



Разработка раневого покрытия на основе модифицированного пенополиуретана для локализации действия бактериофага в ране

Жукова О. В., Широкова И. Ю., Белянина Н. А.

ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет», Нижний Новгород, Российская Федерация

Аннотация

Актуальность. Проблема антимикробной резистентности является одним из главных вызовов современной медицины. Бактериофаги представляют собой перспективное направление в лечении инфекционных заболеваний, особенно при терапии раневых инфекций. Однако применение бактериофагов в клинической практике сопряжено с рядом технологических проблем, ключевыми из которых являются способы их доставки в очаг инфекции и поддержание их терапевтической концентрации в зоне клинического интереса. Для достижения этой цели перспективным является использование полимерных материалов в качестве носителей бактериофагов. Пенополиуретан является потенциальным материалом для создания раневых покрытий благодаря своей пористой структуре, эластичности и биосовместимости.

Цель. Разработка прототипа раневого покрытия на основе модифицированного пенополиуретана для иммобилизации бактериофагов и обеспечения их контролируемого высвобождения в ране.

Материалы и методы. В работе использовали технический пенополиуретан (ООО «Синтез ОКА», Дзержинск, Нижегородская обл.). Модификацию пластин пенополиуретана проводили методом окислительной полимеризации катехоламиновых производных. Определяли физико-химические свойства путём сравнения поглотительной способности по массе и объёму, пористости, времени поглощения (имбибиции) капли. Для оценки возможности использования материала в качестве платформы для доставки бактериофага в зону клинического интереса и обеспечения равномерности его высвобождения был использован метод диализа по Кривчинскому через полупроницаемую мембрану. Титр бактериофага определяли по методу Аппельмана.

Результаты. Проведена сравнительная оценка физико-химических свойств обычного и модифицированного пенополиуретана, включая пористость, поглотительную способность и гидрофильность. Исследована жизнеспособность иммобилизованных бактериофагов и кинетика их высвобождения методом диализа по Кривчинскому. Результаты показали, что модификация значительно улучшает гидрофильные свойства материала (время впитывания капли снижается с 53 минут до 4,3 секунд) и обеспечивает сохранение литической активности бактериофагов в течение 8 часов. Титрование по методу Аппельмана продемонстрировало, что модифицированный пенополиуретан поддерживает жизнеспособность бактериофагов при разведении до 10^{-5} , в то время как для обычного пенополиуретана этот показатель составил 10^{-3} . Разработанное покрытие может применяться для лечения инфицированных ран, обеспечивая контролируемое высвобождение бактериофагов и поддержание терапевтической концентрации в зоне клинического интереса.

Выводы. Модифицированный пенополиуретан представляет собой перспективную платформу для создания биомиметических раневых покрытий, способных обеспечивать эффективную доставку бактериофагов в очаг инфекции и поддержание их терапевтической концентрации. Разработанный материал может найти применение в лечении инфицированных ран, особенно при инфекциях, вызванных антибиотикорезистентными штаммами стафилококков.

Ключевые слова: пенополиуретан; окислительная полимеризация производных катехоламинов; бактериофаги; раневое покрытие; фаготерапия; модификация полимеров

Для цитирования: Жукова О. В., Широкова И. Ю., Белянина Н. А. Разработка раневого покрытия на основе модифицированного пенополиуретана для локализации действия бактериофага в ране. *Пациентоориентированная медицина и фармация*. 2026;4(2):16-23. <https://doi.org/10.37489/2949-1924-0137>. EDN: ORJDLO.

Поступила: 18.03.2026. **В доработанном виде:** 20.04.2026. **Принята к печати:** 23.05.2026. **Опубликована:** 30.06.2026.

Development of a wound dressing based on modified polyurethane foam to localize bacteriophage action in the wound

Olga V. Zhukova, Irina Yu. Shirokova, Natalia A. Belyanina

Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russian Federation

Abstract

Background. The problem of antimicrobial resistance is one of the main challenges of modern medicine. Bacteriophages represent a promising approach in the treatment of infectious diseases, particularly in the treatment of wound infections. However, the use of bacteriophages in clinical practice is associated with a number of technological problems, the key ones being the methods of their delivery to the site of infection and maintaining their therapeutic concentration in the area of clinical interest. To achieve this goal, the use of polymeric materials as bacteriophage carriers holds promise. Polyurethane foam is a potential material for the creation of wound dressings due to its porous structure, elasticity, and biocompatibility.

Objective. The aim of this study was to develop a prototype wound dressing based on modified polyurethane foam for the immobilization of bacteriophages and their controlled release in the wound.

Materials and methods. Technical polyurethane foam (ООО Синтез ОКА, Dzerzhinsk, Nizhny Novgorod Region) was used in the study. The modification of polyurethane foam plates was carried out by oxidative polymerization of catecholamine derivatives. Physicochemical properties were determined by comparing the absorption capacity by mass and volume, porosity, and droplet imbibition time. To assess the potential of the material as a platform for delivering bacteriophages to the clinical site of interest and ensuring uniform release, Kruvchinsky dialysis through a semipermeable membrane was used. Bacteriophage titer was determined using the Appelman method.

Results. A comparative assessment of the physicochemical properties of standard and modified polyurethane foam, including porosity, absorption capacity, and hydrophilicity, was conducted. The viability of immobilized bacteriophages and their release kinetics were studied using Kruvchinsky dialysis. The results showed that the modification significantly improves the hydrophilic properties of the material (droplet imbibition time is reduced from 53 minutes to 4.3 seconds) and ensures the preservation of bacteriophage lytic activity for 8 hours. Appelman titration demonstrated that the modified polyurethane foam maintains the viability of bacteriophages at dilutions up to 10^{-5} , compared to 10^{-3} for conventional polyurethane foam. The developed coating can be used to treat infected wounds, providing controlled release of bacteriophages and maintaining therapeutic concentrations in the area of clinical interest.

Conclusions. The modified polyurethane foam represents a promising platform for creating biomimetic wound dressings capable of effectively delivering bacteriophages to the site of infection and maintaining their therapeutic concentrations. The developed material may find application in the treatment of infected wounds, particularly those caused by antibiotic-resistant staphylococcal strains.

Keywords: polyurethane foam; oxidative polymerization of catecholamine derivatives; bacteriophages; wound dressing; phage therapy; polymer modification

For citation: Zhukova OV, Shirokova IYu, Belyanina NA. Development of a wound dressing based on modified polyurethane foam to localize bacteriophage action in the wound. *Patient-oriented medicine and pharmacy*. 2026;4(2):16-23. <https://doi.org/10.37489/2949-1924-0137>. EDN: ORJDLO.

Received: 18.03.2026. **Revision received:** 20.04.2026. **Accepted:** 23.05.2026. **Published:** 30.06.2026.

Введение / Introduction

Проблема антимикробной резистентности является одним из главных вызовов современной медицины, что обуславливает необходимость поиска альтернативных методов борьбы с бактериальными инфекциями. Бактериофаги представляют собой перспективное направление в лечении инфекционных заболеваний, особенно при терапии раневых инфекций [1]. Однако применение бактериофагов в клинической практике сопряжено с рядом технологических проблем, ключевыми из которых являются способы их доставки в очаг инфекции и поддержание их терапевтической концентрации в зоне клинического интереса [2].

Эффективность местной фаготерапии определяется соблюдением принципов, разработанных на основании экспериментальных и клинических исследований последних лет. Одним из основных требований является создание в зоне клинического интереса концентрации фагов, превышающей пороговое значение $C = 10^8$ - 10^9 БОЕ/мл, что в 100 раз превышает концентрацию бактерий-мишеней [2]. Для достижения этой цели перспективным является использование полимерных материалов в качестве носителей бактериофагов [3].

Пенополиуретан является потенциальным материалом для создания раневых покрытий благодаря своей пористой структуре, эластичности

и биосовместимости [4]. Однако исходный пенополиуретан обладает гидрофобными свойствами, что ограничивает его применение для раневых покрытий, требующих активного впитывания экссудата. Модификация поверхности пенополиуретана является перспективным подходом для придания материалу гидрофильности, адгезивных и антибактериальных свойств [5, 6, 7].

В качестве реакции модификации была использована окислительная полимеризация производных катехоламинов, в результате которой было сформировано на поверхности биомиметическое покрытие с уникальными свойствами [7]. Наличие свободных гидроксильных и аминогрупп обеспечивает адгезивные свойства и возможность иммобилизации биологически активных агентов, включая антибиотики и бактериофаги [8].

Цель данной работы (Objective) заключалась в разработке прототипа раневого покрытия на основе модифицированного пенополиуретана для иммобилизации бактериофагов и обеспечения их контролируемого высвобождения в ране.

Материалы и методы / Materials and methods

В работе использовали: технический пенополиуретан (Синтез ОКА); бактериофаг стафилококковый «Стафилофаг» производства филиала АО НПО «Микроген» в г. Н. Новгород «ИМБИО», стерильный очищенный фильтрат фаголизатов бактерий рода *Staphylococcus* с активностью по Аппельману не менее 10^{-5} ; трис- (гидроксиметил) — аминметан (Pharmpru[®], Ph Eur, BP, Scharlab, Испания); изотонический раствор NaCl (ООО «Гротекс», Россия); культуру *Staphylococcus aureus*, клинический штамм №229 из рабочей коллекции бактериологической лаборатории Университетской клиники «ПИМУ», выделенный от пациента с ожоговыми ранами; агар ГРМ.

Модификация пенополиуретана. Вырезали пластины из технического полиуретана размером $2 \times 2 \times 0,5$ см. Модификацию пластин пенополиуретана проводили методом окислительной полимеризации производных катехоламинов. Готовили 0,01 М раствор трис- (гидроксиметил) — аминметана, в который добавляли дофамина гидрохлорида в концентрации 2 мг/мл. Значение pH раствора довели до 8,6 для инициации полимеризации. Образцы пенополиуретана полностью погружали в полученный раствор и выдерживали при комнатной температуре на воздухе при естественном освещении в течение 24 часов. После полимеризации образцы промывали дистиллированной водой, а затем высушивали в сухожаровом шкафу при температуре

45°C в течение 4 часов. Успешность модификации оценивали визуально по характерному изменению цвета материала до темно-коричневого и чёрно-коричневого (по классификации RAL), возможно наличие неравномерной окраски («мраморности»).

Определение физико-химических свойств

Определение поглотительной способности по массе. Образцы пенополиуретана стандартной формы (пластины в форме параллелепипеда) взвешивали на аналитических весах (m_0 , г) и погружали в дистиллированную воду на 10 минут. После удаления избытка воды образцы повторно взвешивали (m_1 , г). Поглотительную способность рассчитывали по следующей формуле:

$$B = (m_1 - m_0) / m_0 \times 100 \% \quad (1), \quad \text{где}$$

B — поглотительная способность материала по массе, %;

m_1 — масса образца материала после поглощения им воды, г;

m_0 — масса исходного материала, г.

Все измерения проводились в шести повторях.

Определение поглотительной способности по объёму. Измеряли исходный объём образца (V_0), после чего образец полностью пропитывали в дистиллированной воде. По разнице объёмов определяли количество впитанной жидкости ($V_{\text{впит}}$) и рассчитывали коэффициент поглощения по следующей формуле:

$$K = (V_{\text{впит}} / V_0) \times 100 \%, \quad \text{где}$$

K — коэффициент водопоглощения материала, %;

$V_{\text{впит}}$ — объём поглощенной жидкости образцом материала, $\text{см}^3/\text{мл}$;

V_0 — исходный объём образца, $\text{см}^3/\text{мл}$.

Все измерения проводились в шести повторях.

Определение пористости. Образцы взвешивали (m_0 , г), полностью пропитывали дистиллированной водой и взвешивали повторно (m_1 , г). Пористость рассчитывали по следующей формуле:

$$P = (m_1 - m_0) / V_{\text{H}_2\text{O}} \times 100 \%, \quad \text{где}$$

P — пористость материала, %;

m_0 — масса исходного образца материала, г;

m_1 — масса образца материала, после его полной пропитки жидкостью, г;

$V_{\text{H}_2\text{O}}$ — объём воды, необходимый для полного пропитывания образца.

Все измерения проводились в шести повторях.



Определение времени поглощения (имбибиции) капли. На поверхность образца с помощью микродозатора наносили каплю дистиллированной воды объёмом 10 мкл. Секундомером фиксировали время полного впитывания капли. Для всех показателей результатом являлось среднее арифметическое значение не менее пяти измерений.

Диализ бактериофагов по методу Кривчинского. Исследование кинетики высвобождения бактериофагов проводили методом диализа по Кривчинскому через полупроницаемую мембрану. В диализную трубку, закрытую с одной стороны целлюлозной мембраной, помещали пенополиуретановую пластину, пропитанную бактериофагом. Трубку погружали в изотонический раствор NaCl и инкубировали при температуре 37°C. Пробы отбирали через 1, 3, 5 и 8 часов диализа, доводя объём среды до исходного значения после каждого отбора.

Оценка жизнеспособности бактериофагов на модифицированной пенополиуретановой подложке. Образцы пенополиуретана пропитывали бактериофагом в количестве, равном $1/2$ от максимального объёма впитывания. Пропитанные образцы помещали в чашки Петри с ГРМ-агаром, на который предварительно наносили суспензию микроорганизмов *S. aureus* концентрацией 1×10^5 КОЕ/мл (соответствует оптической плотности 0,5–0,6 единиц по шкале МакФарланда). Чашки инкубировали при температуре 37°C в течение 24 часов. Степень лизиса оценивали по пятибальной шкале:

- «-» — отсутствие литической активности;
- «+» — низкая активность;
- «++» — зона лизиса с большим количеством колоний вторичного роста;
- «+++» — зона лизиса с единичными колониями вторичного роста;
- «++++» — прозрачная зона лизиса без колоний вторичного роста;

Процедура выполнялась в трёх повторениях для обеспечения репрезентативности полученных данных и минимизации случайных погрешностей.

Анализ кинетики литической активности бактериофагов. Готовили суспензию *S. aureus* концентрацией 1×10^5 КОЕ/мл (соответствует оптической плотности 0,5–0,6 единиц по шкале МакФарланда) и равномерно наносили на подсушенные чашки Петри с ГРМ-агаром. Из проб, полученных в ходе диализа (1, 3, 5 и 8 часов), отбирали по 20 мкл диализата и наносили на чашки. Отбор проб проводили в трехкратной повторности для каждой экспериментальной точки. Чашки инкубировали

при температуре 37°C в течение 24 часов, после чего оценивали степень лизиса.

Определение титра бактериофага по методу Аппельмана. Готовили 12 стерильных бактериологических пробирок с 4,5 мл стерильного питательного бульона. В 1-ю пробирку стерильной пипеткой вносили 0,5 мл исследуемого фага. Содержимое пробирки перемешивали и 0,5 мл из 1-й пробирки переносили во 2-ю, перемешивали и из 2-й пробирки переносили в 3-ю и т.д. до 10-й включительно. Из 10-й пробирки 0,5 мл удаляли. 11-я и 12-я пробирки являлись контрольными (пробирка 11 — контроль роста микроорганизма, содержащая 4,5 мл бульона и 0,2 мл бульонной культуры *S. aureus*; пробирка 12 — контроль стерильности питательного бульона, содержащая 4,5 мл бульона без добавления бактериальной культуры *S. aureus* и бактериофага). Получали разведения бактериофага от 10^{-1} до 10^{-10} (10 000 000 000 $(10^{-1}-10^{-10})$). Далее во все 10 пробирок приготовленного ряда разведений вносили по 0,2 мл 18–24-часовой бульонной культуры бактерий *S. aureus*, чувствительных к титруемому бактериофагу. Штатив с пробирками инкубировали в термостате при 37°C. Учет результатов производили через 18–20 часов. Титром считали максимальное разведение бактериофага, при котором наблюдался полный лизис чувствительной к фагу культуры *S. aureus*.

Статистический анализ. При подтверждении нормального распределения использовали для анализа параметрический метод сравнения данных (Т-критерий для двух независимых выборок). В случае если данные не соответствуют нормальному распределению использовали непараметрический метод сравнения выборок (критерий Манна-Уитни). Значимость различий определялась при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Влияние модификации на физико-химические свойства пенополиуретана. Результаты оценки поглотительной способности представлены в табл. 2. По массе поглотительная способность пенополиуретана (ПУ) составила $3459,6 \pm 197,8$ %, модифицированного пенополиуретана (МПУ) — $3395,7 \pm 205,26$ %. По объёму для ПУ получено значение $217 \pm 22,72$ %, для МПУ — $213,42 \pm 23,3$ %. Тенденция незначительного снижения влагоёмкости МПУ связано с уменьшением размера пор вследствие адсорбции продуктов полимеризации производных катехоламинов, что согласуется с данными по пористости (табл. 1).

Таблица 1. Сравнение поглотительной способности исходного и модифицированного пенополиуретана
Table 1. Comparison of the absorption capacity of the original and modified polyurethane foam

Показатель	ПУ (M ± SD)	МПУ (M ± SD)	p-значение
По массе, %	3459,60 ± 197,80	3395,70 ± 205,26	p > 0,05
По объёму, %	217,00 ± 22,72	213,42 ± 23,30	p > 0,05

Примечания: ПУ — пенополиуретан; МПУ — модифицированный пенополиуретан.
Notes: PU — polyurethane foam; MPU — modified polyurethane foam.

Результаты определения пористости представлены в таблице 2. Для ПУ средняя пористость составила $97,04 \pm 0,86$ %, для МПУ — $95,36 \pm 4,29$ %. Снижение пористости МПУ можно объяснить адсорбцией продуктов окислительной полимеризации производных катехоламинов на поверхности пор, что приводит к уменьшению их эффективного диаметра.

Таблица 2. Пористость исходного и модифицированного пенополиуретана
Table 2. Porosity of the original and modified polyurethane foam

Образец	Пористость, % (M ± SD)	p-значение
Пенополиуретан	$97,04 \pm 0,86$	p > 0,05
Модифицированный пенополиуретан	$95,36 \pm 4,29$	

Время имbibции одной капли дистиллированной воды объёмом 10 мкл является показателем гидрофильности материала. Для ПУ среднее время впитывания составило 53 мин 48 с ± 14 мин 6 с, что свидетельствует о выраженных гидрофобных свойствах материала. После модификации ПУ время впитывания статистически значимо сократилось до $4,3 \pm 2,44$ секунд (p < 0,05), что указывает на приобретение материалом выраженных гидрофильных свойств.

Полученные результаты оценки физико-химических свойств демонстрируют, что модификация кардинально изменяет поверхностные свойства ПУ, превращая гидрофобный материал в модифицированный с гидрофильными свойствами (МПУ). Это имеет важное значение для применения в качестве

раневого покрытия, поскольку обеспечивает эффективное впитывание раневого экссудата.

Оценка жизнеспособности и литической активности бактериофагов на пенополиуретановых пластинах. МПУ демонстрировал максимальную литическую активность («++++») во все временные точки диализа (1, 3, 5 и 8 часов), что свидетельствует о полном сохранении жизнеспособности бактериофагов. Для ПУ максимальная активность наблюдалась только в первые 3 часа, в то время как на 5 и 8 часах диализа отмечалось снижение активности («++» и «+++» соответственно) с образованием зоны лизиса с большим количеством колоний вторичного роста (табл. 3).

Полученные результаты указывают на то, что модификация не только не снижает, но и способствует сохранению жизнеспособности бактериофагов при их иммобилизации и последующем высвобождении.

Титрование бактериофагов. Результаты определения титра бактериофага по методу Аппельмана для ПУ и МПУ представлены в табл. 4 и 5.

Таблица 3. Сравнение степени лизиса бактерий диализатом пенополиуретана и модифицированного пенополиуретана
Table 3. Comparison of the degree of bacterial lysis by dialysate of polyurethane foam and modified polyurethane foam

Образец	1 час	3 часа	5 часов	8 часов
МПУ	++++	++++	++++	++++
ПУ	++++	++++	++	++

Таблица 4. Титрование бактериофага в диализате пенополиуретана
Table 4. Titration of bacteriophage in polyurethane foam dialysate

Время	Степень разведения				
	10	10	10	10	10
1 час	Роста нет	Роста нет	Роста нет	Роста нет	Роста нет
3 часа	Роста нет	Роста нет	Роста нет	S. aureus	S. aureus
5 часов	Роста нет	Роста нет	S. aureus	S. aureus	S. aureus
8 часов	S. aureus	S. aureus	S. aureus	S. aureus	S. aureus

Таблица 5. Титрование бактериофага в диализате модифицированного пенополиуретана
Table 5. Titration of bacteriophage in dialysate of modified polyurethane foam

Время	Степень разведения				
	10	10	10	10	10
1 час	Роста нет	Роста нет	Роста нет	Роста нет	Роста нет
3 часа	Роста нет	Роста нет	Роста нет	Роста нет	Роста нет
5 часов	Роста нет	Роста нет	Роста нет	Роста нет	Роста нет
8 часов	Роста нет	Роста нет	Роста нет	Роста нет	Роста нет

Данные титрования показывают, что в пробах бактериофага, высвобожденного из МПУ, полный лизис бактериальной культуры наблюдался при всех исследованных разведениях (до 10^{-5}) на всех временных точках. Это свидетельствует о сохранении высокой литической активности бактериофагов на уровне не ниже 10^5 БОЕ/мл.

В случае ПУ уже через 3 часа диализа титр бактериофага снижался до 10^3 , через 5 часов — до 10^2 , а к 8 часам наблюдался рост *S. aureus* при всех разведениях, что указывает на практически полную утрату литической активности.

Полученные результаты демонстрируют, что МПУ обеспечивает длительное сохранение жизнеспособности и литической активности иммобилизованных бактериофагов, что является критически важным для применения в качестве раневого покрытия. Вероятно, модифицирующее покрытие на ПУ создаёт протективную микросреду для бактериофагов, защищая их от денатурации и потери активности.

Ограничения исследования / Study limitations

Ограничением данного исследования явилось его проведение *in vitro*. Статическая, равно как и простая динамическая модель *in vitro*, не учитывает активный транспорт веществ, метаболическую активность тканей и влияние ферментных систем. В отличие от живого организма, здесь отсутствует кровоток и лимфодренаж, которые постоянно поддерживают градиент концентрации. Также модель ограничена использованием стандартизированных буферных растворов. В реальных условиях на диффузию влияют помимо pH вязкость биологических среды и наличие специфических белков, которые связывают активные вещества и меняют их транспортные свойства. Используемые полупроницаемые мембраны обладают фиксированным размером пор и определённым химическим составом. Они не могут имитировать сложную структуру биологических барьеров, их избирательную проницаемость, наличие ионных каналов, рецепторов и транспортных систем. Это приводит к тому, что скорость высвобождения вещества *in vitro* может значительно отличаться от реальной биодоступности.

Выводы / Conclusion

Проведённое исследование продемонстрировало эффективность модификации пенополиуретана для создания раневых покрытий с иммобилизованными бактериофагами. Модификация приводит к кардинальному изменению поверхностных свойств материала, превращая гидрофобный пенополиуретан в гидрофильный: время имbibции капли воды сокращается с 53 мин до 4,3 с, что обеспечивает эффективное впитывание раневого экссудата.

Ключевым результатом работы является установление способности МПУ поддерживать жизнеспособность и литическую активность иммобилизованных бактериофагов. Титрование по методу Аппельмана показало, что модифицированный материал обеспечивает сохранение активности бактериофагов на уровне не ниже 10^5 БОЕ/мл в течение 8 ч диализа, в то время как для ПУ наблюдалась практически полная потеря активности к этому времени.

Модификация ПУ не только улучшает гидрофильность материала, но и придаёт ему адгезивные, антибактериальные, антиоксидантные и другие свойства, что дополнительно повышает терапевтический потенциал разработанного покрытия за счёт эффективной иммобилизации бактериофагов и их контролируемого высвобождения в раневую среду.

Таким образом, МПУ представляет собой перспективную платформу для создания биомиметических раневых покрытий, способных обеспечивать эффективную доставку бактериофагов в очаг инфекции и поддержание их терапевтической концентрации. Разработанный материал может найти применение в лечении инфицированных ран, особенно при инфекциях, вызванных антибиотикорезистентными штаммами стафилококков.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются изучение кинетики высвобождения фагов в условиях, имитирующих раневую среду, а также проведение доклинических испытаний эффективности разработанного покрытия на экспериментальных моделях инфицированных ран.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Участие авторов

Все авторы внесли существенный вклад в подготовку работы, прочли и одобрили финальную версию статьи перед публикацией.

Финансирование

Работа выполнена в рамках Государственного задания Минздрава России № 056-03-2026-123 «Разработка раневого покрытия на основе модифицированного пенополиуретана для самостоятельного применения и для доставки антимикробных средств с целью поддержания их необходимой концентрации в зоне клинического интереса».

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Жукова Ольга Вячеславовна — д. фарм. н., доцент, зав. кафедрой фармацевтической химии и фармакогнозии ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет», Нижний Новгород, Российская Федерация.

Автор, ответственный за переписку

e-mail: ov-zhukova@mail.ru

ORCID ID: 0000-0002-6454-1346

РИНЦ SPIN-код: 4167-1496

Широкова Ирина Юрьевна — к. м. н., врач-медицинский микробиолог, зав. бактериологической лабораторией Университетской клиники ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет», Нижний Новгород, Российская Федерация

e-mail: shirokova_i@pimunn.net

ORCID ID: 0000-0002-8387-6344

РИНЦ SPIN-код: 9123-1213

Белянина Наталья Александровна — биолог бактериологической лаборатории Университетской клиники ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет», Нижний Новгород, Российская Федерация

e-mail: belyanina_n@pimunn.net

ORCID ID: 0000-0002-8578-3600

РИНЦ SPIN-код: 8981-6453

ADDITIONAL INFORMATION

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest.

Authors' participation

All authors made a significant contribution to the preparation of the work, read and approved the final version of the article before publication.

Financing

The work was carried out within the framework of the State Assignment of the Ministry of Health of the Russian Federation No. 056-03-2026-123 "Development of a wound dressing based on modified polyurethane foam for independent use and for the delivery of antimicrobial agents in order to maintain their required concentration in the area of clinical interest."

ABOUT THE AUTHORS

Olga V. Zhukova — Dr. Sci. (Pharm.), Associate Professor, Head of the Department of Pharmaceutical Chemistry and Pharmacognosy at the Volga Region Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russian Federation.

Corresponding author

e-mail: ov-zhukova@mail.ru

ORCID ID: 0000-0002-6454-1346

RSCI SPIN-code: 4167-1496

Irina Yu. Shirokova — Cand. Sci. (Med.), medical microbiologist., head of the bacteriological laboratory of the University Clinic of the Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russian Federation

e-mail: shirokova_i@pimunn.net

ORCID ID: 0000-0002-8387-6344

RSCI SPIN-code: 9123-1213

Natalia A. Belyanina — biologist of the bacteriological laboratory of the University Clinic of the Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russian Federation

e-mail: belyanina_n@pimunn.net

ORCID ID: 0000-0002-8578-3600

RSCI SPIN-code: 8981-6453

Список литературы / References

1. Ibrahim R, Aranjani JM, Kalikot Valappil V, Nair G. Unveiling the potential bacteriophage therapy: a systematic review. *Future Sci OA*. 2025 Dec;11(1): 2468114. doi: 10.1080/20565623.2025.2468114.
2. Погодин ИЕ, Самойленко ВМ, Киргинцев АГ, Лузан АС. Возможности и перспективы использования бактериофагов в лечении хронических ран мягких тканей. *Вестник эксперименталь-*



- ной и клинической хирургии. 2021;14(2):168-174. doi: 10.18499/2070-478X-2021-14-2-168-174 [Pogodin IE, Samoylenko VM, Kirgintsev AG, Luzan AS. Possibilities and Prospects of Application of Bacteriophages in the Treatment of Chronic Soft Tissue Wounds. *Journal of Experimental and Clinical Surgery*. 2021;14(2):168-174. (In Russ.)].
3. Ковязина Н.А., Лукин П.С., Функнер Е.В., и др. Подходы к конструированию полимерных раневых покрытий с бактериофагами. *Медицинский альманах*. 2013;2(26):72-74. [Kovyazina N.A., Lukin P.S., Funkner E.V., et al. Approaches to the design of polymer wound dressings with bacteriophages. *Medical Almanac*. 2013;2(26):72-74.].
 4. Dhyani A, Repetto T, VanAken S, et al. Antimicrobial wound dressings for full-thickness infected burn wounds. *Shock*. 2024 Oct 1;62(4):588-595. doi: 10.1097/SHK.0000000000002426.
 5. Liu M, Liu T, Chen X, et al. Nano-silver-incorporated biomimetic polydopamine coating on a thermoplastic polyurethane porous nanocomposite as an efficient antibacterial wound dressing. *J Nanobiotechnology*. 2018 Nov 12;16(1):89. doi: 10.1186/s12951-018-0416-4.
 6. Dai S, Zang X, Zhang X, et al. Highly elastic lignin-based waterborne polyurethane with light color and its application in functional fabric coatings. *Int J Biol Macromol*. 2025 Apr;302:140521. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2025.140521.
 7. Zheng D, Huang C, Zhu X, et al. Performance of Polydopamine Complex and Mechanisms in Wound Healing. *Int J Mol Sci*. 2021 Sep 29;22(19):10563. doi: 10.3390/ijms221910563.
 8. Fu Y, Yang L, Zhang J, et al. Polydopamine antibacterial materials. *Mater Horiz*. 2021 Jun 1;8(6):1618-1633. doi: 10.1039/d0mh01985b.
 9. Белозерская Г.Г., Бычичко Д.Ю., Кабак В.А. и др. Создание новых гемостатических покрытий локального действия на основе альгината натрия. *Клиническая физиология кровообращения*. 2018;15(3):222-229. doi: 10.24022/1814-6910-2018-15-3-222-229 [Belozerskaya G.G., Bychichko D.Yu., Kabak V.A. et al. Creation of new local hemostatic coatings based on sodium alginate. *Clinical physiology of blood circulation*. 2018; 15(3):222-229.].
 10. Истранов Л.П., Абоянц Р.К., Белозерская Г.Г. и др. Местные гемостатические средства на основе коллагена. *Фармация*. 2007;7:29-32. [Istranov L.P., Aboyants R.K., Belozerskaya G.G. et al. Local hemostatic agents based on collagen. *Pharmacy*. 2007;7:29-32.].