

ISSN 2782-3806

ISSN 2782-3814 (Online)

УДК 615.371 + 578.834.1

<https://doi.org/10.18705/2782-3806-2026-6-4-274-281>

Бактериофаги: перспективы в персонализированной терапии заболеваний, вызванных бактериальными агентами

В. В. Власов, В. В. Морозова, И. К. Байков, Н. В. Тикунова

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт химической биологии и фундаментальной медицины имени Д. Г. Кнорре Сибирского отделения Российской академии наук», Новосибирск, Россия

Контактная информация:

Тикунова Нина Викторовна,
ИХБФМ СО РАН,

пр. Академика Лаврентьева, д. 8, Новосибирск, Россия, 630090.

E-mail: tikunova@1bio.ru

РЕЗЮМЕ

Введение. В последние годы большое внимание уделяется разработке противобактериальных средств на основе вирусов бактерий – бактериофагов. Эффективность таких препаратов продемонстрирована при лечении широкого спектра заболеваний, вызванных бактериальными патогенами. Однако широкому внедрению фаготерапии препятствует ряд объективных ограничений. **Цель.** Описать основные направления исследований в области создания терапевтических фаговых препаратов и проблемы их внедрения в практическую медицину. **Материалы и методы.** Настоящий мини-обзор составлен на основе экспериментальных статей за 2016–2026 гг. и научных обзоров за 2020–2026 гг., представленных в базах Web of Science, PubMed, Scopus, eLibrary, по ключевым словам: phage therapy, bacteriophage/phage и др. **Результаты.** В настоящее время в качестве терапевтических препаратов применяют как фаговые «коктейли» фиксированного состава, так и персонализированно подобранные фаги и их коктейли. В ряде стран появились новые центры фаготерапии в дополнение к центрам в Грузии и Польше. В Российской Федерации НПО «Микроген» уже несколько десятилетий промышленно производит более десятка лекарственных средств на основе бактериофагов; в ряде организаций занимаются разработкой новых препаратов. Однако, несмотря на высокий потенциал фаготерапии, необходимо преодоление ряда проблем. Требуется разработать нормативы для получения малых партий различных фаговых препаратов, подобранных персонализированно для конкретного пациента. Нужен новый подход для патентования и регистрации препаратов. За рубежом разработан механизм, позволяющий использовать для терапии фаги в качестве аптечных магистральных препаратов. **Заключение.** Фаготерапия является перспективным направлением персонализированной медицины. Однако ее эффективность зависит от точного подбора бактериофага к конкретному возбудителю. Развитие методов создания синтетических фагов с заданными свойствами и бесклеточных технологий может расширить возможности фаготерапии. Для внедрения этой технологии в клиническую практику

необходимо дальнейшее накопление клинических данных, разработка нормативных документов и регуляторное сопровождение в ходе клинического применения.

Ключевые слова: бактериофаг, антибиотикорезистентность, инфекция, фаготерапия, персонализированная медицина

Для цитирования: Власов В. В., Морозова В. В., Байков И. К., Тикунова Н. В. Бактериофаги: перспективы в персонализированной терапии заболеваний, вызванных бактериальными агентами. *Российский журнал персонализированной медицины*. 2026;6(4):274–281. <https://doi.org/10.18705/2782-3806-2026-6-4-274-281>; <https://elibrary.ru/vmgzql>

Bacteriophages: perspectives in the personalised therapy of the diseases caused by bacterial agents

Valentin V. Vlasov, Vera V. Morozova, Ivan K. Baykov, Nina V. Tikunova

Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Chemical Biology and Fundamental Medicine named after D. G. Knorre, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Corresponding author:

Nina V. Tikunova,
ICBFM SB RAS,
8 Akademika Lavrentyeva ave., Novosibirsk, Russia, 630090.
E-mail: tikunova@1bio.ru

ABSTRACT

Introduction. In recent years, much attention has been paid to the development of antibacterial agents based on viruses of bacteria – bacteriophages. The effectiveness of such preparations was demonstrated in the treatment of a wide range of diseases caused by bacterial pathogens. However, the wide introduction of phage therapy is hindered by a number of objective limitations. **Objective.** To describe the main study directions in the field of therapeutic phage preparations and the problems of their implementation in practical medicine. **Materials and methods.** This mini-review is based on experimental studies published in 2016–2026 and scientific reviews for 2020–2026 presented in the Web of Science, PubMed, Scopus, E-Library databases based on the keywords “phage therapy”, “bacteriophage/phage”, etc. **Results.** Currently, both phage “cocktails” of fixed composition and personalized phages and their cocktails are used as therapeutic preparations. New phage therapy centers have been established in several countries in addition to the centers in Georgia and Poland. In the Russian Federation, NPO Microgen has been industrially producing more than a dozen phage-based medicines for several decades; a number of organizations are developing new phage preparations. However despite the high potential of phage therapy, it is necessary to overcome a number of problems. It is necessary to develop new regulations for obtaining small batches of various phage preparations that are personalized for a particular patient. A new approach is required for the patenting and registration of such medicines. Such mechanism has been developed abroad that makes it possible to use phages as pharmaceutical “backbone” drugs for therapy. **Conclusion.** Phage therapy is a promising area of personalized medicine. However, its effectiveness depends

on the exact selection of the bacteriophage to a specific pathogen. The development of methods for creating synthetic phages with specified properties and cell-free technologies can expand the possibilities of phage therapy. Further accumulation of clinical data, development of regulatory documents and regulatory support during clinical application are necessary for the introduction of this technology into clinical practice.

Keywords: bacteriophage, antibiotic resistance, phage therapy, infection, personalized medicine

For citation: Vlasov VV, Morozova VV, Baykov IK, Tikunova NV. Bacteriophages: perspectives in the personalised therapy of the diseases caused by bacterial agents. *Russian Journal for Personalized Medicine*. 2026;6(4):274–281. <https://doi.org/10.18705/2782-3806-2026-6-4-274-281>; <https://elibrary.ru/vmgzql>

ВВЕДЕНИЕ

Одной из проблем современной медицины является рост доли полирезистентных штаммов среди патогенных микроорганизмов [1]. В качестве одного из перспективных подходов для решения этой проблемы рассматривается лечение с помощью бактериофагов – естественных врагов бактерий.

Бактериофаги (фаги) как противобактериальные агенты обладают целым рядом достоинств. Они безопасны даже для пациентов с ослабленным иммунитетом, их введение не вызывает серьезных побочных эффектов, и, в отличие от антибиотиков, они поражают конкретные виды и штаммы бактерий, не нарушая нормальную микрофлору. Фаговые препараты можно применять совместно с антибиотиками, поскольку механизмы их антибактериального действия различны. После элиминации патогенной бактерии фаги, не найдя подходящего хозяина, перестают размножаться и выводятся из организма. Учитывая, что в кишечнике человека, на коже и слизистых в норме существует множество фагов, способы взаимодействия с ними организма и, в частности, их выведение, отработаны в ходе длительной совместной эволюции. Благодаря таким свойствам, бактериофаги являются перспективными агентами прецизионной медицины, точно действующими на причину заболевания [2–6].

Однако несмотря на высокий потенциал фаготерапии, ее широкое внедрение имеет объективные ограничения. Так, эффективность лечения достигается только при использовании фагов, специфичных для конкретного бактериального штамма, вызвавшего заболевание у пациента, поэтому предпочтительнее их применение в режиме персонализированной терапии. Для подбора специфического фага требуется наличие

обширной коллекции и дополнительное время для подготовки препарата. Кроме того, у патогенных бактерий может быстро развиваться фагорезистентность. Это требует применения двух-трех разных фагов, вызывающих гибель целевого инфекционного агента, что снижает вероятность появления фагорезистентности в сотни тысяч раз. Еще одна проблема – наличие регуляторных ограничений фаготерапии.

Успехам и проблемам развития фаготерапии посвящен ряд недавних зарубежных обзоров [2–11]. Цель настоящего исследования – проанализировать современные тенденции в области создания терапевтических фаговых препаратов, а также проблемы их внедрения в клиническую практику с учетом реальной ситуации в Российской Федерации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Настоящий мини-обзор составлен на основе экспериментальных статей за 2016–2026 гг. и научных обзоров за 2020–2026 гг., представленных в базах Web of Science, PubMed, Scopus, eLibrary, по ключевым словам “phage therapy”, “bacteriophage/phage”, “antibiotic resistance”, “personalized medicine” и их аналогам на русском языке. Из рассмотрения исключали нерелевантную литературу и публикации, содержащие очевидные повторы и составленные с явными признаками использования искусственного интеллекта.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Препараты бактериофагов

Исследования бактериофагов, как терапевтических агентов, в настоящее время интенсивно ведутся во многих странах, тысячи этих вирусов собраны

в коллекциях исследовательских организаций и фармацевтических компаний [10, 11]. Эти структуры по запросу медицинских организаций, занимающихся фаготерапией, предоставляют фаги для терапевтических целей, а также ведут поиск нужного фага, который требуется для лечения конкретного больного, но отсутствует в коллекциях [11].

В качестве терапевтических препаратов применяют как отдельные фаги, так и «коктейли», которые содержат смесь различных фагов, действующих на разные виды бактерий, для лечения смешанных инфекций. Используют два типа фаговых препаратов. Первый тип – это коктейли фиксированного состава, которые удобны для промышленного производства и с точки зрения доступности готового препарата. Современный опыт фаготерапии показал, что такие стандартные коктейли зачастую неэффективны из-за большого разнообразия штаммов патогенных бактерий, циркулирующих в разных регионах. В готовых коктейлях может не оказаться нужных фагов или они будут присутствовать в низком, неэффективном титре. Именно поэтому в зарубежных центрах фаготерапии все чаще используют другой тип препаратов – персонализированно подобранные фаги и их коктейли [12].

Поскольку геномы бактериофагов невелики, их относительно легко модифицировать и даже полностью синтезировать геномы с заданными свойствами [13, 14]. Удаётся получать фаги, обладающие расширенным спектром специфичности против патогенных штаммов, а также способные преодолевать защитные системы бактерий и доставлять в них конструкции, усиливающие поражающее действие на бактерии [15–19]. Фаги с улучшенным геномом, из которого были удалены нежелательные генетические элементы, ответственные за лизогению, нашли практическое применение для лечения заболеваний, вызванных микобактериями [20].

Методы получения синтетических фагов с заданными свойствами быстро развиваются. Применение бесклеточных систем позволило получать фаги без использования патогенных микроорганизмов, с выходами на 2–3 порядка выше по сравнению с традиционными методами получения [21]. Разрабатываются подходы, основанные на применении генеративных моделей искусственного интеллекта и позволяющие создавать новые геномы фагов с заданными свойствами [22].

Применение бактериофагов в практической медицине

В последние годы в развитых странах появился ряд компаний, разрабатывающих препараты бактериофагов, и эти препараты все шире применяются в клинике, особенно для лечения больных с инфицированными ранами и бактериальной пневмонией

[2, 8, 9, 23–26]. Однако на сегодня возможности применения фаготерапии в обычных медицинских учреждениях ограничены. В большинстве стран фаготерапия применяется как экспериментальный метод лечения и в режиме «сострадательного лечения» в соответствии с Хельсинкской декларацией (статья 37, Unproven Interventions in Clinical Practice of the Declaration of Helsinki, www.wma.net), допускающей применение недоказанных методов терапии для пациентов, которым не помогают официально одобренные препараты и методы лечения [27]. Лечение обычно осуществляется в центрах фаготерапии, в состав которых входят исследовательские организации и медицинские учреждения. Наиболее известны такие центры, созданные в США, Германии, Бельгии, Грузии, Австралии, Израиле и Китае.

Более длительный опыт фаготерапии для лиц с различными заболеваниями имеется в Грузии, в Центре фаготерапии (<http://medigroup.ge>), в котором данный вид лечения применяется как стандартный со времен СССР. В этом центре, а также в Польше, в Ludwik Hirszfeld Institute of Immunology and Experimental Therapy, для персонализированного лечения принимают пациентов из разных стран.

За последние 7 лет количество клинических исследований, зарегистрированных в ClinicalTrials.gov (США), возросло в четыре раза. Описаны различные способы клинического применения бактериофагов, в том числе их аэрозольное введение при лечении легочных инфекций; все чаще используется внутривенное применение препаратов, которое наиболее эффективно при лечении системных инфекций и инфекций, связанных с ранениями и имплантированными протезами [23–26]. Исследования показали, что бактериофаги, в условиях персонализированной терапии, позволяют излечивать пациентов, пораженных патогенами, устойчивыми к любым современным антибиотикам [23, 24]. Не подтвердилось опасения относительно возможности быстрой инактивации фагов иммунной системой человека, так как даже после длительного применения фагов уровни антифаговых антител в крови пациентов были низкими и они не влияли заметно на эффективность терапии [28].

Фаготерапия в Российской Федерации

В России в настоящее время несколько организаций создали коллекции бактериофагов и разрабатывают на их основе лекарственные препараты. В ФГБУ «Московский научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии им. Г. Н. Габричевского» Роспотребнадзора разработаны протоколы персонализированного подбора бактериофагов с учетом иммунного статуса пациентов, а также технологии

применения бактериофагов для лечения пневмонии, вызванной бактериальной инфекцией [29].

Консорциум, в состав которого входят ФГБУН «Институт химической биологии и фундаментальной медицины им. Д. Г. Кнорре Сибирского отделения Российской академии наук», компания «Микровир-Н» и Центр новых медицинских технологий, разрабатывает схемы терапии бактериофагами гнойных ран, перипротезных инфекций и язв диабетической стопы [23, 26, 30, 31]. В институте развиваются технологии получения фагов с повышенной литической активностью и расширенной специфичностью с помощью методов синтетической биологии [16, 17].

Компания НПЦ «Микромир» совместно с сотрудниками Федерального научно-клинического центра физико-химической медицины им. ак. Ю. М. Лопухина ФМБА России разработала коктейль бактериофагов, обладающий специфичностью к основным патогенам, которые обнаруживаются в легких при развитии вентилятор-ассоциированной пневмонии [32]. Также компания производит линейку многокомпонентных фаговых коктейлей.

Уникальной компанией является Научно-производственное объединение «Микроген» (<https://www.microgen.ru>), которое несколько десятилетий промышленно производит более десятка лекарственных препаратов на основе бактериофагов для лечения бактериальных инфекций. Препараты, выпускаемые компанией, одобрены для перорального и местного применения [33]. Их эффективность подтверждена в клинических исследованиях при лечении перипротезной инфекции [23, 26], а также в работе сотрудников ФГБУ «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова» Минздрава России по купированию вспышек инфекций в отделениях реанимации новорожденных [34, 35].

Проблемы развития фаготерапии

Несмотря на хорошие результаты лечения пациентов препаратами бактериофагов, их масштабное производство в большинстве стран в настоящее время не организовано, и они не являются официально одобренными терапевтическими препаратами [4]. Такая ситуация связана с целым рядом объективных причин. Главной проблемой для компаний является то, что фаготерапия более эффективна при персонализированном подходе к лечению пациента. Таким образом, в плане производства речь идет не о масштабной наработке стандартных продуктов, а о получении малых партий препаратов разного состава. Также сдерживающим фактором для компаний является невозможность патентования природных объектов – бактериофагов. Очевидно, эта проблема будет решена при создании синтетических фагов.

Еще одна проблема связана с регистрацией препаратов на основе бактериофагов. В отличие от традиционных химиопрепаратов, бактериофаги размножаются в организме пациента, когда встречаются целевой инфекционный агент, и при этом происходит их эволюционное изменение для преодоления возникающей фагорезистентности патогена. Таким образом, это не просто вещества фиксированного состава, и к ним неприменимы принципы, использующиеся при регистрации обычных фармацевтических препаратов. Очевидно, для бактериофагов необходимо разработать особые регуляторные механизмы.

В настоящее время лишь в Грузии, сохранившей советский опыт, отсутствуют барьеры в применении фаготерапии [36, 37]. В этой стране персонализированные препараты, том числе на основе фагов, найденных в окружающей среде для конкретных пациентов, могут изготавливаться в аккредитованных аптеках, получивших лицензии от Министерства здравоохранения Грузии.

В странах Западной Европы в последние годы разрабатываются регуляторные механизмы, позволяющие использовать бактериофаги для терапевтического применения как аптечные магистральные препараты [38, 39]. Магистральные препараты могут составлять фармацевты по рецепту лечащих врачей для конкретных пациентов из фагов, подготовленных по утвержденным стандартам в лабораториях, аккредитованных в Бельгийских регулирующих органах и получивших соответствующий сертификат.

Горизонты фаготерапии

В будущем разработка экспресс-методов подбора бактериофагов и технологий быстрого производства фагов с нужными свойствами позволит радикально трансформировать подход к лечению пациентов с бактериальными инфекциями. Важные вызовы сегодняшнего дня – создание технологий получения фагов с заданными свойствами методами синтетической биологии, а также технологий их производства в бесклеточных системах, исключающих использование инфекционных агентов. Еще одним аспектом является возвращение к практике профилактического применения фаговых препаратов для предотвращения развития возможных инфекций, например, послеоперационных или раневых.

Результаты ряда исследований указывают на то, что бактериофаги могут найти применение и для нормализации микробиоты человека. Кишечная микробиота играет важную роль в развитии целого ряда патологических состояний: ожирения, диабета, онкологических и нейродегенеративных заболеваний, и фаги могут использоваться для модуляции состава микробиоты в терапевтических целях [40].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, обзор современной научной литературы подтвердил, что фаготерапия является перспективным направлением персонализированной медицины благодаря природным особенностям бактериофагов. Однако ее широкому внедрению препятствуют объективные ограничения. Ряд ограничений возможно преодолеть, используя современные подходы: для обеспечения эффективности фаготерапии требуется их персонализированный подбор; для предотвращения развития фагорезистентности следует использовать не менее двух фагов против одного инфекционного агента. Развитие методов создания синтетических фагов с заданными свойствами и бесклеточных технологий может расширить возможности фаготерапии. Однако для внедрения этой технологии в клиническую практику необходимо дальнейшее накопление клинических данных, разработка нормативных документов и регуляторное сопровождение в ходе клинического применения.

Конфликт интересов / Conflict of interest

Авторы заявили об отсутствии потенциального конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.

Финансирование / Funding

Работа поддержана в рамках проекта РНФ № 25-64-00030 и государственного задания ИХБФМ СО РАН № 125012300671-8. / This study was supported by the RSF grant No. 25-64-00030 and Russian state-funded project for ICBFM SB RAS No. 125012300671-8.

Соответствие нормам этики / Compliance with ethical principles

Авторы заявляют об отсутствии использования генеративного искусственного интеллекта. / The authors declare no use of Generative AI in the preparation of this manuscript.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

- Murray C, Ikuta K, Sharara F, et al. Global burden of bacterial antimicrobial resistance in 2019: a systematic analysis. *Lancet*. 2022;399:629–655. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)02724-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)02724-0)
- Pirnay JP, Djebara S, Steurs G, et al. Personalized bacteriophage therapy outcomes for 100 consecutive cases: a multicentre, multinational, retrospective observational study. *Nat Microbiol*. 2024;9:1434–1453. <https://doi.org/10.1038/s41564-024-01705-x>
- Liu D, Van Bellegheem JD, de Vries CR, et al. The safety and toxicity of phage therapy: a review of animal and clinical studies. *Viruses*. 2021;13:1268. <https://doi.org/10.3390/v13071268>
- Власов В. В., Тикунова Н. В., Морозова В. В. Бактериофаги как терапевтические препараты: что сдерживает их применение в медицине. *Биохимия*. 2020;85:1587–1600. <https://doi.org/10.31857/S0320972520110068>
- Vlasov VV, Tikunova NV, Morozova VV. Bacteriophages as therapeutic preparations: what restricts their application in medicine. *Biochemistry (Moscow)*. 2020;85:1350–1361. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0320972520110068>
- Diallo K, Dublanchet A. A century of clinical use of phages: a literature review. *Antibiotics*. 2023;12:751. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12040751>
- Strathdee SA, Hatfull GF, Mutalik VK, et al. Phage therapy: from biological mechanisms to future directions. *Cell*. 2023;186:17–31. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2022.11.017>
- Petrovic FA, Iredell J, Danis-Wlodarczyk K. Translating Phage therapy into the clinic: recent accomplishments but continuing challenges. *PLoS Biol*. 2023;21:e3002119. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3002119>
- Hatfull GF, Dedrick RM, Schooley RT. Phage Therapy for antibiotic-resistant bacterial infections. *Ann Rev Med*. 2022;73:197–211. <https://doi.org/10.1146/annurev-med-080219-122208>
- Hitchcock NM, Nunes DDG, Shlach J, et al. Current clinical landscape and global potential of bacteriophage therapy. *Viruses*. 2023;15:1020. <https://doi.org/10.3390/v15041020>
- Nagel T, Musila L, Muthoni M. Phage banks as potential tools to rapidly and cost-effectively manage antimicrobial resistance in the developing world. *Curr Opin Virol*. 2022;53:101208. <https://doi.org/10.1016/j.coviro.2022.101208>
- Humolli D, Piel D, Maffei E, et al. Completing the BA-SEL phage collection to unlock hidden diversity for systematic exploration of phage-host interactions. *PLoS Biol*. 2025;23:e3003063. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3003063>
- Schooley RT, Biswas B, Gill J, et al. Development and use of personalized bacteriophage-based therapeutic cocktails to treat a patient with a disseminated resistant *Acinetobacter baumannii* infection. *Antimicrob Agents Chemother*. 2017;61:e00954–17. <https://doi.org/10.1128/AAC.00954-17>
- Łobocka M, Dąbrowska K, Górski A. Engineered bacteriophage therapeutics: rationale, challenges and future. *BioDrugs*. 2021;35:255–280. <https://doi.org/10.1007/s40259-021-00480-z>
- Peng H, Chen IA, Qimron U. Engineering phages to fight multidrug-resistant bacteria. *Chem Rev*. 2025;125(2):933–971. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.4c00681>
- Baykov I, Kurchenko O, Mikhaylova E, et al. Replacement of the genomic scaffold improves the replication efficiency of synthetic *Klebsiella* phages. *Int J Mol Sci*. 2025;26:6824. <https://doi.org/10.3390/ijms26146824>
- Baykov I, Mikhaylova E, Miroshnikova A, et al. The N-terminal domain of tailspike depolymerases affects the replication efficiency of synthetic *Klebsiella* phages. *Int J Mol Sci*. 2025;26:11297. <https://doi.org/10.3390/ijms262311297>
- Lenneman B, Fernbach J, Loessner M. Enhancing phage therapy through synthetic biology and genome engineering. *Curr Opin Biotechnol*. 2021;68:151–159. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2020.11.003>

18. Gencay YE, Jasinskytė D, Robert C, et al. Engineered phage with antibacterial CRISPR–Cas selectively reduce *E. coli* burden in mice. *Nat Biotechnol.* 2024;42:265–274. <https://doi.org/10.1038/s41587-023-01759-y>
19. Sikkemaa AP, Kortright KE, Selvakumar H, et al. A fully synthetic Golden Gate assembly system for engineering a *Pseudomonas aeruginosa* phiKMV-like phage. *Proc Natl Acad Sci USA.* 2026;123(4):e2525963123. <https://doi.org/10.1073/pnas.2525963123>
20. Dedrick RM, Guerrero-Bustamante CA, Garlena RA, et al. Engineered bacteriophages for treatment of a patient with a disseminated drug-resistant *Mycobacterium abscessus*. *Nat Med.* 2019;25:730–733. <https://doi.org/10.1038/s41591-019-0437-z>
21. Emslander E, Voge K, Braun P, et al. Cell-free production of personalized therapeutic phages targeting multidrug-resistant bacteria. *Cell Chem Biol.* 2022;29:1434–1445. <https://doi.org/10.1016/j.chembiol.2022.06.003>
22. King SH, Driscoll CL, Li DB et al. Generative design of novel bacteriophages with genome language models. *bioRxiv.* 2025.09.12.675911
23. Fedorov E, Samokhin A, Kozlova Y, et al. Short-term outcomes of phage-antibiotic combination treatment in adult patients with periprosthetic hip joint infection. *Viruses.* 2023;15:499. <https://doi.org/10.3390/v15020499>
24. Aslam S, Lampley E, Wooten D, et al. Lessons learned from the first 10 consecutive cases of intravenous bacteriophage therapy to treat multidrug-resistant bacterial infections at a single center in the United States. *Open Forum Infect Dis.* 2020;7:ofaa389. <https://doi.org/10.1093/ofid/ofaa389>
25. Mitropoulou G, Koutsokera A, Csajka C, et al. Phage therapy for pulmonary infections: lessons from clinical experiences and key considerations. *Eur Respir Rev.* 2022;31(166):220121. <https://doi.org/10.1183/16000617.0121-2022>
26. Самохин А. Г., Федоров Е. А., Тикунова Н. В. и др. Применение литических бактериофагов при хирургическом лечении парапротезной инфекции эндопротеза тазобедренного сустава (пилотное исследование). *Современные проблемы науки и образования.* 2016;6:209. <https://doi.org/10.17513/spno.25851>
- Samokhin AG, Fedorov EA, Tikunova NV, et al. Application of the lytic bacteriophages during surgical treatment of the periprosthetic infection of the hip joint endoprosthesis (pilot study). *Modern Problems of Science and Education.* 2016;6:209. (In Russ.) <https://doi.org/10.17513/spno.25851>
27. U.S. Food and Drug Administration. Emergency investigational new drug (EIND) applications for antiviral products. <https://www.fda.gov/drugs/investigational-new-drug-ind-application/emergency-investigational-new-drug-eind-applications-antiviral-products> (2020).
28. Lusiak-Szelachowska M, Weber-Dabrowska B, et al. Humoral immune response to phage-based therapeutics. In: Górski A, Międzybrodzki R, Borysowski J, eds. *Phage therapy: a practical approach.* Springer international publishing: Cham, Switzerland, 2019. P. 123–146.
29. Алешкин А. В., Селькова Е. П., Ершова О. Н. и др. Концепция персонализированной фаготерапии пациентов отделения реанимации и интенсивной терапии, страдающих инфекциями, связанными с оказанием медицинской помощи. *Фундаментальная и клиническая медицина.* 2018;3:66–74. <https://doi.org/10.23946/2500-0764-2018-3-2-66-74>
- Aleshkin AV, Sel'kova EP, Ershova ON, et al. Concept of personalized phage therapy for intensive care unit patients with healthcare-associated infections. *Fundamental and Clinical Medicine.* 2018;3:66–74. (In Russ.) <https://doi.org/10.23946/2500-0764-2018-3-2-66-74>
30. Morozova V, Kozlova Y, Ganichev D, et al. Bacteriophage Treatment of Infected Diabetic Foot Ulcers. In: Azeredo J, Sillankorva S, editors. *Bacteriophage therapy: from lab to clinical practice.* Methods in molecular biology. New York: Humana Press; 2018. P. 151–158.
31. Cater K, Miedzybrodzki R, Morozova V, et al. Potential for phages in the treatment of bacterial sexually transmitted infections. *Antibiotics.* 2021;10:1030. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10091030>
32. Gorodnichev R, Shitikov E, Gurkova M, et al. Hospital-adapted inhaled phage therapy for ventilator-associated pneumonia caused by multidrug-resistant *Klebsiella pneumoniae*: a comparative pilot study. *Critical Care.* 2026;30:64. <https://doi.org/10.1186/s13054-026-05839-8>
33. Давыдов Д. С., Парфенюк Р. Л., Дурманова З. В. и др. Особенности государственной регистрации и обеспечения качества лекарственных препаратов бактериофагов в Российской Федерации. *БИОпрепараты. Профилактика, диагностика, лечение.* 2023;3:1–13. <https://doi.org/10.30895/2221-996X-2023-431>
- Davydov DS, Parfenyuk RL, Durmanova ZV, et al. Characteristic aspects of marketing authorisation and quality assurance of bacteriophage medicinal products in the Russian Federation. *Biological products. Prevention, diagnosis, treatment.* 2023;3:1–13. (In Russ.) <https://doi.org/10.30895/2221-996X-2023-431>
34. Асланов Б. И., Долгий А. А. Бактериофаги в лечении инфекционных осложнений в гематологии в условиях глобальной антибиотикорезистентности. *Вестник гематологии.* 2022;18:35–39.
- Aslanov BI, Dolgyi AA. Bacteriophages in the treatment of infectious complications in hematology in conditions of global antibiotic resistance. *Bulletin of Hematology.* 2022;18:35–39. (In Russ.)
35. Асланов Б. И., Любимова А. В., Зуева Л. П. Бактериофаги как эффективные противоэпидемические средства для купирования вспышек внутрибольничных инфекций. *Журнал инфектологии.* 2019;11:65–70. <https://doi.org/10.22625/2072-6732-2019-11-1-65-70>
- Aslanov BI, Lubimova AV, Zueva LP. Bacteriophages as effective antiepidemic agents for control of hospital-acquired infection outbreaks. *Journal Infectology.* 2019;11:65–70. (In Russ.) <https://doi.org/10.22625/2072-6732-2019-11-1-65-70>
36. Chanishvili N. Bacteriophages as therapeutic and prophylactic means: summary of the soviet and post-soviet

experiences. *Curr Drug Deliv.* 2016;13:309–323. <https://doi.org/10.2174/156720181303160520193946>

37. Morozova VV, Vlassov VV, Tikunova NV. Applications of bacteriophages in the treatment of localized infections in humans. *Frontiers in Microbiology.* 2018;9:1696. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01696>

38. Fauconnier A. Phage therapy regulation: from night to dawn. *Viruses.* 2019;11:352. <https://doi.org/10.3390/v11040352>

39. Verbeke G, Pirnay JP. European regulatory aspects of phage therapy: magistral phage preparations. *Curr Opin Virol.* 2022;52:24–29. <https://doi.org/10.1016/j.coviro.2021.11.005>

40. Federici S, Kredo-Russo S, Valdes-Mas R, et al. Targeted suppression of human IBD-associated gut microbiota commensals by phage consortia for treatment of intestinal inflammation. *Cell.* 2022;185:2879–2898. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2022.07.003>

Информация об авторах:

Власов Валентин Викторович – д-р хим. наук, проф., академик РАН, научный руководитель ИХБФМ СО РАН, Новосибирск, Россия, vlassov@mail.ru, ORCID 0000-0003-2845-2992;

Морозова Вера Витальевна – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. ИХБФМ СО РАН, Новосибирск, Россия, morozova@lbio.ru, ORCID 0000-0002-0869-3476;

Байков Иван Константинович – канд. хим. наук, ст. науч. сотр. ИХБФМ СО РАН, Новосибирск, Россия, ivan_baykov@mail.ru, ORCID 0000-0003-4839-5673;

Тикунова Нина Викторовна – д-р биол. наук, заведующая лабораторией молекулярной микробиологии ИХБФМ СО РАН, Новосибирск, Россия, tikunova@lbio.ru, ORCID 0000-0002-1687-8278.

Вклад авторов:

Власов В. В. – концептуализация, научное руководство, подготовка первоначального варианта рукописи и редактирование; Морозова В. В. – подготовка первоначального

варианта рукописи и редактирование; Байков И. К. – подготовка первоначального варианта рукописи, подготовка графического резюме и редактирование; Тикунова Н. В. – подготовка первоначального варианта рукописи, редактирование, привлечение финансирования.

Authors information:

Valentin V. Vlasov, DSc in Chemical Sciences, Professor, Academician of Russian academy of sciences, Scientific supervisor at the ICBFM SB RAS, Novosibirsk, Russia, vlassov@mail.ru, ORCID 0000-0003-2845-2992;

Vera V. Morozova, PhD, Senior Researcher at the ICBFM SB RAS, Novosibirsk, Russia, morozova@lbio.ru, ORCID 0000-0002-0869-3476;

Ivan K. Baykov, PhD, Senior Researcher at the ICBFM SB RAS, Novosibirsk, Russia, ivan_baykov@mail.ru, ORCID 0000-0003-4839-5673;

Nina V. Tikunova, DSc in Biological Sciences, Head of the Laboratory of Molecular Microbiology, tikunova@lbio.ru, ICBFM SB RAS, Novosibirsk, Russia, ORCID 0000-0002-1687-8278.

Contribution of the authors:

Vlasov V. V. – conceptualization, scientific supervision, preparation of the initial manuscript version, and editing; Morozova V. V. – preparation of the initial manuscript version and editing; Baikov I. K. – preparation of the initial manuscript version, preparation of the graphical summary, and editing; Tikunova N. V. – preparation of the initial manuscript version, editing, and funding acquisition.

Поступила в редакцию / Received: 29.05.2026

Принята к публикации / Accepted: 21.07.2026