

Минимизация биориска при обращении с инфицированными лабораторными животными

Е.В.Кислицина, В.Г.Германчук, М.В.Гордеева

ФКУН «Российский научно-исследовательский противочумный институт «Микроб» Роспотребнадзора, Саратов, Российская Федерация

На протяжении многих лет проведение исследований с использованием лабораторных животных является базовым для научных экспериментов и залогом прогресса медико-биологических наук. До настоящего времени биологический метод (метод биологических проб) остается золотым стандартом диагностики возбудителей инфекционных болезней. Лабораторных животных также широко применяют для оценки качества и безопасности различных продуктов, в т.ч. и медицинских изделий, используемых для профилактики и лечения инфекционных болезней. Все перечисленные работы: экспериментальные, диагностические, производственные, так или иначе могут быть связаны с рисками использования патогенных биологических агентов (ПБА), что обуславливает необходимость обеспечения биологической безопасности при их проведении. Особенно важно обеспечение биобезопасности при работе с лабораторными животными, зараженными возбудителями особо опасных инфекций. При приоритетном выполнении комплекса мер, направленных на минимизацию биориска, особенностью использования лабораторных животных является также выполнение комплекса мер, направленных на снижение рисков искажения экспериментальных данных.

Биологическая безопасность в лаборатории обеспечивается выполнением комплекса организационных, инженерно-технических, медико-биологических и контрольных мероприятий, направленных на защиту персонала и окружающей среды от воздействия ПБА. При использовании лабораторных животных объем защитных мероприятий расширяется, так как инфицированные животные становятся дополнительным источником биологической опасности. Ведущими факторами обеспечения биобезопасности являются «технический» и «человеческий». Уровень защиты лаборатории, где содержатся и ведутся работы с инфицированными животными, должен быть адекватен потенциальной биологической опасности. Немаловажную роль играет компетентность персонала - как обслуживающего, так и экспериментатора.

Минимизация биорисков обеспечивается строгой системой регулирования. На сегодняшний день основными документами Российской Федерации, регулирующими безопасность проведения работ с возбудителями инфекций, являются СанПиН 3.3686-21 «Санитарно-эпидемиологические требования по профилактике инфекционных болезней», а также методические документы и инструкции, касающиеся вопросов обеспечения безопасности при выполнении работ с ПБА. Соблюдение правил и норм биобезопасности с учетом особенностей обращения с животными, касающихся выполнения этических норм и ветеринарного наблюдения, позволяет минимизировать биориск при работе с зараженными лабораторными животными и при этом грамотно планировать исследования с получением достоверных качественных результатов.

Ключевые слова: лабораторные животные, инфицированные лабораторные животные, биомодель, биологический риск, патогенные биологические агенты, персонал, виварий, лаборатория

Для цитирования: Кислицина Е.В., Германчук В.Г., Гордеева М.В. Минимизация биориска при обращении с инфицированными лабораторными животными. Бактериология. 2026; 11(1): 103–111. DOI: 10.20953/2500-1027-2026-1-103-111

Minimizing biorisk when handling infected laboratory animals

E.V.Kislitsina, V.G.Germanchuk, M.V.Gordeeva

Russian Anti-Plague Research Institute “Microbe” of Rosпотребнадзор, Saratov, Russian Federation

For many years, research using laboratory animals has been a fundamental part of scientific experiments and has contributed to the advancement of biomedical sciences. To this day, the biological method (biological testing) remains the “gold standard” for diagnosing infectious diseases. Laboratory animals are also widely used to assess the quality and safety of various products, including medical devices used for the prevention and treatment of infectious diseases. All of the above-mentioned activities, such as experimental, diagnostic, and production activities, may involve the use of pathogenic biological agents (PBA), which necessitates the implementation of biosecurity measures. It is especially important to ensure biosafety when working with laboratory animals that are infected with pathogens of particularly dangerous infections. In addition to prioritizing a set of measures aimed at minimizing biorisk, the use of laboratory animals also requires a set of measures aimed at reducing the risks of distortion of experimental data.

Для корреспонденции:

Кислицина Екатерина Владимировна, научный сотрудник отдела экспериментальных животных с виварием ФКУН «Российский научно-исследовательский противочумный институт «Микроб» Роспотребнадзора

Адрес: 410005, Саратов, ул. Университетская, 46

Телефон: (8452) 26-2131

E-mail: rusrapi@microbe.ru

ORCID: 0000-0002-7565-2383

Статья поступила 18.11.2025, принята к печати 30.03.2026

For correspondence:

Ekaterina V. Kislitsina, Research Fellow at the Department of Experimental Animals with Vivarium, Russian Scientific Research Anti-Plague Institute “Microbe” of Rosпотребнадзор

Address: 46 Universitetskaya str., Saratov, 410005, Russian Federation

Phone: (8452) 26-2131

E-mail: rusrapi@microbe.ru

ORCID: 0000-0002-7565-2383

The article was received 18.11.2025, accepted for publication 30.03.2026

Biological safety in the laboratory is ensured by a set of organizational, engineering, medical, biological, and control measures aimed at protecting personnel and the environment from the effects of PBA. When using laboratory animals, the scope of protective measures expands, as infected animals become an additional source of biological hazard. The leading factors in ensuring biological safety are “technical” and “human.” The level of protection in a laboratory where infected animals are kept and worked with must be adequate to the potential biological hazard. The competence of both the maintenance staff and the experimentalists plays an important role.

Minimization of bioresources is ensured by a strict regulatory system. To date, the main document of the Russian Federation regulating the safety of work with infectious agents is SanPiN 3.3686-21 “Sanitary and epidemiological requirements for the prevention of infectious diseases”, as well as methodological documents and instructions concerning the issues of ensuring safety when performing work with PBA.

Compliance with the rules and regulations of biosafety, taking into account the specifics of animal handling, including ethical standards and veterinary supervision, allows to minimize the bioresistance when working with infected laboratory animals and at the same time to plan the research in a competent way with obtaining reliable quality results.

Key words: laboratory animals, infected laboratory animals, biomodel, biological risk, pathogenic biological agents, personnel, vivarium, laboratory

For citation: Kislitsina E.V., Germanchuk V.G., Gordeeva M.V. Minimizing biorisk when handling infected laboratory animals. Bacteriology. 2026; 11(1): 103–111. (In Russian). DOI: 10.20953/2500-1027-2026-1-103-111

Важную роль в научных и диагностических исследованиях, а также в производственной работе играет использование лабораторных животных. Животных использовали на протяжении всей истории науки, и в настоящем это, бесспорно, остается обязательным. По данным Европейского союза, основная часть животных (65%) используется в медицинских исследованиях и использование лабораторных животных неуклонно растет [1]. Для исследований выбирают виды животных, наиболее близкие человеку в плане физиологии и патофизиологии. Выбор животного всецело зависит от поставленных задач эксперимента [2].

Залог успешного проведения эксперимента с использованием лабораторных животных – это выбор соответствующих определенным критериям сотрудников, при этом определяется их количество, достаточное как для проведения самого эксперимента, так и для обслуживания содержащихся лабораторных животных, а также заранее составленная схема эксперимента, которая должна выполняться в четкой последовательности и строго распределенными функциями экспериментаторов [3].

При обращении с инфицированными лабораторными животными требуются понимание и исполнение требований биологической безопасности (ББ) для предотвращения заражения персонала и контаминации окружающей среды, а также соблюдение этических норм [4] и ветеринарный контроль сертифицированного специалиста за состоянием животных, условиями их содержания. Неправильное обращение приводит не только к страданиям животного, но и к искажению научных данных. Стресс является мощным фактором, влияющим на ход эксперимента и его результат [5]. Поэтому обеспечивается адекватная анестезия и анальгезия, соблюдение асептики и антисептики при проведении хирургических операций. Необходимо четко определить критерии, при которых животное должно быть безболезненно подвергнуто эвтаназии, с использованием только одобренных и гуманных методов, которые вызывают быструю и безболезненную смерть, во избежание непреднамеренных страданий [6].

Таким образом, при приоритетном выполнении комплекса мер, направленных на минимизацию биориска при обращении с инфицированными животными, необходимо совокупно обеспечивать выполнение мероприятий, направленных на

снижение рисков искажения экспериментальных данных, в т.ч. учитывая и этический аспект.

Цель исследования – провести анализ наиболее важных нормативных, методических документов, литературных данных, а также ведомственных документов по обеспечению биологической безопасности при обращении с инфицированными лабораторными животными.

Материал и методы

Для проведения анализа отобраны нормативные, методические документы и научные публикации по поисковым электронным базам данных (PubMed, eLIBRARY). В соответствии с темой работы в исследование включено 27 источников.

Результаты исследования и их обсуждение

Риск заражения при лабораторных исследованиях с использованием биологического метода является преобладающим среди остальных рисков, связанных с работами с патогенными биологическими агентами (ПБА). При обращении с лабораторными животными наиболее часто происходит нарушение кожных покровов экспериментатора вследствие укусов, царапин, нанесенных инфицированным животным, а также укола зараженной иглой, пореза хирургическими инструментами при вскрытии. Аварии при работе с ПБА, связанные с нарушением целостности кожных покровов, наиболее часто являются очевидной причиной лабораторного заражения [7, 8]. Заражение внутри лаборатории, где содержатся инфицированные лабораторные животные, также может произойти воздушно-капельным, контактным или даже трансмиссивным (через укус насекомых) путем. Поэтому риск лабораторного инфицирования персонала и попадания опасных биоагентов во внешнюю среду потенциально связаны с условиями содержания зараженных животных и правилами обращения с ними [9].

Для минимизации биориска выполняется комплекс организационных, инженерно-технических, медико-биологических и контрольных мероприятий [10].

Наиболее эффективно воздействие на биориск путем реализации инженерно-технических мероприятий – исполь-

зованием защитных инженерно-технических систем и оборудования, вспомогательных средств и инструментария, так как «технический» фактор содержит в себе меньшую неопределенность и легче поддается контролю и управлению, чем «человеческий» [11].

Одним из эффективных механизмов управления биориском является государственное регулирование, нормативное и методическое обеспечение ББ.

На сегодняшний день основным документом Российской Федерации, регулирующим безопасность проведения работ с возбудителями инфекций, является СанПиН 3.3686-21 [12]. Документ устанавливает общие базовые требования к условиям работ с ПБА с использованием лабораторных животных (содержание, заражение и вскрытие инфицированных животных).

Реализация организационных и контрольных мероприятий в области ББ при проведении работ с ПБА с использованием биомоделей обеспечивается аналогично любой другой деятельности с использованием возбудителей инфекционных болезней. Проведение исследований с использованием лабораторных животных подлежит лицензированию [13], а подразделение проводит работы на основании санитарно-эпидемиологического заключения о соответствии условий проведения работ с ПБА, выданного в установленном порядке [12]. В организации осуществляется контроль за соблюдением требований ББ. Для подразделения, на базе которого проводят исследования с использованием лабораторных животных, важно учесть все регулируемые нормативами биориски, а также дополнительно оценить риски, связанные с конкретными условиями содержания и обращения с животными, видом и количеством используемых животных, оборудованием, персоналом, особенностями технологии. Меры по снижению выявленных рисков отражают в локальных нормативных актах подразделения по ББ, планах ликвидации аварий, стандартных операционных процедурах (СОП) [12]. Особенностью учета движения ПБА при постановке биопроб является регистрация движения лабораторных животных – поступивших для исследования, инфицированных или иммунизированных, с учетом заражающего материала, вида животного, количества экспериментальных животных на начало и конец рабочего дня (смены), включая количество зараженных, павших или забитых. Регистрации подлежат заражение, вскрытие и другие манипуляции с указанием фамилии, имени, отчества и должности экспериментатора, времени проведения эксперимента. Это позволяет снизить риски, связанные с утратой ПБА (преднамеренной или непреднамеренной) [14].

Минимизация биориска с помощью «технического» фактора обеспечивается созданием физических барьеров, препятствующих заражению персонала и распространению возбудителей инфекционных болезней во внешнюю среду [11]. При обращении с инфицированными животными в лабораторных условиях учитывают размещение как самого объекта, так непосредственно помещений подразделения, проводящего исследования с использованием биомоделей, в объеме здания, а также объемно-планировочные решения (ОПР), оснащение комплексом инженерно-технических систем ББ (ИТС ББ), оборудованием и средствами, направ-

ленными на защиту работающего персонала, населения и окружающей среды от воздействия ПБА [12].

Для снижения потенциального биориска для населения и окружающей среды размещение подобных объектов осуществляют с соблюдением требований к санитарно-защитной зоне в соответствии с национальным законодательством [15].

СанПиН 3.3686-21 устанавливает ряд основных требований к размещению лабораторий в здании, ОПР, комплексу ИТС ББ и защитного оборудования в соответствии с уровнем ББ лаборатории. Однако российские нормативные требования к ОПР и элементам ИТС ББ при работе с лабораторными животными недостаточно конкретизированы в зависимости от уровня ББ лаборатории, потенциальной опасности возбудителя. При этом руководства по обеспечению ББ в лабораторных условиях Центра по контролю заболеваний США, Канады выделяют и дифференцируют рекомендации по обеспечению ББ для лабораторий, проводящих исследования с использованием лабораторных животных, в соответствии с уровнем ББ лаборатории и биологической опасностью ПБА [16]. Это несомненно является преимуществом при проектировании лабораторий, планировании и организации безопасной работы.

Исследования с использованием лабораторных животных проводят в различном объеме в организациях различной функциональной направленности и ведомственной подчиненности.

Имеются специализированные экспериментально-биологические клиники (виварии), где осуществляется содержание и разведение лабораторных животных, используемых для научных и иных целей, а также обеспечиваются физиологические потребности животных [17–19]. Для части учреждений, например для учреждений системы мониторинга и лабораторной диагностики инфекционных и паразитарных болезней (Приказ Роспотребнадзора от 01.12.2017 №1116 «О совершенствовании системы мониторинга, лабораторной диагностики инфекционных и паразитарных болезней и индикации ПБА в Российской Федерации»), спектр задач не включает содержание и разведение животных, а также проведение полномасштабных длительных экспериментов с ними, а локализуется использованием ограниченного количества биомоделей исключительно для диагностических исследований, проводимых в течение короткого периода времени в случае необходимости [20]. При необходимости постановки биопроб лабораторных животных приобретают в специализированных питомниках (вивариях) в необходимом количестве. Поэтому необходим дифференцированный подход к созданию необходимых условий для содержания животных и проведению работ с ПБА с их использованием в учреждениях с различным целевым назначением [21].

С 2014 по 2021 г. до вступления в действие СанПиН 3.3686-21 санитарно-эпидемиологические требования к устройству, оборудованию, содержанию животных и проведению работ в виварии, направленные как на защиту лабораторных животных от неблагоприятных воздействий, так и на защиту персонала вивария от вредных и опасных производственных факторов, устанавливали санитарно-эпидемиологические правила СП 2.2.1.3218-14 «Санитарно-эпидемиологические требования к устройству, оборудова-

нию и содержанию экспериментально-биологических клиник (вивариев)». Часть требований, а именно к размещению и устройству вивариев, включена в СанПиН 3.3686-21.

СанПиН 3.3686-21 определяет, что в набор помещений микробиологической лаборатории, при необходимости, входит блок для работы с инфицированными животными, но не устанавливает требований к наличию вивария в лаборатории. При этом не исключено, что виварий может включать блок для работы с инфицированными животными. В то же время по определению, назначению и функциям блок для содержания инфицированных животных микробиологической лаборатории не является комплексом помещений вивария, т.е. не должен включать регламентированный набор виварных помещений, а представляет собой подразделение микробиологической лаборатории, использующей лабораторных животных для постановки биопроб. Таким образом, блок для работы с инфицированными животными является обязательной структурно-функциональной единицей, предназначенной для проведения работ с ПБА с использованием лабораторных животных как в виварии, так и в микробиологической лаборатории [21].

Приоритетом при работе с инфицированными лабораторными животными в лаборатории является соблюдение требований ББ, направленных на предотвращение профессионально обусловленного инфицирования персонала [22], эпидемического распространения среди людей и попадания в окружающую среду. С учетом этого проводят проектирование учреждений с зонированием на «чистую» (где не проводят работы с ПБА) и «заразную» (где проводят работы с ПБА) зоны. В этом заключается противовес требований при работе с ПБА к требованиям ОНР вивария, где разделение идет на «чистые» и «грязные» помещения с целью обеспечения безопасности лабораторных животных, направленной на предотвращение их заражения, источником которого являются вновь поступившие животные, материалы и оборудование, использовавшиеся при обращении с заболевшими животными, персонал вивария. Однако, с учетом необходимости совокупного выполнения требований, блок для работы с инфицированными животными вивария должен располагаться в «грязных» помещениях «заразной» зоны.

Объемно-планировочные решения и размещение оборудования в учреждении и подразделении, где проводят работы с лабораторными животными, должны обеспечивать поточность движения не только ПБА, персонала, отходов, но и лабораторных животных. Поточность рассматривают как в отношении профилактики инфицирования от персонала и объектов окружающей среды при поступлении интактных животных для исследований, так и после инфицирования с целью обеспечения ББ [21].

Если цели и задачи учреждения не предусматривают наличие вивария, то приобретаемые животные проходят отбор и сортировку (вид, вес, состояние здоровья и др.) в специальном помещении «чистой» зоны и далее поступают в «заразную» зону – в блок для работы с инфицированными животными для постановки биопробы. В помещениях для временного пребывания животных до и во время эксперимента («чистой» и «заразной» зон) создают оптимальные климатические и санитарно-гигиенические условия, обеспе-

чивают кормление и уход, что обусловлено требованиями к гуманному отношению к животным [23].

Минимальный набор помещений блока для работы с инфицированными животными не нормирован действующими СанПиН. Однако существующий опыт работ и анализ литературных источников позволяет сделать вывод, что блок для работы с инфицированными животными должен включать следующие помещения: 1) помещение для надевания средств индивидуальной защиты (СИЗ); 2) помещение для снятия и обеззараживания СИЗ; 3) манипуляционная (полевая) – помещение для приема, разбора материала и очеса животных, доставленных из природных очагов; 4) помещение для первичной подготовки проб зоолого-энтмологического материала; 5) помещение для первичной подготовки секционного материала; 6) помещение для заражения/вскрытия животных, инфицированных ПБА I–IV групп; 7) помещение для лечения животных, инфицированных ПБА I–IV групп; 8) биопробная – помещение для содержания зараженных животных (животные, зараженные разными видами микроорганизмов, подлежат отдельному содержанию); 9) помещение для обеззараживания оборудования и инвентаря химическим способом; 10) помещение для мойки оборудования и инвентаря; 11) помещение для хранения оборудования и инвентаря. Допускается объединение помещения для мойки и хранения оборудования и инвентаря. В существующих лабораториях допускается объединение помещений: манипуляционная (полевая); помещение для первичной подготовки проб зоолого-энтмологического материала; помещение для первичной подготовки секционного материала; помещение для заражения/вскрытия животных, инфицированных ПБА I–IV групп. Возможно выделение отдельных помещений в составе блока для работы с материалом, подозрительным на содержание микроорганизмов, образующих споры, для иммунизации и содержания иммунизированных животных, а также других помещений, исходя из конкретных целей и задач лаборатории. Начиная с уровня ББ 3 рекомендуется наличие в подразделении, где расположен блок для работы с инфицированными животными, помещения для обеззараживания паровой стерилизацией. При наличии проходного парового стерилизатора – в «заразной» зоне подразделения выделяют помещение (зону) для загрузки объектов, инфицированных ПБА, в паровой стерилизатор.

В составе помещений «чистой» зоны вновь строящихся и реконструируемых лабораторий, проводящих исследования с использованием биомоделей, предусматриваются: 1) помещение для приема, адаптации поступивших интактных животных; 2) помещение для хранения чистого инвентаря (клеток, поилок, посуды для кормов, оборудования); 3) помещения для хранения и приготовления кормов для животных; 4) помещение для хранения подстилки для животных; 5) моечная; 6) помещение для выгрузки материала после обеззараживания способом паровой стерилизации; 7) помещения персонала.

Заражающий материал может в подготовленном виде передаваться непосредственно к месту проведения заражения животных или готовиться на месте, например суспензии из органов вскрытых животных без выноса из помещений «заразной зоны» [24].

При обустройстве блока для работы с инфицированными животными соблюдают принцип изоляции. Это достигается его изолированным расположением от других помещений, оборудованием автономной вентиляцией с режимами работы и наличием фильтров очистки воздуха, регламентированными СанПиН 3.3686-21 в зависимости от уровня ББ и потенциальной опасности возбудителя [26].

Во избежание заражения персонала и контаминации окружающей среды на современном этапе лаборатории используют барьерный тип содержания экспериментальных животных. Это система, которая обеспечивает изоляцию животных от окружающей среды с помощью специализированного оборудования с созданием разряжения внутри устройств для предотвращения попадания патогенов в окружающую среду. С данной целью возможно использование защитных устройств для содержания животных, инфицированных ПБА I–IV групп: системы индивидуально вентилируемых клеток и шкафов содержания лабораторных животных с комбинированной фильтрацией удаляемого воздуха [25]. Предпочтительно использование индивидуально вентилируемых клеток, так как обеспечивается изоляция инфицированного животного или группы животных, подстилочного материала и продуктов жизнедеятельности, воздуха, а также поддерживается оптимальный микроклимат на уровне каждой клетки [27]. При использовании шкафов, где изоляция обеспечивается в основном на уровне общего внутреннего пространства защитного устройства, существует вероятность выброса инфицированного материала из клеток, контейнеров и загрязнение внутренней камеры шкафа [22].

Действующие санитарные правила СанПиН 3.3686-21 допускают содержание зараженных животных в банках, металлических клетках при условии, что помещение оснащено автономной системой приточно-вытяжной вентиляции с высокоэффективными фильтрами очистки воздуха соответствующего уровню класса биобезопасности на входе и на выходе, с непрерывным поддержанием регламентированных режимов работы (отрицательного давления, кратности воздухообмена) круглосуточно, тем самым понижая концентрацию микробного аэрозоля в помещении и снижая риск заражения для персонала и попадания ПБА в окружающую среду.

Системы содержания лабораторных животных, кроме снижения биорисков, также предусматривают создание и поддержание определенных параметров микроклимата, возможность кормления, соблюдения питьевого режима, наблюдения за животными. Сотрудники контролируют не только внешний вид, но и активность животного, в т.ч. поедание корма и употребление питьевой воды [21].

Для минимизации биориска набор заражающего материала и заражение лабораторных животных ПБА I–II групп, а также их вскрытие проводят с использованием защитного оборудования. В основном используют бокс микробиологической безопасности II или III класса, предпочтительно с возможностью расположения сотрудников, проводящих манипуляции, друг против друга (модификация *vis-a-vis*). Допускается также использование иного оборудования, способствующего ограничению распространения микробного аэрозоля в помещении, – защитных боксирующих

устройств (ЗБУ) или ламинарной станции с двухсторонним доступом [25]. Предпочтительно использование ЗБУ с подключением к вытяжной вентиляции, оборудованной высокоэффективными фильтрами очистки воздуха соответствующего класса. При работе с инфицированными животными возможно использование ламинарных станций различных модификаций – для чистки клеток и пересадки животных, для чистки клеток и ухода за животными, что функционально облегчает проведение манипуляций, тем самым снижая биориск, обусловленный физической нагрузкой на персонал. Ламинарные станции не являются защитным оборудованием как таковым, но направленный сверху вниз ламинарный поток воздуха создает некоторый защитный барьер для сотрудника и препятствует распространению микробного аэрозоля [26]. Кроме того, создание «чистых» условий снижает повышенную микробную нагрузку на биомодель, что способствует чистоте эксперимента. Выбор проведения подобных манипуляций на лабораторном столе над емкостью (поддоном) со смоченной салфеткой в дезинфицирующем растворе допускается в ограниченных случаях и должен сопровождаться использованием СИЗ с более высоким коэффициентом защиты. Риск выполнения манипуляций должен быть тщательно оценен комиссионно на объектовом уровне, и при его принятии все условия и этапы выполнения должны быть отражены в объектовой инструкции или СОП.

Работы в блоке для проведения работ с инфицированными животными проводят в СИЗ – противочумном костюме или аналоге, тип которого определяется биологической опасностью возбудителя и проводимыми манипуляциями. Проведение работ с инфицированными животными также определяет особенности в выборе СИЗ. Противочумный костюм или аналог рекомендуется выбирать с учетом повышенного риска образования брызг и высоких концентраций микробного аэрозоля, а также нанесения травм животным. Выбирают противочумные халаты или комбинезоны, выполненные из водоотталкивающих материалов, либо с усиленной водоотталкивающей передней поверхностью, либо дополняемые фартуком из водоотталкивающего материала. Также рекомендовано использование медицинских перчаток с защитой от проколов и порезов, либо кольчужных перчаток, либо дополненных крагами. Краги в данном случае должны быть выполнены из материала, устойчивого к обработке дезинфицирующими средствами. Учитывая, что манипуляции по уходу за лабораторными животными, проведению экспериментов сопряжены с повышенной физической активностью, сопровождающейся повышенным теплоотделением, целесообразно в условиях для базовых и изолированных лабораторий использовать фильтрующее СИЗ органов дыхания с принудительной подачей воздуха в комплекте с шлемом или капюшоном [28].

Однако выполнение всех инженерно-технических мер по снижению биориска сводится к минимуму без учета «человеческого» фактора, который является определяющим как в обеспечении ББ, так и в получении достоверных экспериментальных данных при использовании лабораторных животных.

Воздействие «человеческого» фактора на минимизацию биориска при обращении с инфицированными животными обеспечивается комплексным подходом к допуску персона-

ла [29]. Кроме выполнения общих требований к допуску работ с ПБА различных групп патогенности, регламентированных СанПиН, включая обучение и медико-профилактические мероприятия, необходимо наличие специальных практических навыков и сформировавшейся культуры ББ [30, 31].

Персонал должен владеть методиками безопасной техники выполнения различных манипуляций с инфицированными животными – заражения, вскрытия, взятия биоматериала и техники посева, ухода и содержания, лечения и эвтаназии, проведения обеззараживания и удаления отходов. Поэтому так важно для минимизации биориска при проведении исследований с ПБА с использованием биомоделей методическое обеспечение безопасного выполнения данных манипуляций. Методическая база обеспечения ББ должна дополнять и раскрывать требования нормативов, детализировать выполнение базовых требований на уровне комплекса методических документов – указаний, рекомендаций, руководств, а также являться унифицированной основой обучающего процесса.

Экспериментатор при заражении лабораторного животного должен четко понимать и учитывать индивидуальные особенности животного (дикие грызуны, лабораторные крысы), степень их агрессивности, его реакцию (поведение) на данную манипуляцию. Отсутствие опыта у сотрудников повышает потенциальный биориск, так как может привести к возникновению аварийных ситуаций, в результате чего животное во время заражения или зараженное животное может повредить СИЗ, укусить экспериментатора, а также совершить побег. Не имеющим опыт работы с лабораторными животными сотрудникам перед началом работ или при освоении новых методик следует проходить практику на «чистых» животных [24].

Соблюдение ББ является основой для работы сотрудников во время заражения и последующего наблюдения, а также ухода за зараженными лабораторными животными. Совершенно недопустимо намеренное нарушение режима безопасности работы или его сокрытие. Обязательным условием при работе и уходе за инфицированными лабораторными животными, находящимися в эксперименте, является соблюдение принципа парности.

Завершающим этапом всех процедур с использованием инфицированных биомоделей является обеззараживание всех задействованных предметов, инструментов, оборудования и СИЗ. Уход за лабораторными животными осуществляется ежедневно сотрудниками имеющие допуск к работе с ПБА. В процессе ухода за животными остаются остатки корма, питьевой воды, продукты жизнедеятельности зараженных ПБА лабораторных животных, клетки, а также вышедшие из эксперимента животные [24], которые проходят обязательное обеззараживание химическими и физическими методами согласно действующим санитарным правилам.

Заключение

Таким образом, в результате анализа имеющихся источников информации и многолетнего опыта работы с лабораторными животными выделены основные механизмы и под-

ходы к минимизации биориска при работе с возбудителями инфекционных болезней с использованием лабораторных животных. Воздействие на биориск осуществляется комплексом мероприятий, включающим выполнение нормативных требований по безопасности работ с ПБА с использованием биомоделей, а также реализацией дополнительных мер, связанных непосредственно с правилами обращения с животными. Итогом тщательного мониторинга и анализа потенциальных рисков обращения с инфицированными животными должна явиться детализация и унификация нормативных требований в методических и инструктивных документах. Минимизация биориска при работе с инфицированными лабораторными животными должна учитывать также такие аспекты, как гуманное обращение с животными и влияние условий обращения с лабораторными животными на результат исследования. Только такой подход позволяет проводить безопасные, качественные, воспроизводимые и морально оправданные научные исследования.

Информация о финансировании

Финансирование данной работы не проводилось.

Financial support

No financial support has been provided for this work.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

Вклад авторов

Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Author contribution

All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Литература

1. Рекомендация Коллегии ЕЭК от 14.11.2023 №33 «О Руководстве по работе с лабораторными (экспериментальными) животными при проведении доклинических (неклинических) исследований». Таможенные документы. АлтаСофт [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.alt.ru/tamdoc/23rk0033/?ysclid=mkmgp1uhk4121009412> (дата обращения: 20.01.2026).
2. Европейская конвенция о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях ETS N 123 (Страсбург, 18 марта 1986 г.). ГАРАНТ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://base.garant.ru/4090914/?ysclid=mkmgvs3cds423989208> (дата обращения: 20.01.2026).
3. Каркищенко НН, Грачева СВ. Руководство по лабораторным животным и альтернативным моделям в биомедицинских технологиях. М.: Профиль-2с, 2010.
4. Курзанов АН. Биоэтические аспекты исследовательской и образовательной деятельности в медицинских НИИ и вузах. Фундаментальные исследования. 2009;2:92-3.

5. Grimm H, Biller-Andorno N, Buch T, Dahloff M, Davies G, Cederroth CR, et al. Advancing the 3Rs: innovation, implementation, ethics and society. *Front Vet Sci.* 2023 Jun 15;10:1185706. DOI: 10.3389/fvets.2023.1185706
6. ГОСТ ISO 10993-2-2025 Изделия медицинские. Оценка биологического действия медицинских изделий. Часть 2. Требования к обращению с животными – docs.cntd.ru [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1313168870?ysclid=mkkxrbjiga361679000> (дата обращения: 19.01.2026).
7. Крепостнова ИМ, Гордеева МВ. Аварии в лабораториях, осуществляющих работы с патогенными биологическими агентами. Проблемы особо опасных инфекций. 2024;3:25-34. DOI: 10.21055/0370-1069-2024-3-25-34.
8. Blacksell SD, Dhawan S, Kusumoto M, Le KK, Summermatter K, O'Keefe J, et al. Laboratory-acquired infections and pathogen escapes worldwide between 2000 and 2021: a scoping review. *Lancet Microbe.* 2024 Feb;5(2):e194-e202. DOI: 10.1016/S2666-5247(23)00319-1
9. Кислицина ЕВ, Германчук ВГ. Особенности содержания лабораторных животных, инфицированных патогенными биологическими агентами I–II группы, находящихся в эксперименте. *Лабораторные животные для научных исследований.* 2024;2:90-97. DOI: 10.57034/2618723X-2024-02-08
10. ГОСТ Р 55234.2 – 2013 Практические аспекты менеджмента риска Менеджмент биориска; Биологическая безопасность: Термины и определения. Под ред. Онищенко ГГ, Кутырева ВВ. Изд. 2-е, испр. и доп. М.: Медицина, 2011.
11. Дроздов СГ, Гарин НС, Джиндоян ЛС, Тарасенко ВМ. Основы техники безопасности в микробиологических и вирусологических лабораториях. М.: Медицина, 1987.
12. СанПиН 3.3686-21. Санитарные правила и нормы. Санитарно-эпидемиологические требования по профилактике инфекционных болезней. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 №4 (ред. от 25.06.2025) «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 3.3686-21». Санитарно-эпидемиологические требования по профилактике инфекционных болезней (вместе с СанПиН 3.3686-21. Санитарные правила и нормы...) (Зарегистрировано в Минюсте России 15.02.2021 №62500) [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://sudact.ru/law/postanovlenie-glavnogo-gosudarstvennogo-sanitarnogo-vracha-rf-ot_1377/sanpin-3.3686-21/?ysclid=mkmbuq3d85591386968 (дата обращения: 20.01.2026).
13. Постановление Правительства РФ от 25 января 2022 г. №46 «О лицензировании деятельности в области использования возбудителей инфекционных заболеваний человека и животных (за исключением случая, если указанная деятельность осуществляется в медицинских целях) и генно-инженерно-модифицированных организмов III и IV степеней потенциальной опасности, осуществляемой в замкнутых системах». Документы ленты ПРАЙМ: ГАРАНТ. РУ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/403357492/?ysclid=mkmc8rzhd5937848561> (дата обращения: 20.01.2026).
14. Laboratory biosecurity guidance. World Health Organization, 2024. Available at: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240095113>
15. Постановление Правительства РФ от 03.03.2018 №222 «Об утверждении Правил установления санитарно-защитных зон и использования земельных участков, расположенных в границах санитарно-защитных зон» (с изменениями и дополнениями)». ГАРАНТ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://base.garant.ru/71892700/?ysclid=mkmcprvfrfs393202079> (дата обращения: 20.01.2026).
16. Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories. 6th edition. Revised June 2020. CDC, Canadian Biosafety Standard [Канадский стандарт по биобезопасности]. Third Edition. 2022. Available at: <https://www.canada.ca/en/public-health/services/canadian-biosafety-standards-guidelines/third-edition.html>
17. FELASA working group on revision of guidelines for health monitoring of rodents and rabbits; Mähler Convenor M, Berard M, Feinstein R, Gallagher A, Illgen Wilcke B, Pritchett-Corning K, et al. FELASA recommendations for the health monitoring of mouse, rat, hamster, guinea pig and rabbit colonies in breeding and experimental units. *Lab Anim.* 2014 Jul;48(3):178-192. DOI: 10.1177/0023677213516312
18. ГОСТ Р 55634-2013. Услуги для непродуктивных животных. Общие требования к объектам ветеринарной деятельности (Издание с Поправкой) – docs.cntd.ru [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200104952> (дата обращения: 19.01.2026).
19. Большая медицинская энциклопедия. Главн. ред. Петровский БВ. Изд. 3-е [в 30 т.]. М.: Сов. энциклопедия. 1976;4:188-190.
20. Директива Европейского парламента и Совета Европейского Союза 2010/63/ЕС от 22.09.2010 о защите животных, используемых для научных целей. ГАРАНТ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://base.garant.ru/70350564/?ysclid=mkmiyijpn3844077600> (дата обращения: 20.01.2026).
21. Германчук ВГ, Кислицина ЕВ, Шавина НЮ. Технические и проектные особенности специализированных лабораторий для работы с инфицированными животными. *Здоровье населения и среда обитания.* 2021;29(12):87-92. DOI: 10.35627/2219-5238/2021-29-12-87-92
22. Германчук ВГ, Морозов КМ, Семакова АП, Шавина НЮ. Обеспечение биологической безопасности в лаборатории для работы с зараженными животными. *Здоровье населения и среда обитания.* 2016;12(285):44-48.
23. ГОСТ 33216-2014. Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила содержания и ухода за лабораторными грызунами и кроликами (Переиздание) – docs.cntd.ru [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200127506> (дата обращения: 19.01.2026).
24. Кислицина ЕВ, Германчук ВГ, Гордеева МВ, Малюкова ТА, Сазанова ЕВ. Основные аспекты заражения лабораторных животных патогенными биологическими агентами I–II групп в соответствии с требованиями биологической безопасности. *Проблемы особо опасных инфекций.* 2025;(3):49-56. DOI: 10.21055/0370-1069-2025-3-49-56
25. Методические рекомендации. МР 1.3.0383-25 по использованию боксов микробиологической безопасности и других защитных устройств для работы и содержания животных, инфицированных ПБА I–IV групп (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 21 июля 2025 г.). ГАРАНТ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://base.garant.ru/412408692/?ysclid=mkmfajh6b460571113> (дата обращения: 20.01.2026).
26. Шишкина ОБ, Тюрин ЕА. Комплексное использование систем вентиляции, кондиционирования воздуха и боксов биологической безопасности для обеспечения санитарно-гигиенических условий в микробиологических лабораториях. Актуальные проблемы общей и военной гигиены: материалы Всероссийской научно-практической конференции. СПб., 2011;106-107.
27. Тращенко Д, Ковалева М. Индивидуально вентилируемые клетки – лишние финансовые вложения или оптимальная защита персонала и лабораторных животных. *Международный вестник ветеринарии.* 2014;1:100-103.
28. Пчелинцева МВ, Костюкова ТА, Ляпин МН, Семакова АП, Шарова ИН. Оценка возможности использования средства индивидуальной защиты при работе с возбудителями инфекционных болезней. В сборнике: Обеспечение эпидемиологического благополучия: вызовы и решения. Материалы XI съезда Всероссийского научно-практического общества эпидемиологов, микробиологов и паразитологов. 2017;487-488.
29. Тюрин ЕА, Благодатских СА, Квочко ПС. Оценка состояния профессиональной подготовки для снижения биологических рисков у сотрудников ветеринарных испытательных лабораторий. *Бактериология.* 2023;8(2):79-82. DOI: 10.20953/2500-1027-2023-2-79-82
30. ГОСТ Р 55234.4-2014. Практические аспекты менеджмента риска. Требования к персоналу для снижения биориска – docs.cntd.ru [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200114208> (дата обращения: 19.01.2026).

31. Kojima K, Bennett A, Blacksell S, Heisz M, Makison Booth C, McKinney M, et al. Laboratory Biosafety Manual. 4th ed. Geneva: World Health Organization; 2020;124. DOI: 10.48350/150305

References

1. Recommendation of the EEC Board of 14.11.2023 No 33 “On the Guidelines for Working with Laboratory (Experimental) Animals during Preclinical (Non-Clinical) Studies”. Customs documents I Alta-Soft [Electronic resource]. Available at: <https://www.alta.ru/tamdoc/23rk0033/?ysclid=mkmgp1uhk4121009412> (accessed 20.01.2026). (In Russian).
2. European Convention for the Protection of Vertebrate Animals used for Experimental and other Scientific Purposes ETS No 123 (Strasbourg, 18 March 1986). GARANT [Electronic resource]. Available at: <https://base.garant.ru/4090914/?ysclid=mkmgvs3cds423989208> (accessed 20.01.2026). (In Russian).
3. Karkishchenko NN, Gracheva SV. Handbook of laboratory animals and alternative models in biomedical technologies. M.: Profile-2s Publishing House, 2010. (In Russian).
4. Kurzanov AN. Bioethical aspects of research and educational activities in medical research institutes and universities. Fundamental Research. 2009;2:92-93. (In Russian).
5. Grimm H, Biller-Andorno N, Buch T, Dahlhoff M, Davies G, Cederroth CR, et al. Advancing the 3Rs: innovation, implementation, ethics and society. Front Vet Sci. 2023 Jun 15;10:1185706. DOI: 10.3389/fvets.2023.1185706
6. GOST ISO 10993-2-2025. Medical devices. Biological evaluation of medical devices. Part 2. Requirements for handling animals – docs.cntd.ru [Electronic resource]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1313168870?ysclid=mkxrbjiga361679000> (accessed 19.01.2026). (In Russian).
7. Krepostnova IM, Gordeeva MV. Accidents in laboratories working with pathogenic biological agents. Problems of Particularly Dangerous Infections. 2024;3:25-34. DOI: 10.21055V0370-1069-2024-3-25-34 (In Russian).
8. Blacksell SD, Dhawan S, Kusumoto M, Le KK, Summermatter K, O’Keefe J, et al. Laboratory-acquired infections and pathogen escapes worldwide between 2000 and 2021: a scoping review. Lancet Microbe. 2024 Feb;5(2):e194-e202. DOI: 10.1016/S2666-5247(23)00319-1
9. Kislitsina EV, Germanchuk VG. Features of keeping laboratory animals infected with pathogenic biological agents, pathogenicity group i-ii, under experiment. Laboratory Animals for Science. 2024;2:90-97. DOI: 10.57034/2618723X-2024-02-08 (In Russian).
10. GOST R 55234.2 – 2013 Practical aspects of risk management Biorisk management; Biological safety: Terms and definitions. Edited by Onishchenko GG, Kutyrev VV. 2nd edition, corr. and add. M.: Medicine, 2011. (In Russian).
11. Drozdov SG, Garin NS, Dzhindoyan LS, Tarasenko VM. Fundamentals of safety engineering in microbiological and virological laboratories. M.: Medicine, 1987. (In Russian).
12. SanPiN 3.3686-21. Sanitary rules and regulations Sanitary and epidemiological requirements for the prevention of infectious diseases Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation of 01/28/2021 N 4 (as amended on 06/25/2025) On approval of sanitary rules and regulations SanPiN 3.3686-21 Sanitary and epidemiological requirements for the prevention of infectious diseases (together with SanPiN 3.3686-21. Sanitary rules and regulations...) (Registered with the Ministry of Justice of Russia on 02/15/2021 N 62500) [Electronic resource]. Available at: https://sudact.ru/law/postanovlenie-glavnogo-gosudarstvennogo-sanitarnogo-vracha-rf-ot_1377/sanpin-3.3686-21/?ysclid=mkmbuq3d85591386968 (accessed 20.01.2026). (In Russian).
13. Resolution of the Government of the Russian Federation of January 25, 2022 No 46 “On licensing activities in the field of using pathogens of infectious diseases of humans and animals (except for the case when the said activity is carried out for medical purposes) and genetically modified organisms of III and IV degrees of potential danger, carried out in closed systems”. Documents of the PRIME feed: GARANT.RU [Electronic resource]. Available at: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/403357492/?ysclid=mkmc8rzhd5937848561> (accessed 20.01.2026). (In Russian).
14. Laboratory biosecurity guidance. World Health Organization, 2024. Available at: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240095113>
15. Resolution of the Government of the Russian Federation of March 3, 2018 No 222 “On approval of the rules for establishing sanitary protection zones and using land plots located within the boundaries of sanitary protection zones” (with amendments and additions). GARANTEE [Electronic resource]. Available at: <https://base.garant.ru/71892700/?ysclid=mkmcprufus393202079> (accessed 20.01.2026). (In Russian).
16. Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories. 6th edition. Revised June 2020. CDC, Canadian Biosafety Standard. Third Edition. 2022. Available at: <https://www.canada.ca/en/public-health/services/canadian-biosafety-standards-guidelines/third-edition.html>
17. FELASA working group on revision of guidelines for health monitoring of rodents and rabbits; Mähler Convenor M, Berard M, Feinstein R, Gallagher A, Illgen-Wilcke B, Pritchett-Corning K, et al. FELASA recommendations for the health monitoring of mouse, rat, hamster, guinea pig and rabbit colonies in breeding and experimental units. Lab Anim. 2014 Jul;48(3):178-192. DOI: 10.1177/0023677213516312
18. GOST R 55634-2013. Services for non-productive animals. General requirements for veterinary facilities (Amendment edition) – docs.cntd.ru [Electronic resource]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200104952> (accessed 19.01.2026). (In Russian).
19. The Great Medical Encyclopedia. Ed. Petrovsky BV. 3rd edition [in 30 volumes]. M.: Sov. Encyclopedia, 1976;4:188-190. (In Russian)
20. Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes. GARANTEE [Electronic resource]. Available at: <https://base.garant.ru/70350564/?ysclid=mkmiyijpn3844077600> (accessed 20.01.2026).
21. Germanchuk VG, Kislitsina EV, Shavina NYu. Technical and design features of laboratories suitable for work involving infected animals. Zdorov’e naseleniya i sreda obitaniya. 2021;29(12):87-92. DOI: 10.35627/2219-5238/2021-29-12-87-92 (In Russian).
22. Germanchuk VG, Morozov KM, Semakova AP, Shavina NYu. Ensuring biological safety in laboratory for work with the infected animals. Zdorov’e naseleniya i sreda obitaniya. 2016;12(285):44-48. (In Russian).
23. GOST 33216-2014 “Guidance on the content and care of laboratory animals. Rules for the keeping and care of laboratory rodents and rabbits” (Reissue) – docs.cntd.ru [Electronic resource]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200127506> (accessed 19.01.2026). (In Russian).
24. Kislitsina EV, Germanchuk VG, Gordeeva MV, Malyukova TA, Sazanova EV. The main aspects of infecting laboratory animals with pathogenic biological agents of groups i-ii in accordance with the requirements of biological safety. Problems of Particularly Dangerous Infections. 2025;(3):49-56. DOI: 10.21055/0370-1069-2025-3-49-56 (In Russian).
25. Methodological Recommendations MP 1.3.0383-25 on the use of microbiological safety cabinets and other protective devices for working with and keeping animals infected with biohazard agents of I-IV risk groups (approved by the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Well-being on July 21, 2025). GARANT [Electronic resource]. Available at: <https://base.garant.ru/412408692/?ysclid=mkmfajh6b460571113> (accessed 20.01.2026). (In Russian).
26. Shishkina OB, Tyurin EA. Comprehensive use of ventilation systems, air conditioning and biological safety cabinets to ensure sanitary and hygienic conditions in microbiological laboratories. Current Problems of General and Military Hygiene: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference. St. Petersburg, 2011;106-107. (In Russian).

27. Trashchenko D, Kovaleva M. Individual cells ventilated extra investments or optimal protection of personnel and laboratory animals? *International Journal of Veterinary Medicine*. 2014;1:100-103. (In Russian).
28. Pchelintseva MV, Kostykova TA, Lyapin MN, Semakova AP, Sharov IN. Evaluation of the possibility of using personal protective equipment when working with infectious disease agents. In: *Ensuring epidemiological well-being: challenges and solutions. Proceedings of the XI Congress of the All-Russian Scientific and Practical Society of Epidemiologists, Microbiologists and Parasitologists*. 2017;487-488. (In Russian).
29. Tyurin EA, Blagodatskikh SA, Kvochko PS. Assessment of the state of professional training to reduce biological risks in staff of veterinary testing laboratories. *Bacteriology*. 2023;8(2):79-82. DOI: 10.20953/2500-1027-2023-2-79-82 (In Russian).
30. GOST R 55234.4-2014 Practical aspects of risk management. Personnel requirements for reducing biorisk – docs.cntd.ru [Electronic resource]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200114208> (accessed 19.01.2026). (In Russian).
31. Kojima K, Bennett A, Blacksell S, Heisz M, Makison Booth C, McKinney M, et al. *Laboratory Biosafety Manual*. 4th ed. Geneva: World Health Organization; 2020;124. DOI: 10.48350/150305

Информация о соавторах:

Германчук Валерий Геннадьевич, доктор медицинских наук, доцент, заведующий отделом экспериментальных животных с виварием ФКУН «Российский научно-исследовательский противочумный институт «Микроб» Роспотребнадзора
ORCID: 0000-0002-8986-3640

Гордеева Марина Вячеславовна, кандидат медицинских наук, заведующая отделом биологической безопасности ФКУН «Российский научно-исследовательский противочумный институт «Микроб» Роспотребнадзора
ORCID: 0000-0003-3726-810X

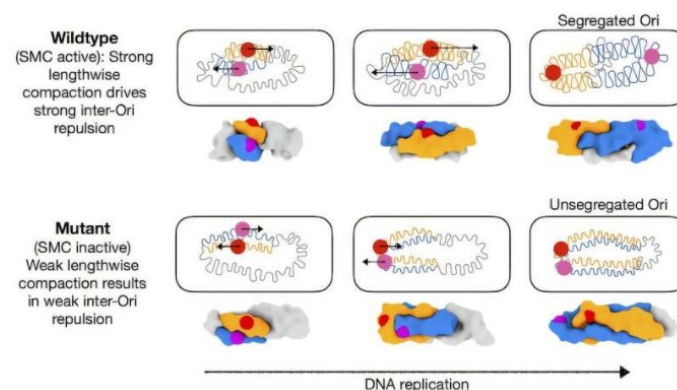
Information about co-authors:

Valery G. Germanchuk, MD, PhD, DSc, Associate Professor, Head of the Department of Experimental Animals with Vivarium, Russian Scientific Research Anti-Plague Institute "Microbe" of Rospotrebnadzor
ORCID: 0000-0002-8986-3640

Marina V. Gordeeva, PhD, MD, Head of the Department of Biological Safety at the Federal State Budgetary Institution Russian Scientific Research Anti-Plague Institute "Microbe" of Rospotrebnadzor
ORCID: 0000-0003-3726-810X

НОВОСТИ НАУКИ**Репликация бактериальной ДНК основана на использовании складок, напоминающих гармошку, для разделения фрагментов ДНК**

Для точной сегрегации хромосом во время бактериальной репликации необходима глобальная реорганизация нуклеоида, где решающую роль играют комплексы структурного поддержания хромосом (SMC). В данной работе мы разрабатываем модель энергетического ландшафта, которая интегрирует основанные на данных парные взаимодействия с крупномасштабной физикой полимеров для определения трехмерных архитектурных ансамблей хромосом *Escherichia coli* и *Bacillus subtilis* на протяжении всей репликации. Мы показываем, что опосредованная SMC дальняя продольная компактизация изменяет форму нуклеоида, вызывая устойчивый переход в середине репликации, при котором концевая часть перемещается к центру нуклеоида, а дублированные точки начала репликации разделяются на противоположные половины клетки. У мутантов с дефицитом SMC этот переход отсутствует, и вместо этого наблюдается возникающее нематическое выравнивание сестринских хромосом, которое препятствует сегрегации. Возникновение нематического выравнивания сопровождается характерной межсестринской Hi-C сигнатурой. Путем систематической настройки неспецифической межсестринской адгезии мы показываем, что активность SMC расширяет физический режим, позволяющий осуществлять точное разделение хромосом. Эта буферизация защищает разделение от адгезивных сил, присущих переполненному бактериальному нуклеоиду. Данная модель обеспечивает механистическое понимание SMC-зависимого разделения хромосом при корепликации у разных видов бактерий, что позволяет получить экспериментально проверяемые предсказания для визуализации и Hi-C с разрешением по сестринским хромосомам.



Brahmachari S, Oliveira AB Jr, Mello MF, Contessoto VG, Onuchic JN. Exploring the energy landscape of bacterial chromosome segregation.

Proc Natl Acad Sci U S A. 2026 Mar 24;123(12):e2535321123. DOI: 10.1073/pnas.2535321123