

Оценка антибактериальных свойств углеродных сорбентов

*Л. Г. ПЬЯНОВА¹, В.Т. ДОЛГИХ², А. В. СЕДАНОВА¹, М. С. ДЕЛЯГИНА¹,
Н. В. КОРНИЕНКО¹, Е. В. НАУМКИНА^{3,4}, А. В. ЛАВРЕНОВ¹, А. В. ДУБРОВСКАЯ^{3,4}

¹ Центр новых химических технологий ИК СО РАН, Институт катализа СО РАН, Омск, Россия

² ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр реаниматологии и реабилитологии», Москва, Россия

³ Омский государственный медицинский университет, Омск, Россия

⁴ Городской клинический перинатальный центр, Омск, Россия

Резюме

Актуальность. В настоящее время научный поиск альтернативных материалов и методов борьбы с возбудителями инфекционных заболеваний является актуальным направлением научных исследований. Перспективными материалами, проявляющими антибактериальные и фунгицидные свойства, являются углеродные сорбенты. **Цель** — изучить антибактериальные свойства исходных модификаторов и модифицированных ими углеродных сорбентов по отношению к некоторым видам патогенных микроорганизмов. Объектами исследования являлись образцы углеродного сорбента до и после модифицирования биологически активными веществами с антибактериальными свойствами: салициловой и сульфосалициловой кислотой, трибутирином. Углеродные сорбенты получены нами в Центре новых химических технологий ИК СО РАН. В качестве экспериментальных микроорганизмов использовали штаммы грамположительных и грамотрицательных бактерий: *Staphylococcus aureus* ATCC 25923; *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853; *Klebsiella pneumoniae* 418; *Escherichia coli* ATCC 25922. **Результаты.** Наибольшая антибактериальная чувствительность бактерий выявлена к углеродному сорбенту, модифицированному трибутирином. Отсутствие роста исследуемых тест-штаммов микроорганизмов наблюдали через 2 ч инкубации смеси «образец–микроорганизм».

Ключевые слова: углеродный сорбент; салициловая кислота; сульфосалициловая кислота трибутирин; антибактериальные свойства

Для цитирования: Пьянова Л. Г., Долгих В. Т., Седанова А. В., Делягина М. С., Корниенко Н. В., Наумкина Е. В., Лавренов А. В., Дубровская А. В. Оценка антибактериальных свойств углеродных сорбентов. *Антибиотики и химиотер.* 2024; 69 (5–6): 4–10. <https://doi.org/10.37489/0235-2990-2024-69-5-6-4-10>. EDN: RDVWAJ.

Evaluation of Antibacterial Properties of Carbon Sorbents

*LIDIA P'YANOVA¹, VLADIMIR T. DOLGIKH², ANNA V. SEDANOVA¹,
MARIA S. DELYAGINA¹, NATALIA V. KORNIENKO¹, ELENA V. NAUMKINA^{3,4},
ALEXANDER V. LAVRENOV¹, ALENA V. DUBROVSKAYA^{3,4}

¹ Center of New Chemical Technologies BIC, Boreskov Institute of Catalysis, Omsk, Russia

² Federal Research and Clinical Center of Intensive Care Medicine and Rehabilitology, Moscow, Russia

³ Omsk State Medical University, Omsk, Russia

⁴ City Clinical Perinatal Center, Omsk, Russia

Abstract

Background. Currently, the scientific search for alternative materials and methods for combating pathogens of infectious diseases is an important area of research. Carbon materials are one of the promising types of materials exhibiting antimicrobial and antifungal properties. **The aim of the study is to investigate the antibacterial properties of modified carbon sorbents and initial modifiers in relation to some types of pathogenic microorganisms.** The objects of the study were carbon sorbent samples before and after modification with biologically active substances with antibacterial properties: salicylic acid, sulfosalicylic acid, tributyrin. The samples of carbon sorbents under study were obtained at the Center of New Chemical Technologies BIC. The following strains of gram-positive and gram-negative bacteria were used as experimental models: *Staphylococcus aureus* ATCC 25923; *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853; *Klebsiella pneumoniae* 418; *Escherichia coli* ATCC 25922. **Results.** The highest sensitivity of gram-positive and gram-negative bacteria was established for a carbon sorbent modified with tributyrin. The absence of growth of the studied test strains of microorganisms was observed after 2 hours of incubation of the «sample-microorganism» mixture.

Keywords: carbon sorbent; salicylic acid; sulfosalicylic acid; tributyrin; antibacterial properties

For citation: P'yanova L. G., Dolgikh V. T., Sedanova A. V., Delyagina M. S., Kornienko N. V., Naumkina E. V., Lavrenov A. V., Dubrovskaya A. V. Evaluation of antibacterial properties of carbon sorbents. *Antibiotiki i Khimioter = Antibiotics and Chemotherapy.* 2024; 69 (5–6): 4–10. <https://doi.org/10.37489/0235-2990-2024-69-5-6-4-10>. EDN: RDVWAJ.

*Адрес для корреспонденции:
E-mail: medugli@ihcp.ru



*Correspondence to:
E-mail: medugli@ihcp.ru



EDN: RDVWAJ

Введение

Гнойно-воспалительные инфекции представляют собой серьёзную проблему для здравоохранения из-за вызываемой ими высокой заболеваемости и летальности [1]. Основным методом лечения больных с гнойно-воспалительными заболеваниями различной локализации является этиотропная терапия, однако антибактериальные препараты негативно влияют на микробиоценоз, оказывают побочное действие на организм и увеличивают число резистентных к антибиотикам штаммов возбудителей [1, 2]. В связи с этим для лечения больных с раневой инфекцией и тяжёлыми гнойно-септическими заболеваниями бактериальной природы необходимы новые технологии и препараты, отличающиеся по механизму действия от антибиотиков и обладающие высокой антимикробной активностью.

В последние годы успешно развивается сорбционная терапия, осуществляющая детоксикацию организма с помощью перфузии крови и лимфы через колонку с сорбентом [3, 4]. Помимо применения сорбционных методов в виде гемо- и лимфосорбции, одним из приоритетных направлений медицины является аппликационная сорбция — вульнеросорбция [5, 6], сущность которой заключается в извлечении токсичных веществ, продуктов тканевой деградации, микробных клеток, бактериальных токсинов из ран и раневых полостей при контакте сорбционного материала с раневой поверхностью. Сорбция раневого содержимого способствует нормализации биологических реакций всего организма, позволяет в короткие сроки уменьшить травматический или воспалительный отёк мягких тканей, улучшить микроциркуляцию в тканях, снизить количество микроорганизмов в ране в среднем в 100–1000 раз по сравнению с традиционными перевязочными материалами. Вульнеросорбция позволяет существенно улучшить исходы лечения травматических, гнойных, ожоговых ран, трофических язв и др. Широко используется внутриполостная сорбция при гнойно-воспалительных процессах: перитоните, абсцессах лёгких и печени [6].

Патогенетически оправданным представляется также использование сорбционных методов лечения в комплексной терапии инфекционно-воспалительных заболеваний женской половой сферы, в частности, хронических эндометритов, аэробного вагинита, бактериального вагиноза. Эти формы инфекций, как правило, вызваны ассоциациями микроорганизмов с участием условно-патогенных облигатно и факультативно анаэробных бактерий, вирусов, хламидий и микоплазм.

Успешное развитие сорбционной терапии делает актуальными вопросы дальнейшей разработки и совершенствования гемо-, энтеро- и вуль-

неросорбентов различной природы, предназначенных для удаления из организма токсичных и патогенных продуктов эндогенного и экзогенного характера с одновременным повышением чувствительности организма к базисной фармако-терапии.

Перспективным направлением является разработка новых материалов, проявляющих биоспецифические свойства (антибактериальные, противогрибковые, антиоксидантные и т. д.). Препараты на углеродной основе обладают исключительными физико-химическими, термическими и механическими характеристиками в сочетании с антибактериальными свойствами, что делает их пригодными в различных областях медицины. Их практическое применение в качестве противомикробных агентов может быть расширено за счёт модификации их поверхности веществами с биоспецифическими свойствами. Одним из наиболее простых, доступных и эффективных методов модифицирования является адсорбция из растворов [7–9].

Цель работы — оценить антибактериальные свойства образцов углеродного сорбента, модифицированных салициловой, сульфосалициловой кислотой и трибутирином, в отношении тест-культур эталонных штаммов условно-патогенных микроорганизмов.

Материал и методы

В качестве носителя выбран углеродный сорбент медицинского назначения, разработанный в Центре новых химических технологий ИК СО РАН (г. Омск). К преимуществам данного углеродного носителя (матрицы) относятся высокая химическая чистота (содержание углерода не менее 99,5%), гладкий рельеф поверхности и сферическая форма гранул, благодаря чему не травмируется слизистая оболочка желудочно-кишечного тракта. Технология получения сорбента обеспечивает практически полное отсутствие пыли на его поверхности и в порах, высокую прочность гранул. Мезопористая структура углеродного сорбента способствует его высокой адсорбционной ёмкости по отношению к веществам низкой и средней молекулярной массы, что необходимо для целенаправленной доставки активно действующих веществ в кишечник и пролонгации фармакологического эффекта (рис. 1).

В качестве модификаторов выбраны салициловая, сульфосалициловая кислота и трибутирин (рис. 2).

Салициловая кислота обладает антибактериальными, противовоспалительными, противомикробными, антиоксидантными, ранозаживляющими и другими биоспецифическими свойствами. В медицине применяется в небольших концентрациях до 10% в виду ограниченной растворимости в воде и побочных эффектов [10, 11]. Сульфосалициловая кислота представляет интерес для применения в фармацевтической промышленности и медицине. Она обладает биологической активностью, проявлением побочных эффектов и аллергических реакций, а её комплексы с различными металлами — противомикробными и противовоспалительными свойствами [12, 13].

Многие исследователи отмечают у трибутирина антисептические, противовоспалительные, ранозаживляющие, антиоксидантные свойства. Трибутирин гидролизует в желудке и тонком кишечнике липазой до бутирата (в послед-

ствие до масляной кислоты), глицерола [14]. Модифицирование углеродного сорбента трибутирином позволит решить вопрос по его доставке в организм [15, 16].

Исходный углеродный сорбент и его модифицированные образцы разработаны и синтезированы в ЦНХТ ИК СО РАН. Модификаторы — салициловая кислота (99 мас. %, «Sigma-Aldrich», Германия), сульфосалициловая кислота 2-водная (ч.д.а., «Омскреактив») и трибутирин. Трибутирин был синтезирован из масляной кислоты (ч., АО «ЭКОС-1») и глицерина (ч.д.а., «Омскреактив») путём этерификации в присутствии толуола (ч.д.а., «Омскреактив») и ортофосфорной кислоты (ч.д.а., «Омскреактив») по методике [17]. Его содержание составило 98 мас. % (980 г/л).

Модифицирование углеродного сорбента салициловой кислотой проводили путём её адсорбции из водного раствора с концентрацией 1500 мг/л [18]. Углеродный сорбент, модифицированный сульфосалициловой кислотой, получали путём адсорбции из водного раствора с концентрацией кислоты 3000 мг/л [19]. Модифицирование углеродного сорбента трибутирином проводили путём адсорбции из спиртового раствора с концентрацией 227 г/л [20].

Объекты исследования: образец 1 — исходный углеродный сорбент (УС), образец 2 — салициловая кислота (СК); образец 3 — сульфосалициловая кислота (ССК); образец 4 — трибутирин (ТБ); образец 5 — углеродный сорбент, модифицированный салициловой кислотой (УС-СК); образец 6 — углеродный сорбент, модифицированный сульфосалициловой кислотой (УС-ССК); образец 7 — углеродный сорбент, модифицированный трибутирином (УС-ТБ).

Микробиологические исследования проводили на базе бактериологической лаборатории Бюджетного учреждения здравоохранения Омской области «Городской клинический перинатальный центр» под руководством д. м. н., профессора кафедры микробиологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения РФ Е. В. Наумкиной. В качестве тест-культур использовали следующие штаммы: *Staphylococcus aureus* ATCC 25923; *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853; *Klebsiella pneumoniae* 418; *Escherichia coli* ATCC 25922. Выбор этих штаммов микроорганизмов обусловлен наибольшей их клинической значимостью в этиологическом профиле гнойно-воспалительных процессов различных биологических локусов. Испытуемые образцы предварительно стерилизовали при 121°C в течение 20 мин.

Для тестирования использовали суточные культуры, выращенные на мисопептонном агаре. Эталонные штаммы



Рис. 1. Углеродный сорбент: вид препарата (а) и гранула сорбента под сканирующим электронным микроскопом (b)

Fig. 1. Carbon sorbent: type of preparation (a) and sorbent granule under a scanning electron microscope (b)

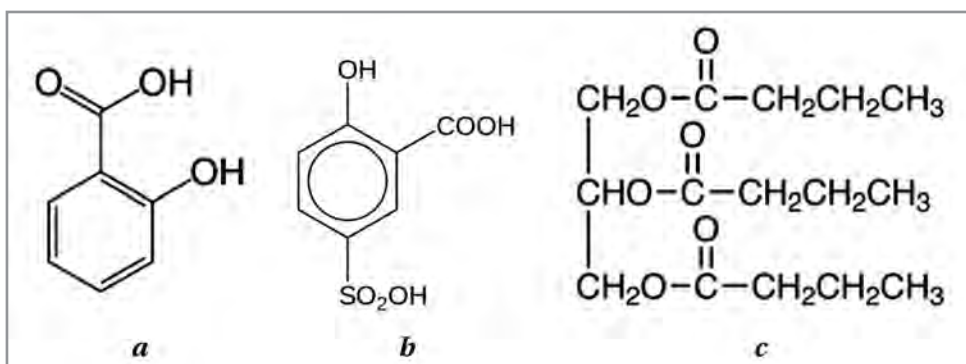


Рис. 2. Структурные формулы салициловой (а), сульфосалициловой (b) кислоты и трибутирина (с), содержащие в своем составе гидрофильные кислородсодержащие группы

Fig. 2. Structural formulas of salicylic (a), sulfosalicylic (b) acids and tributyrin (c), containing hydrophilic oxygen-containing groups

были проверены на чистоту и отсутствие диссоциаций. Суточную агаровую культуру исследуемых штаммов смывали стерильным физиологическим раствором, из полученной суспензии готовили взвеси микроорганизмов в концентрации 500 млн микробных тел в 1 мл раствора (0,5 МЕ по McFarland). Затем путём десятикратных разведений взвеси доводили до рабочей концентрации 10^6 микробных тел в 1 мл. В лунки стерильного планшета помещали исследуемый образец, затем добавляли рабочую взвесь тест-культуры в количестве 2,0 мл до полного смачивания, ориентировочно 1:1.

Выживаемость микроорганизмов определяли путём количественных высевов из каждой лунки смеси «образец-микроорганизм» через определённые промежутки времени термостатирования на чашки Петри с простым питательным агаром методом секторных посевов (Голда). На каждое сочетание «образец-микроорганизм» делали по три повторения параллельных высевов. Видовую принадлежность культур подтверждали результатами изучения культуральных, морфологических и биохимических свойств. Первый высев (контроль) делали сразу после добавления образца в взвесь микроорганизмов без термостатирования, далее через 3; 6; 24 и 48 ч инкубации. После инкубации чашек с простым питательным агаром при 37°C в течение 24 ч регистрировали наличие или отсутствие роста и количество микробных клеток в 1 мл смеси.

Изменение численности тест-штаммов микроорганизмов при инкубации с исходными модификаторами и исследуемыми образцами сорбента

Change in the number of test strains of microorganisms during incubation with the original modifiers and the studied sorbent samples

Образец	Исследуемая культура											
	<i>S. aureus</i>			<i>P. aeruginosa</i>			<i>K. pneumoniae</i>			<i>E. coli</i>		
	К	Д	2Т	К	Д	2Т	К	Д	2Т	К	Д	2Т
Образец 1 УС	10 ⁶	10 ⁶	10 ³	10 ⁶	10 ⁶	10 ³	10 ⁶	10 ⁶	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁶	10 ²
Образец 2 СК	10 ⁶	10 ¹	0	10 ⁶	10 ¹	0	10 ⁶	10 ¹	0	10 ⁶	10 ¹	0
Образец 3 ССК	10 ⁶	10 ¹	0	10 ⁶	10 ¹	0	10 ⁶	0	0	10 ⁶	10 ¹	0
Образец 4 ТБ	10 ⁶	10 ¹	0	10 ⁶	10 ¹	0	10 ⁶	10 ¹	0	10 ⁶	10 ¹	0
Образец 5 УС-СК	10 ⁶	10 ³	0	10 ⁶	10 ¹	0	10 ⁶	10 ⁴	10 ¹	10 ⁶	10 ¹	0
Образец 6 УС-ССК	10 ⁶	10 ⁴	10 ¹	10 ⁶	10 ³	10 ¹	10 ⁶	10 ²	0	10 ⁶	10 ³	10 ¹
Образец 7 УС-ТБ	10 ⁶	10 ¹	0	10 ⁶	10 ²	0	10 ⁶	10 ¹	0	10 ⁶	10 ²	0

Примечание. К — контроль; Д — после добавления сорбента (без термостатирования); 2Т — после термостатирования в течение 2 ч.

Note. К — control; Д — after adding sorbent (without thermostating); 2Т — after temperature control for 2 hours.

Результаты и обсуждение

Проведены исследования по установлению чувствительности микроорганизмов в отношении исходных растворов модификаторов и к исследуемым модифицированным образцам методом прямого посева (таблица, рис. 3).

При испытании исходного образца углеродного сорбента концентрация всех видов тест-штаммов не изменялась сразу после добавления сорбента. В данном случае снижение численности тест-штаммов микроорганизмов до 10³–10² КОЕ/мл обусловлено их физической сорбцией на углеродном сорбенте.

Установлено, что для исходных модификаторов (образцы 2–4) характерно отсутствие роста исследуемых тест-штаммов микроорганизмов в отношении исследуемых тест-культур после термостатирования смеси «образец-микроорганизм» в течение 2 ч. Очевидно, это обусловлено высокими концентрациями модификаторов, значительно превышающими использованные для модифицирования углеродного сорбента. Модифицированные образцы углеродного сорбента также снижали численность бактериальных клеток в смеси сразу после добавления, хотя и в меньшей степени по сравнению с чистыми растворами модификаторов. После инкубации происходило дальнейшее снижение концентрации бактерий, и здесь результаты по испытуемым образцам несколько отличались.

Наилучший результат в сравнении с исходным сорбентом (образец 1) показал углеродный сорбент, модифицированный трибутирином (образец 7). Наблюдали отсутствие роста тест-штаммов микроорганизмов *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli* через 2 ч инкубации смеси «образец-микроорганизм».

Для углеродного сорбента, модифицированного салициловой кислотой (образец 5), отсут-

ствие роста фиксировали через 2 ч инкубации в отношении эталонных тест-штаммов. Углеродный сорбент, модифицированный сульфосалициловой кислотой (образец 6), проявлял полную антибактериальную активность через 2–4 ч инкубации.

Известно, что при низких значениях рН в растворе возрастает содержание недиссоциированных молекул кислоты, которые за счёт своих липофильных свойств способны проникать через плазматическую мембрану клеток. Значение рН внутри клеток близко к нейтральному. После проникновения внутрь клетки молекулы кислоты диссоциируют с высвобождением Н⁺, что приводит к закислению внутриклеточной среды и нарушению функций клетки, её гибели. Кроме того, изменение рН межфазной плазматической мембраны изменяет её потенциал, делая мембрану более проницаемой, а также влияет на натриево-калиевый баланс [21].

Предполагаем, что для модифицированных углеродных сорбентов механизм антибактериального действия также связан с кислотными свойствами нанесённых модификаторов (СК, ССК, ТБ) и их способностью проникать через клеточные мембраны патогенной клетки благодаря гидрофильным свойствам и небольшому размеру: при контакте образцов с биологической средой локально снижается рН, что приводит к разрушению и гибели патогенных микроорганизмов.

Проведённые исследования показали высокую эффективность подхода модификации углеродных сорбентов веществами, обладающими антибактериальной активностью.

Заключение

В ходе исследования была выявлена высокая антибактериальная активность углерод-

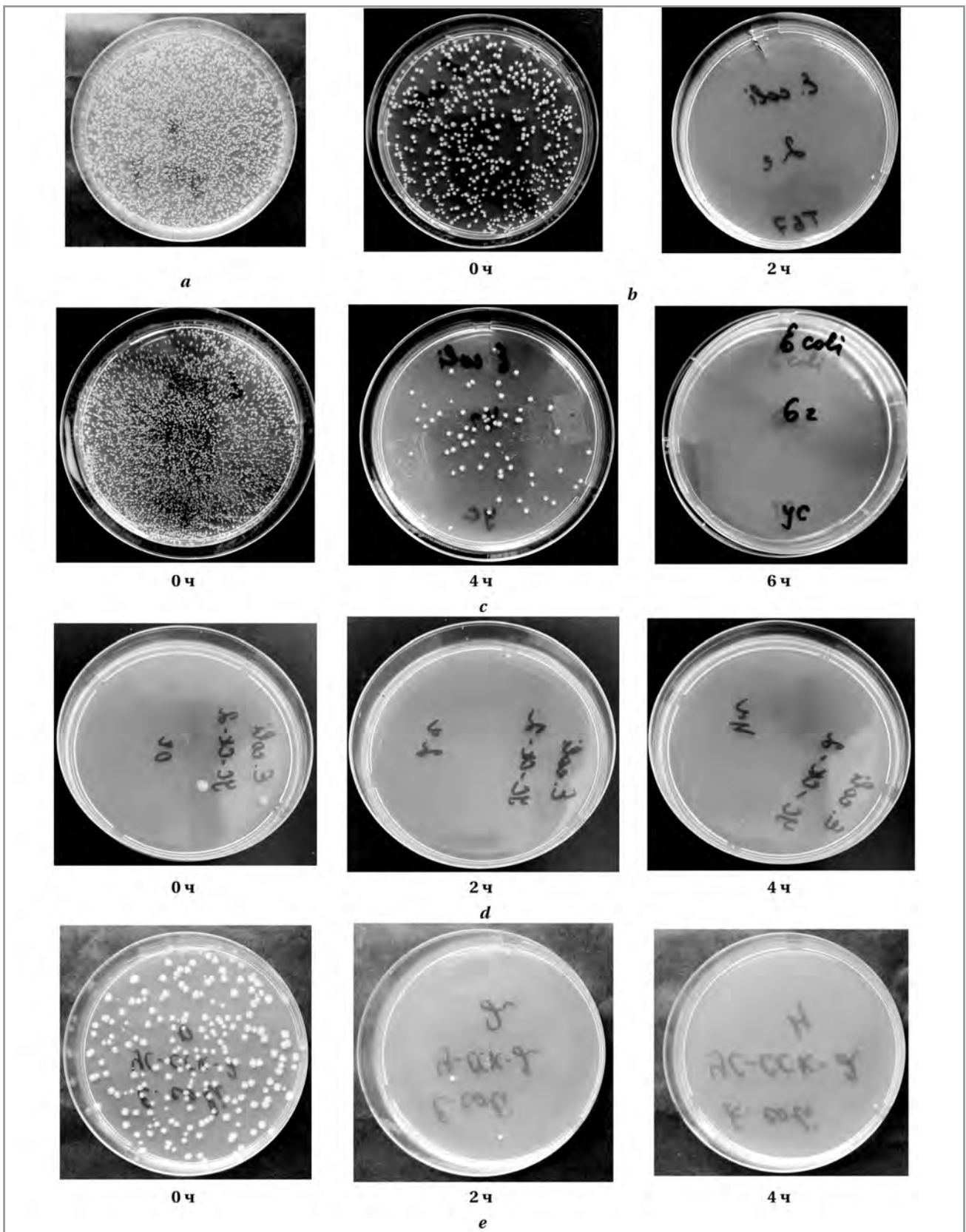


Рис. 3. Эффективность исследуемых сорбентов в отношении *E. coli*: контроль 10⁶ КОЕ (а), модифицированный образец УС-ТБ (b), исходный образец УС (c), модифицированный образец УС-СК (d), модифицированный образец УС-ССК (e)

Fig. 3. Efficiency of the studied sorbents against *E. coli*: control 10⁶ CFU (a), modified sample УС-ТБ (b), original sample УС (c), modified sample УС-СК (d), modified sample УС-ССК (e)

ных сорбентов, модифицированных трибутирином, салициловой и сульфосалициловой кислотами в отношении тест-культур эталонных штаммов условно патогенных микроорганизмов (*S. aureus*; *P. aeruginosa*; *K. pneumoniae*; *E. coli*). Указанные микроорганизмы являются, как известно, наиболее частыми возбудителями гнойно-воспалительных заболеваний. Полученные результаты отражают перспективность их аппликационного использования и расширяют возможности сорбционной терапии в клинической практике.

Литература/References

- Jadimurthy R., S. B. Mayegowda, Nayak S.C. et al. Escaping mechanisms of ESKAPE pathogens from antibiotics and their targeting by natural compounds. *Biotechnol Rep (Amst)*. 2022; 34: e00728. doi: 10.1016/j.btre.2022.e00728.
- Rios-Lopez A. L., Gonzalez G. M., Hernandez-Bello R., Sanchez-Gonzalez A. Avoiding the trap: Mechanisms developed by pathogens to escape neutrophil extracellular traps. *Microbiol Res*. 2021; 243: 126644. doi: 10.1016/j.micres.2020.126644.
- Yackubtsevič R., Serhiyenko U., Khmialenka A. et al. Results of the impact of antiproteinase hemosorbent on the dynamics of the main markers of inflammation in children with severe forms of peritonitis. *Emergency medical service*. 2022; 9 (2): 85–93. <https://doi.org/10.36740/EmeMS202202103>.
- Pavlova L. A., Pastukhov A. V., Kopitsyna M. N. et al. Increasing selective bilirubin removal by hypercross-linked polystyrene hemosorbents. *Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR Division of Chemical Science*. 2017; 66 (10): 1891–1896. doi: <https://doi.org/10.1007/s11172-017-1963-9>.
- Chrzanoska A., Nosach L. V., Voronin E.F. et al. Effect of geometric modification of fumed nanoscale silica for medical applications on adsorption of human serum albumin: Physicochemical and surface properties. *Int J Biol Macromol*. 2022; 220: 1294–1308. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2022.08.183.
- Barinov S.V., Di Renzo G. C., Tsbizova V.I., Shifman E. M. et al. Detoxification Treatment In Gynecology Using A Modified Molded Sorbent // *Best Pract Res Clin Obstet Gynaecology*. 2023; 102346. doi: 10.1016/j.bpobgyn.2023.102346.
- Díez-Pascual A. M. State of the art in the antibacterial and antiviral applications of carbon-based polymeric nanocomposites. *Int J Mol Sci*. 2021; 22 (19): 10511–10539. doi: 10.3390/ijms221910511.
- Li H., He X., Jin B. et al. Synthesis, modification strategies and applications of coal-based carbon materials. *Fuel Process. Technol*. 2022; 230: 107203–107221. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2022.107203>.
- Amani H., Arzaghi H., Bayandori M. et al. Controlling Cell Behavior through the Design of Biomaterial Surfaces: A Focus on Surface Modification Techniques. *Adv. Mater. Interfaces*. 2019; 6: 1900572–1900602. doi: <https://doi.org/10.1002/admi.201900572>.
- Ekinci D., Şentürk M., Kfrevioğlu Ö. I. Salicylic acid derivatives: Synthesis, features and usage as therapeutic tools. *Expert Opinion on Therapeutic Patents*. 2011; 21: 1831–1841. doi: <https://doi.org/10.1517/13543776.2011.636354>.
- Кияшев Д. К. Антимикробная активность композиционных спиртовых растворов и их составляющих. // *Вестник Казахского национального медицинского университета*. 2014; 4: 293–301. [Kiyashev D. K. Antimicrobial activity of composite alcoholic solutions and their components *Vestnik Kazhaskhogo nacional'nogo medicinskogo universiteta*. 2014; 4: 293–301. (in Russian)]
- Ozsoy M., Atiroglu V., Eskiler G. G. et al. A protein-sulfosalicylic acid/boswellic acids @metal-organic framework nanocomposite as anticancer drug delivery system. *Colloids Surf. B: Biointerfaces*. 2021; 204: 111788. doi: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2021.111788>.
- Koksharova T., Slyvka Y., Savchenko O. et al. 5-Sulfosalicylate Cu(II), Zn(II) and Ni(II) coordination compounds with benzohydrazide: Synthesis, structure and luminescent properties. *J. Mol. Struct*. 2022; 1271 (2): 133980. doi: <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2022.133980>.

Дополнительная информация

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания Института катализа СО РАН (проект FWUR-2024-0039).

Авторы выражают благодарность врачу-бактериологу Т. Н. Соколовой за участие в проведении микробиологических испытаний образцов (БУЗОО «Городской клинический перинатальный центр», г. Омск).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

- Wächtershäuser A., Stein J. Rationale for the luminal provision of butyrate in intestinal diseases. *Eur J Nutr*. 2000; 39 (4): 164–171. doi: 10.1007/s003940070020.
- Kavanda L., Zhang W., Wei X. et al. *In vitro* antimicrobial activities of organic acids and their derivatives on several species of gram-negative and gram-positive bacteria. *Molecules*. 2019; 24: 3770. doi: 10.3390/molecules24203770.
- Kang S. N., Lee E., Lee M. K., Lim S. J. Preparation and evaluation of tributyrin emulsion as a potent anti-cancer agent against melanoma. *Drug Deliv*. 2011; 18: 143–149. doi: 10.3109/10717544.2010.522610.
- Сафронов С. П. Сложноэфирные пластифицирующие композиции из возобновляемого растительного сырья: Дис. ... канд. хим. наук. Самара, 2016: 112. <https://www.dissercat.com/content/slozhnoefirnye-plastifitsiruyushchie-kompozitsii-iz-vozobnovlyаемого-rastitelnogo-syrya>. [Safronov S. P. Ester plasticizing compositions from renewable vegetable raw materials, Thesis for Cand. Sci. in Chemistry. Samara, 2016: 112. <https://www.dissercat.com/content/slozhnoefirnye-plastifitsiruyushchie-kompozitsii-iz-vozobnovlyаемого-rastitelnogo-syrya> (in Russian)]
- Седанова А. В., Корниенко Н. В., Делягина М. С. и др. Исследование адсорбции салициловой кислоты на углеродный цеолит мезопористом сорбенте. В сборнике: *Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства: материалы 12-й Международной научно-технической конференции*, Россия, Омск, 16–19 февраля 2022 года. Издательство ОмГТУ. 2022: 12–13. [Sedanova A. V., Kornienko N. V., Delyagina M. S. et al. Study of adsorption of salicylic acid on carbon mesoporous sorbent. V sbornike: *Tekhnika i tekhnologiya neftekhimicheskogo i neftegazovogo proizvodstva: materialy 12-j Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii*, Rossiya, Omsk, 16–19 fevralya 2022 goda. Izdatel'stvo OmGTU. 2022: 12–13. (in Russian)]
- Лянова Л. Г., Лавренов А. В., Леонтьева Н. Н. и др. Физико-химические и биоспецифические свойства сорбента, полученного на основе наноглобулярного углерода и сульфосалициловой кислоты. В сборнике: *Актуальные физико-химические проблемы адсорбции и синтеза нанопористых материалов: Сборник трудов Всероссийского симпозиума с международным участием, посвященного памяти В.А. Авраменко*, 17–21 октября, 2022, Москва, ИФХЭ РАН. ИФХЭ РАН. 2022: 33. [Lyanova L. G., Lavrenov A. V., Leont'eva N. N. et al. Physicochemical and biospecific properties of the sorbent obtained on the basis of nanoglobular carbon and sulfosalicylic acid. V sbornike: *Aktual'nye fiziko-himicheskie problemy adsorbicii i sinteza nanoporistykh materialov: Sbornik trudov Vserossiyskogo simpoziuma s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennogo pamyati V.A. Avramenko*, 17–21 oktyabrya, 2022, Moskva, IFHE RAN. IFHE RAN. 2022: 33. (in Russian)]
- Sedanova A. V., Pyanova L. G., Delyagina M. S. et al. Modification of porous carbon sorbent with tributyrin. *Chem. for Sust. Develop*. 2022; 30: 522–531. doi: <https://doi.org/10.15372/CSD2022412>.
- Cueva C., Moreno-Arribas M.V., Martín-Álvarez P.J. et al. Antimicrobial Activity of Phenolic Acids against Commensal, Probiotic and Pathogenic Bacteria. *Research in Microbiology*. 2010; 161: 372–382. *Res Microbiol*. doi: 10.1016/j.resmic.2010.04.006.

Поступила / Received 27.12.2023
Принята в печать / Accepted 02.02.2024

Информация об авторах

Пьянова Лидия Георгиевна — д. б. н., доцент, ведущий научный сотрудник отдела материаловедения и физико-химических методов исследования Центра новых химических технологий Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Институт катализа им. Г. К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук» (Омский филиал), Омск, Россия. Author ID: 417502

Долгих Владимир Терентьевич — д. м. н., профессор, заслуженный деятель науки РФ, главный научный сотрудник НИИ общей реаниматологии им. В. А. Неговского Федерального научно-клинического центра реаниматологии и реабилитологии, Москва, Россия. Author ID: 540900

Седанова Анна Викторовна — к. х. н., старший научный сотрудник отдела материаловедения и физико-химических методов исследования Центра новых химических технологий Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Институт катализа им. Г. К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук» (Омский филиал), Омск, Россия. Author ID: 624733

Деягина Мария Сергеевна — к. х. н., научный сотрудник отдела материаловедения и физико-химических методов исследования Центра новых химических технологий Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Институт катализа им. Г. К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук» (Омский филиал), Омск, Россия. Author ID: 740476

Корниенко Наталья Викторовна — младший научный сотрудник отдела материаловедения и физико-химических методов исследования Центра новых химических технологий Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Институт катализа им. Г. К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук» (Омский филиал), Омск, Россия. Author ID: 741459

Наумкина Елена Витальевна — д. м. н., профессор кафедры микробиологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, зав. бактериологической лабораторией БУЗОО «Городской клинический перинатальный центр», Омск, Россия. Author ID: 753166

Лавренов Александр Валентинович — д. х. н., доцент, директор Центра новых химических технологий Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Институт катализа им. Г. К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук» (Омский филиал), Омск, Россия. Author ID: 363779

Дубровская Алена Владимировна — ассистент кафедры микробиологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, врач-бактериолог БУЗОО «Городской клинический перинатальный центр», Омск, Россия

About the authors

Lidia G. Pyanova — D. Sc. in Biology, Associate Professor, Leading Researcher at the Department of Materials Science and Physical and Chemical Research Methods of the Center for New Chemical Technologies, Center of New Chemical Technologies BIC, Boreskov Institute of Catalysis, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Omsk Branch), Omsk, Russia. Author ID: 417502

Vladimir T. Dolgikh — D. Sc. in Medicine, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Chief Researcher of the Research Institute of General Reanimatology named after V. A. Negovsky, Federal Research and Clinical Center of Intensive Care Medicine and Rehabilitology, Moscow, Russia. Author ID: 540900

Anna V. Sedanova — Ph. D. in Chemistry, senior researcher at the Department of Materials Science and Physical and Chemical Research Methods of the Center for New Chemical Technologies, Center of New Chemical Technologies BIC, Boreskov Institute of Catalysis, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Omsk Branch), Omsk, Russia. Author ID: 624733

Maria S. Delyagina — Ph. D. in Chemistry, researcher at the Department of Materials Science and Physical and Chemical Research Methods of the Center for New Chemical Technologies, Center of New Chemical Technologies BIC, Boreskov Institute of Catalysis, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Omsk Branch), Omsk, Russia. Author ID: 740476

Natalya V. Kornienko — Junior Researcher at the Department of Materials Science and Physical and Chemical Research Methods of the Center for New Chemical Technologies, Center of New Chemical Technologies BIC, Boreskov Institute of Catalysis, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Omsk Branch), Omsk, Russia. Author ID: 741459

Elena V. Naumkina — D. Sc. in Medicine, Professor of the Department of Microbiology, Omsk State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation; Head of the Bacteriological Laboratory, City Clinical Perinatal Center, Omsk, Russia. Author ID: 753166

Alexander V. Lavrenov — D. Sc. in Chemistry, Associate Professor, Director of the Center of New Chemical Technologies BIC, Boreskov Institute of Catalysis, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Omsk Branch), Omsk, Russia. Author ID: 363779

Alena V. Dubrovskaya — Assistant at the Department of Microbiology, Omsk State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation; bacteriologist at the City Clinical Perinatal Center, Omsk, Russia