при сравнении с опытом после 14 суток распыления, <sup>f</sup>  $p < 0,05$  при сравнении с контролем после 14 суток распыления по критерию Уилкоксона; <sup>g</sup>  $p < 0,05$  при сравнении с контролем до распыления, <sup>h</sup>  $p < 0,05$  при сравнении с контролем после 14 суток распыления, <sup>i</sup>  $p < 0,05$  при сравнении с контролем после 28 суток распыления по критерию Манна – Уитни.

**Notes:** <sup>a</sup>  $p < 0.05$  compared with experimental animals at primary testing; <sup>b</sup>  $p < 0.05$  compared with controls at primary testing; <sup>c</sup>  $p < 0.05$  compared with experimental animals before spraying; <sup>d</sup>  $p < 0.05$  compared with controls before spraying; <sup>e</sup>  $p < 0.05$  compared with experimental animals after 14 days of spraying; <sup>f</sup>  $p < 0.05$  compared with controls after 14 days of spraying, based on the Wilcoxon test; <sup>g</sup>  $p < 0.05$  compared with controls before spraying; <sup>h</sup>  $p < 0.05$  compared with controls 14 days after spraying; <sup>i</sup>  $p < 0.05$  compared with controls after 28 days of spraying, based on the Mann – Whitney  $U$  test.

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2025-33-10-56-65>  
Original Research Article

средств с более высокой концентрацией пробиотических МО [9–11]. Также было зарегистрировано на 20 % снижение микробиологической обсемененности воздушной среды ЗП (нет данных для сравнения с ручным использованием пробиотиков). Предположительно, механизм очистки распыления раствора пробиотика в основном обусловлен высокой конкурентоспособностью *Bacillus* spp. вследствие синтеза широкого спектра антимикробных веществ, ферментов, поверхностно-активных и летучих органических веществ, обладающих высоким уровнем антагонистической активности против различных представителей грамположительной и грамотрицательной патогенной и условно-патогенной микрофлоры [20–21]. Однако, несмотря на проявление антагонистической активности в отношении условно-патогенной микрофлоры, выбранный нами режим распыления водного раствора спор *Bacillus* spp. в ЗП не способствовал избыточному росту бацилл, отмеченному в литературных источниках [9], что свидетельствует о минимизации риска повышенной обсемененности помещения данной группой МО. Зарегистрированный небольшой рост условно-патогенной микробиоты в воздушной среде через 28 суток распыления, что можно частично объяснить изменением микроклимата в помещении [22], требует дальнейшего исследования на определение рисков формирования нарушений в организме.

Тестирование предложенного режима при моделировании реальных условий применения на лабораторных животных показало, что последние испытывали эустресс в период распыления пробиотика, о чем свидетельствовали данные их пищевого и ориентировочно-исследовательского поведения. Небольшое снижение количества потребляемого корма и выпиваемой воды животными в опытной группе может быть обусловлено снижением температуры и повышением относительной влажности воздуха внутренней среды ЗП, а также физическим стрессом от воздействия [23]. Стоит отметить, что при этом параметры микроклимата были комфортными для человека и животных, так как оставались в пределах диапазона оптимальных значений по СанПиН 1.2.3685–21<sup>12</sup> и ГОСТ 33216–2014<sup>13</sup>), а вес животных был в пределах возрастной нормы [24]. Сохранение уровня двигательной активности и низкая эмоциональная реактивность в опытной группе, по сравнению с контролем, могут указывать на низкий уровень кортикостерона в крови после стрессового воздействия [25]. Животные чувствовали себя удовлетворительно без выраженных клинических нарушений и, наоборот, со снижением доли встречаемости признаков неблагополучия, что, вероятно, можно объяснить улучшением показателей микрофлоры толстого кишечника. Распыление пробиотика в тестируемом режиме способствовало нормализации содержания

*Clostridium* spp. в каловых массах лабораторных крыс. Антиклостридиальная активность бацилл показана в литературных данных при пероральном введении [26]. Исходя из этого, можно сделать вывод, что при распылении пробиотика *Bacillus* spp. и/или их метаболиты попадают в ЖКТ животных. Это возможно за счет мукоцилиарного транспорта, когда осевшие на мерцательном эпителии дыхательных путей частицы из воздуха со слизью перемещаются в ротоглотку и проглатываются. Кроме того, в процессе ауто- и аллогруминга (умывание, лизание, чистка гениталий, почесывание), часто встречающемся в поведении крыс, седиментированные на неживых поверхностях и телах лабораторных животных частицы пробиотического средства также могут поступать в пищеварительный тракт. Таким образом, полученные данные свидетельствуют о хорошей переносимости автоматизированной пробиотической очистки ЗП животными и развитии у них эустрессовой реакции.

Результаты исследований и предложенная методология легли в основу разработки способа на изобретение<sup>14</sup>.

**Заключение.** Таким образом, при моделировании реальных условий применения с использованием лабораторных животных была разработана и обоснована новая методология автоматизированной пробиотической очистки внутренней среды ЗП на основе *Bacillus* spp., рассчитанная на современный сетевой программно-аппаратный комплекс на базе системы «интернет вещей». Получены базисные данные ее воздействия на санитарно-показательные микроорганизмы внутренней среды ЗП и отдельные параметры состояния организма лабораторных животных, которые в последующем могут применяться как оценочные. Методология базируется на применении предложенного режима автоматизированной очистки и является перспективной для дальнейшей верификации полученных результатов и продолжения исследований для снятия возникших сомнений в ее эффективности и безопасности – в целях широкого практического внедрения.

**Благодарности:** авторы выражают благодарность за всемерную помощь и содействие в работе директору ФБУН «ННИИГП» Роспотребнадзора И.А. Умнягиной и заведующей клинико-диагностической лабораторией ФБУН «ННИИГП» Роспотребнадзора Е.В. Наумочкиной, а также к.ф.-м.н. А.Л. Умнову за сотрудничество и техническое сопровождение исследования.

**Acknowledgments:** The authors would like to express their sincere gratitude to the Director of the Nizhny Novgorod Scientific Research Institute of Hygiene and Occupational Diseases Umnyagina I.A. and the Head of the Clinical Diagnostic Laboratory of the same institute Naumochkina E.V. for their assistance and support of the study and to Umnov A.L., Cand. Sci. (Phys.-Math.) for cooperation and technical support of the study.

<sup>12</sup> СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 января 2021 года № 2) [Электронный ресурс.] Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573500115?ysclid=mg4w15sv9r15927779> (дата обращения 11.01.2025).

<sup>13</sup> ГОСТ 33216–2014 Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила содержания и ухода за лабораторными грызунами и кроликами (Переиздание). М.: Стандартинформ, 2019. 15 с.

<sup>14</sup> Умнягина И.А., Позднякова М.А., Жукова Е.С., Умнов А.Л., Чугунова В.В., Полякова Л.В. Способ распыления раствора пробиотика в закрытых помещениях. Патент РФ № 2833378; 2025.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шашина Т.А., Новигов С.М., Мацюк А.В., Ландо Н.Г. Методические подходы к оценке региональных факторов экспозиции городского населения // Гигиена и санитария. 2007. № 5. С. 20–24.
2. Lee S, Lee K. Seasonal differences in determinants of time location patterns in an urban population: A large population-based study in Korea. *Int J Environ Res Public Health*. 2017;14(7):672. doi: 10.3390/ijerph14070672
3. Raju S, Siddharthan T, McCormack MC. Indoor air pollution and respiratory health. *Clin Chest Med*. 2020;41(4):825–843. doi: 10.1016/j.ccm.2020.08.014
4. Kumar P, Singh AB, Singh R. Comprehensive health risk assessment of microbial indoor air quality in microenvironments. *PLoS One*. 2022;17(2):e0264226. doi: 10.1371/journal.pone.0264226
5. Rathbone CJ, Bousiotis D, Rose OG, Pope FD. Using low-cost sensors to assess common air pollution sources across multiple residences. *Sci Rep*. 2025;15(1):1803. doi: 10.1038/s41598-025-85985-1
6. Caselli E. Hygiene: Microbial strategies to reduce pathogens and drug resistance in clinical settings. *Microb Biotechnol*. 2017;10(5):1079–1083. doi: 10.1111/1751-7915.12755
7. Falagas ME, Makris GC. Probiotic bacteria and biosurfactants for nosocomial infection control: A hypothesis. *J Hosp Infect*. 2009;71(4):301–306. doi: 10.1016/j.jhin.2008.12.008
8. Ильякова А.В., Шестопалов Н.В., Федорова Л.С., Белова А.С. Возможность использования спорообразующих бактерий рода *Bacillus* в производстве дезинфектантов // Гигиена и санитария. 2020. Т. 99. № 5. С. 436–442. doi: 10.33029/0016-9900-2020-99-5-436-442
9. Torres-Sánchez A, Pardo-Cacho J, López-Moreno A, Ruiz-Moreno A, Cerk K, Aguilera M. Antimicrobial effects of potential probiotics of *Bacillus* spp. isolated from human microbiota: *In vitro* and *in silico* methods. *Microorganisms*. 2021;9(8):1615. doi: 10.3390/microorganisms9081615
10. Soffritti I, D'Accolti M, Cason C, et al. Introduction of probiotic-based sanitation in the emergency ward of a children's hospital during the COVID-19 pandemic. *Infect Drug Resist*. 2022;15:1399–1410. doi: 10.2147/idr.s356740
11. Leistner R, Kohlmorgen B, Brodzinski A, et al. Environmental cleaning to prevent hospital-acquired infections on non-intensive care units: A pragmatic, single-centre, cluster randomized controlled, crossover trial comparing soap-based, disinfection and probiotic cleaning. *EClinicalMedicine*. 2023;59:101958. doi: 10.1016/j.eclinm.2023.101958
12. Cowell N, Chapman L, Bloss W, Srivastava D, Bartington S, Singh A. Particulate matter in a lockdown home: Evaluation, calibration, results and health risk from an IoT enabled low-cost sensor network for residential air quality monitoring. *Environ Sci Atmos*. 2023;3:65–84. doi: 10.1039/d2ea00124a
13. Bobulski J, Szymoniak S, Pasternak K. An IoT system for air pollution monitoring with safe data transmission. *Sensors (Basel)*. 2024;24(2):445. doi: 10.3390/s24020445
14. Жукова Е.С., Щербатюк Т.Г., Позднякова М.А. Взаимосвязь между ростом злокачественной опухоли и особенностями поведения лабораторных животных // Природные ресурсы Земли и охрана окружающей среды. 2021. Т. 2. № 1. С. 44–47. doi: 10.26787/nydha-2713-203x-2021-2-1-44-47
15. Редина О.Е., Смоленская С.Э., Маркель А.Л. Генетический контроль поведения крыс НИСАГ в тесте открытого поля // Генетика. 2022. Т. 58. № 7. С. 773–785. doi: 10.31857/s0016675822070141
16. Точилина А.Г., Белова И.В., Соловьева И.В., Жирнов В.А., Иванова Т.П. Критерии оценки состава биоценоза просвета толстой кишки // Справочник заведующего КДЛ. 2016. № 8. С. 54–78.
17. Ким А.Д., Гольдберг О.А., Лепехова С.А., Коваль Е.В., Фадеева Т.В., Шедоева Л.Р. и др. Особенности топографической анатомии и пристеночной микрофлоры дистального отдела толстой кишки у крыс линии Wistar // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. 2016. Т. 2. № 108. С. 48–54.
18. Макарова М.Н., Крышен К.Л., Алякринская А.А., Рыбакова А.В., Макаров В.Г. Характеристика микрофлоры кишечника у человека и лабораторных животных // Международный вестник ветеринарии. 2016. № 4. С. 86–94.
19. Завгородняя Е.Ф. Дисбактериоз кишечника (обзор). Дальневосточный журнал инфекционной патологии. 2010; 16(16): 131–141.
20. Забокрицкий Н.А. Биологически активные вещества, синтезируемые пробиотическими микроорганизмами родов *Bacillus* и *Lactobacillus* // Медико-фармацевтический журнал «Пульс». 2015. Т. 17. № 3. С. 80–90.
21. Zhu J, Chen Y, Imre K, et al. Mechanisms of probiotic *Bacillus* against enteric bacterial infections. *One Health Adv*. 2023;1:21. doi: 10.1186/s44280-023-00020-0
22. Калинина Н.В., Загайнова А.В., Юдин С.М., Гапонова Е.В., Банин И.М. Гигиеническая оценка микологической обсемененности внутренней среды помещений жилых и общественных зданий // Гигиена и санитария. 2023. Т. 102. № 7. С. 632–638. doi: 10.47470/0016-9900-2023-102-7-632-638
23. Francois M, Canal Delgado I, Shargorodsky N, Leu CS, Zeltser L. Assessing the effects of stress on feeding behaviors in laboratory mice. *eLife*. 2022;11:e70271. doi: 10.7554/eLife.70271
24. Котеров А.Н., Ушенкова Л.Н., Зубенкова Э.С., Вайнсон А.А., Бирюков А.П., Самойлов А.С. Зависимость массы тела от возраста для беспородных белых и восьми линий лабораторных крыс: синтетические исследования данных из экспериментальных работ и питомников в аспекте связи с радиочувствительностью. Некоторые характеристики вида «крыса» // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2018. Т. 63. № 2. С. 1–41. doi: 10.12737/article\_5ac6190e95da25.42157674
25. Умрюхин П.Е., Григорчук О.С. Поведение крыс в тесте открытого поля как прогностический критерий уровня кортикостерона до и после стрессорной нагрузки // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2015. Т. 101. № 12. С. 1366–1371.
26. Иылдырым Е.А., Лаптев Г.Ю., Новигова Н. И., Тюрина Д.Г., Ильина Л.А., Дубровин А.В. Как защитить птицу от клостридоза? // Птицеводство. 2021. № 12. С. 35–38.

## REFERENCES

1. Shashina TA, Novikov SM, Matsyuk AV, Lando NG. Guidelines for the assessment of regional factors of the urban population exposure. *Gigiena i Sanitariya*. 2007;(5):20–24. (In Russ.)
2. Lee S, Lee K. Seasonal differences in determinants of time location patterns in an urban population: A large population-based study in Korea. *Int J Environ Res Public Health*. 2017;14(7):672. doi: 10.3390/ijerph14070672
3. Raju S, Siddharthan T, McCormack MC. Indoor air pollution and respiratory health. *Clin Chest Med*. 2020;41(4):825–843. doi: 10.1016/j.ccm.2020.08.014
4. Kumar P, Singh AB, Singh R. Comprehensive health risk assessment of microbial indoor air quality in microenvironments. *PLoS One*. 2022;17(2):e0264226. doi: 10.1371/journal.pone.0264226
5. Rathbone CJ, Bousiotis D, Rose OG, Pope FD. Using low-cost sensors to assess common air pollution sources across multiple residences. *Sci Rep*. 2025;15(1):1803. doi: 10.1038/s41598-025-85985-1
6. Caselli E. Hygiene: Microbial strategies to reduce pathogens and drug resistance in clinical settings. *Microb Biotechnol*. 2017;10(5):1079–1083. doi: 10.1111/1751-7915.12755
7. Falagas ME, Makris GC. Probiotic bacteria and biosurfactants for nosocomial infection control: A hypothesis. *J Hosp Infect*. 2009;71(4):301–306. doi: 10.1016/j.jhin.2008.12.008
8. Ilyakova AV, Shestopalov NV, Fedorova LS, Belova AS. The possibility of using bacteria *Bacillus* in the production of disinfectants. *Gigiena i Sanitariya*. 2020;99(5):436–442. (In Russ.) doi: 10.33029/0016-9900-2020-99-5-436-442
9. Torres-Sánchez A, Pardo-Cacho J, López-Moreno A, Ruiz-Moreno A, Cerk K, Aguilera M. Antimicrobial effects of potential probiotics of *Bacillus* spp. isolated from human microbiota: *In vitro* and *in silico* methods. *Microorganisms*. 2021;9(8):1615. doi: 10.3390/microorganisms9081615
10. Soffritti I, D'Accolti M, Cason C, et al. Introduction of probiotic-based sanitation in the emergency ward of a children's hospital during the COVID-19 pandemic. *Infect Drug Resist*. 2022;15:1399–1410. doi: 10.2147/idr.s356740
11. Leistner R, Kohlmorgen B, Brodzinski A, et al. Environmental cleaning to prevent hospital-acquired infections on non-intensive care units: A pragmatic, single-centre, cluster randomized controlled, crossover trial comparing

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2025-33-10-56-65>  
Original Research Article

- soap-based, disinfection and probiotic cleaning. *EclinicalMedicine*. 2023;59:101958. doi: 10.1016/j.eclinm.2023.101958
12. Cowell N, Chapman L, Bloss W, Srivastava D, Bartington S, Singh A. Particulate matter in a lockdown home: Evaluation, calibration, results and health risk from an IoT enabled low-cost sensor network for residential air quality monitoring. *Environ Sci Atmos*. 2023;3:65-84. doi: 10.1039/d2ea00124a
  13. Bobulski J, Szymoniak S, Pasternak K. An IoT system for air pollution monitoring with safe data transmission. *Sensors (Basel)*. 2024;24(2):445. doi: 10.3390/s24020445
  14. Zhukova ES, Shcherbatyuk TG, Pozdniakova MA. The relationship between a malignant tumor growth and peculiarities of behavior of laboratory animals. *Prirodnye Resursy Zemli i Okhrana Okruzhayushchey Sredy*. 2021;2(1):44-47. (In Russ.) doi: 10.26787/nydha-2713-203x-2021-2-1-44-47
  15. Redina OE, Smolenskaya SE, Markel AL. Genetic control of the behavior of ISIAH rats in the open field test. *Russian Journal of Genetics*. 2022;58(7):791-803. doi: 10.1134/s1022795422070146
  16. Tochilina AG, Belova IV, Solovieva IV, Zhirnov VA, Ivanova TP. [Criteria for assessing the composition of the biocenosis of the lumen of the large intestine.] *Spravochnik Zaveduyushchego KDL*. 2016;(8):54-78. (In Russ.)
  17. Kim AD, Goldberg OA, Lepekhnova SA, et al. Peculiarities of topographic anatomy and crypt compartment of distal colon in Wistar rats. *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo Nauchnogo Tsentra Sibirskogo Otdeleniya Rossiyskoy Akademii Meditsinskikh Nauk*. 2016;1(2(108)):48-54. (In Russ.)
  18. Makarova MN, Kryshen KL, Alyakrinskaya AA, Rybakova AV, Makarov VG. Characteristics of the intestinal microflora in humans and laboratory animals. *Mezhdunarodnyy Vestnik Veterinari*. 2016;(4):97-105. (In Russ.)
  19. Zavgorodnyaya EF. [Intestinal dysbiosis (review).] *Dal'nevostochnyy Zhurnal Infektsionnoy Patologii*. 2010;(16(16)):131-141. (In Russ.)
  20. Zabokritskiy NA. The biologically active substances produced probiotic microorganisms of the genera *Bacillus* and *Lactobacillus*. *Zhurnal Nauchnykh Statey Zdorov'e i Obrazovanie v XXI Veke*. 2015;17(3):80-90. (In Russ.)
  21. Zhu J, Chen Y, Imre K, et al. Mechanisms of probiotic *Bacillus* against enteric bacterial infections. *One Health Adv*. 2023;1:21. doi: 10.1186/s44280-023-00020-0
  22. Kalinina NV, Zagainova AV, Yudin SM, Gaponova EB, Bunin IM. Hygienic assessment of mycological contamination of the internal environment of residential and public buildings. *Gigiena i Sanitariya*. 2023;102(7):632-638. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2023-102-7-632-638
  23. Francois M, Canal Delgado I, Shargorodsky N, Leu CS, Zeltser L. Assessing the effects of stress on feeding behaviors in laboratory mice. *eLife*. 2022;11:e70271. doi: 10.7554/eLife.70271
  24. Koterov AN, Ushenkova LN, Zubenkova ES, Wainson AA, Biryukov AP, Samoylov AS. Dependence of body weight on age for random-bred albino rat and for eight lines of laboratory rat: Synthetic studies of data from experimental works and nurseries in aspect of the relationship with radiosensitivity. Some characteristics of rat species. *Meditsinskaya Radiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost'*. 2018;63(2):1-41. (In Russ.) doi: 10.12737/article\_5ac6190e95da25.42157674
  25. Umriukhin PE, Grigorchuk OS. Open field behavior as a predictive criteria reflecting rat corticosterone level before and after stress. *Rossiyskiy Fiziologicheskiy Zhurnal im. I.M. Sechenova*. 2015;101(12):1366-1371. (In Russ.)
  26. Yildyrym EA, Laptev GYu, Novikova NI, et al. Protecting poultry against clostridiosis. *Ptitsevodstvo*. 2021;(12):35-38. (In Russ.)

#### Сведения об авторах:

**Позднякова** Марина Александровна – д.м.н., профессор, главный научный сотрудник – зав. отделом медико-профилактических технологий управления рисками общественному здоровью; e-mail: prof\_pozdniakova@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7767-6098>.

✉ **Жукова** Евгения Сергеевна – старший научный сотрудник – зав. лабораторией моделирования эффектов воздействия на организм факторов окружающей среды; e-mail: evgenya\_plekhanova@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9016-2390>.

**Шалаганова** Вероника Владимировна – младший научный сотрудник отдела медико-профилактических технологий управления рисками общественному здоровью; e-mail: veronikachygg@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5248-3209>.

**Полякова** Любовь Валерьевна – младший научный сотрудник отдела медико-профилактических технологий управления рисками общественному здоровью; e-mail: polaykova2016@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7056-734X>.

**Информация о вкладе авторов:** концепция и дизайн исследования, редактирование: *Позднякова М.А.*; анализ и интерпретация результатов, редактирование: *Жукова Е.С.*; сбор данных, подготовка рукописи: *Шалаганова В.В., Полякова Л.В.* Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

**Соблюдение этических стандартов:** исследование одобрено комиссией по контролю за содержанием и использованием лабораторных животных ФБУН «ННИИГП» Роспотребнадзора (протокол №1 от 19.06.2023) и выполнено в соответствии с этическими нормами обращения с животными, принятыми Европейской конвенцией о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях ETS № 123, и Директивой 2010/63/EU Европейского парламента и совета Европейского союза от 22 сентября 2010 г.

**Финансирование:** работа выполнялась в рамках Государственного задания ФБУН «ННИИГП» Роспотребнадзора (Reg. № НИОКТР 121020900054-2, сроки выполнения 2021–2025 гг.).

**Конфликт интересов:** авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Статья получена: 27.03.25 / Принята к публикации: 06.10.25 / Опубликована: 31.10.25

#### Author information:

Marina A. **Pozdniakova**, Dr. Sci. (Med.), Prof., Chief Researcher, Head of the Department of Medical and Preventive Technologies for Public Health Risk Management; e-mail: prof\_pozdniakova@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7767-6098>.

✉ Evgeniya S. **Zhukova**, Senior Researcher, Head of the Laboratory for Modeling Health Effects of Environmental Factors; e-mail: evgenya\_plekhanova@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9016-2390>.

Veronika V. **Shalaganova**, Junior Researcher, Department of Medical and Preventive Technologies for Public Health Risk Management; e-mail: veronikachygg@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5248-3209>.

Lyubov V. **Polyakova**, Junior Researcher, Department of Medical and Preventive Technologies for Public Health Risk Management; e-mail: polaykova2016@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7056-734X>.

**Author contributions:** study conception and design: *Pozdniakova M.A., Zhukova E.S.*; data collection: *Shalaganova V.V., Polyakova L.V.*; analysis and interpretation of results: *Zhukova E.S., Shalaganova V.V., Polyakova L.V.*; draft manuscript preparation: *Shalaganova V.V.*; editing: *Pozdniakova M.A., Zhukova E.S.* All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

**Compliance with ethical standards:** The study was approved by the Committee for the Control of the Care and Use of Laboratory Animals of the Nizhny Novgorod Scientific Research Institute of Hygiene and Occupational Diseases (protocol No. 1 of June 19, 2023) and was carried out in accordance with the ethical standards for the treatment of animals adopted by the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals used for Experimental and other Scientific Purposes ETS No. 123, and Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of September 22, 2010.

**Funding:** The work was carried out within the framework of the government assignment of the Nizhny Novgorod Scientific Research Institute of Hygiene and Occupational Diseases (Reg. No. R&D 121020900054-2, implementation period: 2021–2025).

**Conflict of interest:** The authors have no conflicts of interest to declare.

Received: March 27, 2025 / Accepted: October 6, 2025 / Published: October 31, 2025