DOI: 10.20953/2500-1027-2026-2-99-103

Бактериология, 2026, том 11, №2, с. 99–103
Bacteriology, 2026, volume 11, No 2, p. 99–103

Противомикробная активность полимерных комплексов сополимеров N-виниламидов и оксикоричной кислоты с катионными ПАВ

Е.П.Ананьева[1], С.В.Гурина[1], Е.Т.Подоляко[1], Н.А.Нестерова[2], Е.Ф.Панарин[2], А.М.Клабуков[3], А.А.Штро[3]

[1]ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский химико-фармацевтический университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Российская Федерация;
[2]Филиал ФГБУ «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П.Константинова» НИЦ «Курчатовский институт» – Институт высокомолекулярных соединений, Санкт-Петербург, Российская Федерация;
[3]ФГБУ «НИИ гриппа им. А.А.Смородинцева», Санкт-Петербург, Российская Федерация

Исследована антимикробная активность новых полимерных комплексов сополимеров N-виниламидов и оксикоричной кислоты с катионными поверхностно активными веществами (кПАВ) в отношении грамположительных и грамотрицательных бактерий, а также грибов рода Candida. Установлено, что полимерные комплексы обладали более выраженным антимикробным действием, чем свободные кПАВ (алкилдиметилбензиламмония хлорид, полиоксиалкилгуанидин, полигексаметиленгуанидин гидрохлорид). Выявлены наиболее активные соединения. При изучении цитотоксического действия показано, что полимерные комплексы оказались менее токсичными, чем исходные антимикробные ПАВ.
Ключевые слова: поверхностно-активные вещества, катамин АБ, экосепт, биопаг, антимикробная активность, минимальная ингибирующая концентрация, цитотоксичность

Для цитирования: Ананьева Е.П., Гурина С.В., Подоляко Е.Т., Нестерова Н.А., Панарин Е.Ф., Клабуков А.М., Штро А.А. Противомикробная активность полимерных комплексов сополимеров N-виниламидов и оксикоричной кислоты с катионными ПАВ. Бактериология. 2026; 11(2): 99–103. DOI: 10.20953/2500-1027-2026-2-99-103

Antimicrobial activity of polymer complexes of copolymers of N-vinylamides and hydroxycinnamic acid with cationic surfactants

E.P.Ananyeva[1], S.V.Gurina[1], E.T.Podolyako[1], N.A.Nesterova[2], E.F.Panarin[2], A.M.Klabukov[3], A.A.Shtro[3]

[1]Saint-Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University, Saint Petersburg, Russian Federation;
[2]Branch of the B.P.Konstantinov Petersburg Nuclear Physics Institute of the National Research Center «Kurchatov Institute» – Institute of Macromolecular Compounds, Saint Petersburg, Russian Federation;
[3]A.A.Smorodintsev Research Institute Influenza, Saint Petersburg, Russian Federation

The antimicrobial activity of new polymer complexes of N-vinylamide and hydroxycinnamic acid copolymers with cationic surfactants (cSAS) against gram-positive and gram-negative bacteria, as well as Candida fungi, was studied. The polymer complexes were found to exhibit a more pronounced antimicrobial effect than free cSAS (alkyl dimethyl benzyl ammonium chloride, polyoxyalkyl guanidine, and polyhexamethylene guanidine hydrochloride). The most active compounds were identified. A study of the cytotoxic effect showed that the polymer complexes were less toxic than the original antimicrobial surfactants.
Key words: surfactants, katamine AB, ecosept, biopag, antimicrobial activity, minimum inhibitory concentration, cytotoxicity

For citation: Ananyeva E.P., Gurina S.V., Podolyako E.T., Nesterova N.A., Panarin E.F., Klabukov A.M., Shtro A.A. Antimicrobial activity of polymer complexes of copolymers of N-vinylamides and hydroxycinnamic acid with cationic surfactants. Bacteriology. 2026; 11(2): 99–103. (In Russian). DOI: 10.20953/2500-1027-2026-2-99-103

В группе эффективных противомикробных препаратов неспецифического действия существенное место занимают катионные поверхностно-активные вещества (кПАВ), в частности четвертичные аммониевые соединения (ЧАС), среди которых можно выделить алкилдиметилбензиламмоний хлорид (АДБАХ) [1, 2]. кПАВ широко применяются в раз-

Для корреспонденции:

Гурина Светлана Владимировна, кандидат биологических наук, доцент кафедры микробиологии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский химико-фармацевтический университет» Минздрава России

Адрес: 197376, Санкт-Петербург, ул. проф. Попова, 14, лит. А
E-mail: svetlana.gurina@pharminnotech.com
ORCID: 0000-0002-4072-405X

Статья поступила 08.02.2026, принята к печати 30.06.2026

For correspondence:

Svetlana V. Gurina, PhD in Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Microbiology, Saint Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University

Address: 14, lit. A prof. Popov str., Saint Petersburg, 197376, Russian Federation
E-mail: svetlana.gurina@pharminnotech.com
ORCID: 0000-0002-4072-405X

The article was received 08.02.2026, accepted for publication 30.06.2026

личных областях: обработка поверхностей, предотвращение коррозии металла, создание моющих и дезинфицирующих средств на их основе и пр. кПАВ обладают такими достоинствами, как высокая противомикробная эффективность, хорошие моющие свойства, отсутствие резкого запаха. Они хорошо растворимы в воде и стабильны при длительном хранении. Однако у кПАВ имеются недостатки, ограничивающие их применение, а именно быстрое формирование резистентности микроорганизмов к ним [3]. Кроме того, АДБАХ оказывает цитотоксическое действие на клетки млекопитающих [4], что ограничивает его применение в качестве антисептика. Именно поэтому целесообразно искать способы повышения эффективности и снижения токсичности кПАВ для расширения сфер применения, в частности АДБАХ. Некоторые полимерные соединения используются в качестве носителей в фармацевтической, биомедицинской областях, например для доставки активного вещества и повышения эффективности противомикробных агентов [5–7]. Кроме того, использование определенных полимеров для образования комплексов с антимикробными соединениями приводило к повышению противомикробной активности [8].

Целью данной работы являлось изучение и сравнительная оценка антимикробного и цитотоксического действия комплексов кПАВ с синтетическими полимерами на основе N-виниламидов (ВА) и оксикоричной кислоты (ОКК).

Материалы и методы

В работе использовали полимерные комплексы сополимеров ВА и ОКК с ПАВ, полученные в лаборатории гидрофильных полимеров филиала НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ – ИВС [9, 10]. Три из них (I–III) содержат звенья N-винилпирролидона (ВП), пять (IV–VIII) – N-винилформамида (ВФА), один (IX) – N-метил-N-винилацетамида (МВАА). Комплексы хорошо растворимы в воде, 0,9%-м растворе NaCl и мясопептонном бульоне (МПБ), устойчивы при комнатной температуре и нагревании до 80°С. В качестве кПАВ использовали: АДБАХ – торговая марка – Катамин АБ, поли(4,9-диоксадодекангуанидин)-гидрохлорид (ПОАГ) – торговая марка «Экосепт», полигексаметиленгуанидин гидрохлорид (ПГМГхл) – торговая марка «Биопаг».

Исследование противомикробной активности синтезированных соединений проводили с использованием тест-микроорганизмов: *Staphylococcus aureus* ATCC 6538, *Bacillus subtillis* ATCC 6633, *Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 15412. Противогрибковую активность определяли в отношении *Candida albicans* ATCC 10231. Данные штаммы бактерий и грибов были выбраны для анализа согласно общей фармакопейной статье [11].

Антимикробную активность комплексов определяли методом двукратных серийных разведений в жидкой питательной среде (МПБ) или жидкой среде Сабуро с последующим высевом на соответствующие плотные питательные среды.

Микробная нагрузка соответствовала 105 микробных клеток в 1 мл. Посевы бактерий инкубировали в термостате при температуре 37°С в течение 24 ч, грибов – 48 ч при температуре 24°С.

Минимальную ингибирующую концентрацию (МИК) определяли по наименьшему разведению образца, которое задерживало размножение культуры в пробирке с жидкой питательной средой. Для определения минимальной ингибирующей микробоцидной (МИКц) или микробостатитической (МИКст) концентрации делали высев из пробирок с видимым подавлением роста на плотную питательную среду. Отсутствие роста микроорганизма на плотной питательной среде свидельствовало о микробоцидном действии. МИКст определяли по появлению роста культуры на плотной среде.

Эксперименты для каждой микробной культуры проводили в трехкратном повторении.

Изучение цитотоксичности синтезированных комплексов проводили *in vitro*. Для определения использовали клеточные линии: эпидермоидной карциномы гортани человека (клетки Hep-2), почечного эпителия зеленой мартышки (клетки Vero), клеточной линии почки собаки (клетки MDCK). Клеточные линии получали из музея клеточных культур ФГБУ «НИИ гриппа им. А.А.Смородинцева» Минздрава России.

Для каждого из полимерных соединений делали серию двукратных разведений в питательной среде DMEM до концентрации 0,98 мкг/мл (исходная концентрацию составляла 1000 мкг/мл). Перед заливкой растворов полимеров из планшетов удаляли ростовую среду, которая содержит сыворотку, промывали клеточный монослой питательной средой с антибиотиком. Затем в лунки вносили растворы полимерных комплексов с ПАВ. Инкубацию клеток производили при 37°С в атмосфере 5% CO_2. Оценивали жизнеспособность клеток с использованием метилтетразолиевого теста [12]. Из лунок удаляли питательную среду, после чего в них вносили раствор 3-4,5-диметилтиазол-2-ил-2,5-дифенилтетразолия бромида 0,5 мг/мл в объеме 100 мкл/лунку. Затем планшеты на 2 ч помещали в CO_2-инкубатор до восстановления соли тетразолия с образованием голубоватых кристаллов формазана. После этого жидкость удаляли, в лунки добавляли по 100 мкл диметилсульфоксида и измеряли оптическую плотность реакционной смеси при длине волны 450 нм на микропланшетном ридере Allsheng AMR-100. С помощью полученных значений оптической плотности вычисляли $ЦТД_{50}$ (50%-я цитототоксическая доза) – дозу вещества в лунке, при которой наблюдают 50%-ю деструкцию клеточного монослоя.

Результаты исследования их и обсуждение

В табл. 1 приведены характеристики полимерных комплексов на основе сополимеров ВА (продукты совместной полимеризации винилхлорида и винилацетата): ВП, ВФА, МВАА с ОКК. Сополимеры ВА-ОКК получали в 2 этапа. На первом этапе методом радикальной сополимеризации синтезировали сополимеры ВА с кумарином. На втором этапе методом полимераналогичных превращений гидролизовали лактонное кольцо звеньев кумарина раствором 0,1 н. NaOH с образованием натриевой соли оксикоричной кислоты (OKNa). Молекулярную массу сополимеров оценивали с помощью характеристической вязкости, определенной в растворе 0,1 н. NaCl при 25°С, состав и строение подтверждали спектрофотометрическими методами.

Полимерные водорастворимые комплексы сополимеров ВА-OKNa с кПАВ формировали в водной среде потенциометрическим титрованием растворов сополимеров ВП-ОКК,

Таблица 1. **Состав и строение полимерных комплексов сополимеров N-виниламидов (m1) и оксикоричной кислоты (m2) с кПАВ**
Table 1. ***Composition and structure of polymer complexes of copolymers of N-vinylamides (m1) and hydroxycinnamic acid (m2) with cationic surfactants***

№ комплекса / *Complex number*	ВА	Состав полимера-носителя, мол% / *Composition of the carrier polymer, mol%*		кПАВ / *cationic surfactants*	Содержание ПАВ в комплексе, масс% / *Surfactant content in the complex, mass%*
		m1	m2		
I	ВП	89	11	АДБАХ	3,5
II	ВП	60	40	АДБАХ	15
III	ВП	56	44	АДБАХ	16
IV	ВФА	62	38	АДБАХ	3,6
V	ВФА	80	20	АДБАХ	2
VI	ВФА	84	16	АДБАХ	1,8
VII	ВФА	84	16	АДБАХ – ПОАГ	1,2 + 0,6
VIII	ВФА	84	16	АДБАХ – ПГМГхл	1,2 + 0,6
IX	МВАА	84	16	АДБАХ	2,5

ВА – продукты совместной полимеризации винилхлорида и винилацетата.
ВА – products of joint polymerization of vinyl chloride and vinyl acetate; АДБАХ – alkyl dimethyl benzyl ammonium chloride; ПОАГ – poly-(4,9-dioxadodecaneguanidine) hydrochloride; ПГМГхл – polyhexamethylene guanidine hydrochloride.

ВФА-ОКК, МВАА-ОКК 0,1%-ми водными растворами кПАВ. Комплексы из раствора выделяли лиофильной сушкой.

Все образцы являются производными АДБАХ, но в состав соединений VII, VIII дополнительно включены ПОАГ и ПГМГхл.

При изучении антибактериальной и противогрибковой активности полимерных комплексов в качестве препаратов сравнения для всех соединений использовали раствор АДБАХ. Для комплексов VII, VIII в качестве препаратов сравнения использовали смеси АДБАХ с растворами ПОАГ и ПГМГхл в соотношении 2:1 соответственно. Полимерные носители антимикробным действием не обладали.

Были определены значения МИКст и МИКц (табл. 2).

Концентрации кПАВ в комплексах приведены в пересчете на активное вещество (ПАВ).

Все исследуемые полимерные комплексы в условиях эксперимента обладали бактерицидным и фунгицидным действием, а некоторые из них (I, IV, VI, VIII, IX) проявляли бактеристатический и фунгистатический эффекты в отношении культур *S. aureus* и *C. albicans*.

В активных соединениях содержание звеньев ОКК не превышало 20%, кроме соединения IV. Отмечена зависимость антимикробной активности полимерных комплексов кПАВ от структуры полимера-носителя. Формирование внутримолекулярных контактов в макромолекулах полимеров-носителей с участием ионов АБДАХ приводит к изменению конформационного состояния макромолекул сополимеров в водном растворе [13]. При смене ВП в сополимерах ВА-ОКК на ВФА или МВАА изменяются конформация полимерного комплекса и локальная концентрация ПАВ в цепи макромолекулы, что, вероятно, влияло на антимикробную активность.

Наиболее эффективное действие в отношении грамположительных бактерий оказывал комплекс на основе ВФА (VII), в состав которого входит смесь двух антимикробных соединений – ПОАГ и АДБАХ: МИКц в отношении *S. aureus* – 0,27 мкг/мл, МИКц в отношении *B. subtillis* – 0,32 мкг/мл. Следующими по активности в отношении *S. aureus* и *B. subtillis* являлись комплексы I, IV, VI, VIII, IX. Кроме того, у соединений I, IV, V, VI, VIII, IX отмечено бактеристатическое действие в отношении *S. aureus*, которое не наблюдали в отношении *B. subtilis*. Таким образом, соединения I–IX проявляли антимикробную активность, превышающую активность свободного кПАВ (табл. 2).

Соединение VII проявило более высокую противогрибковую активность (более чем в 2 раза) в отношении *C. albicans*, чем исследуемые соединения (I, IV, V, VI, IX), которые содержали только АДБАХ (табл. 2). Фунгицидное действие соеди-

Таблица 2. **Противомикробная активность синтезированных полимерных комплексов и свободных кПАВ**
Table 2. **Antimicrobial activity of synthesized polymer complexes and free cationic surfactants**

Соединения / *Compounds*	Тест-микроорганизмы / *Test microorganisms*							
	S. aureus		*E. coli*		*B. subtillis*		*C. albicans*	
	Концентрация активного вещества, мкг/мл / *Concentration of active substance, μg/m*							
	$МИК_ц$	$МИК_{ст}$	$МИК_ц$	$МИК_{ст}$	$МИК_ц$	$МИК_{ст}$	$МИК_ц$	$МИК_{ст}$
I	0,54	0,27	33,5	–	0,65	–	0,87	0,43
II	1,7	–	44,7	–	1,3	–	1,7	–
III	1,7	–	44,7	–	1,7	–	1,3	–
IV	0,87	0,43	44,7	–	0,87	–	0,54	0,27
V	0,54	0,27	44,7	–	1,3	–	0,87	–
VI	0,54	0,27	44,7	–	0,54	–	0,87	0,43
VII	0,27	–	1,7	–	0,32	–	0,27	–
VIII	0,54	0,27	1,7	–	0,65	–	0,54	0,27
IX	0,54	0,27	27,9	–	0,87	–	0,54	0,27
АДБАХ	3,5	–	224	–	2,6	–	2,6	–
АДБАХ-ПОАГ	1,7	–	112	–	1,7	–	2,6	–
АДБАХ-ПГМГхл	3,5	–	224	–	2,6	–	3,5	–

$МИК_ц$ – minimum inhibitory microbicidal concentration; $МИК_{ст}$ – minimum inhibitory microbiostatic concentration.

нений, содержащих >20 мол.% звеньев ОКК (II, III), было менее эффективным, чем ингибирующий эффект соединений I, IV, VI, IX, которые оказывали и фунгистатическое действие.

Таким образом, включение дополнительных катионных ПАВ в состав полимерных комплексов повышало их антимикробную активность, что обусловлено созданием более высокой локальной концентрации кПАВ в комплексе. Комплексы с ПОАГ-АДБАХ и ПГМГхл-АДБАХ активнее исходных ПАВ, не связанных с полимерами-носителями. Кроме того, полимерный комплекс VII, содержащий АДБАХ и ПОАГ, был более эффективен в отношении грамположительных бактерий и дрожжей, чем комплекс VIII, включающей АДБАХ и ПГМГхл.

Изучение цитотоксичности полимерных комплексов проводили на клеточных культурах *in vitro*: Нер-2 (клетки эпидермоидной карциномы гортани человека), Vero (клетки почечного эпителия зеленой мартышки), MDCK (клетки почки собаки). В табл. 3 представлены значения цитотоксических доз (ЦТД50, мкг/мл), при которых выживает половина эукариотических клеток. Цитотоксическое действие рассчитывали на массу АДБАХ, ПОАГ и ПГМГхл, содержащихся в синтезированных комплексах (мкг/мл), поскольку сами полимеры-носители нетоксичны. Чем выше значения $ЦТД_{50}$, тем менее токсично поверхностно-активное вещество.

Включение кПАВ в состав полимерных комплексов снижало их цитотоксичность. Показано, что цитотоксическое действие исследуемых полимерных комплексов ниже в среднем в 1,5 раза, чем исходных кПАВ (табл. 3).

Все полимерные комплексы, а также растворы АДБАХ, ПОАГ и ПГМГхл оказали наибольшее цитотоксическое действие на клетки НЕр2 эпидермоидной карциномы гортани человека, а наименьшую токсичность проявили в отношении клеточной линии почки собаки. Комплекс VII, в состав которого входил ПОАГ, оказался менее токсичным в отношении всех исследуемых культур клеток, чем образец VIII, включающий ПГМГхл.

Таблица 3. **Цитотоксическое действие полимерных комплексов I–IX, АДБАХ и соединений на основе гуанидина на культуры клеток *in vitro***
Table 3. ***Cytotoxic effect of polymer complexes I–IX, ADBAC and guanidine-based compounds on cell cultures in vitro***

Соединения / *Compounds*	Культуры клеток / *Cell cultures*		
	HEp2	Vero	MDCK
	$ЦТД_{50}$, мкг/мл		
I	4,1	4,4	4,8
II	3,9	4,2	4,7
III	3,9	4,3	4,7
IV	4	4,3	4,8
V	4,1	4,5	4,9
VI	4,1	4,4	4,8
VII	3,8	4,1	4,4
VIII	3,6	3,8	4,3
IX	4,4	4,7	5,1
АДБАХ	2,7	2,9	3,3
ПОАГ	3,1	3,4	3,8
ПГМГхл	2,7	3	3,2

Заключение

Изучена противомикробная активность синтезированных моно и бикомпонентных комплексов кПАВ (АДБАХ, ПОАГ и ПГМГхл) с сополимерами N-виниламидов (ВП, ВФА, МВАА) и ОКК, а также исследована их цитотоксичность.

Показано, что полученные полимерные комплексы проявили выраженную антимикробную активность в отношении грамположительных бактерий *S. aureus* и спорообразующих *B. subtilis*, а также грибов рода Candida, в среднем в 4–5 раз превышающую активность свободных кПАВ. Наиболее активным соединением оказался комплекс на основе ВФА (VII), содержащий два антимикробных компонента: АДБАХ и ПОАГ. Кроме того, включение комбинации антимикробных кПАВ (АДБАХ с ПОАГ, АДБАХ с ПГМГхл) в полимерные комплексы привело к снижению их цитотоксического действия на клетки эукариот.

Источники финансирования
Работа выполнена в рамках бюджетного финансирования.
Funding
This work was supported by budget financing

Конфликт интересов
Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими организациями), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Conflict of interest
The authors have no relationships, activities, or interests with third parties (commercial or non-commercial organizations) to declare that could have influenced the work reported in this paper in the last three years.

Вклад авторов
Ананьева Е.П. – экспериментальная работа, написание статьи; Гурина С.В. – экспериментальная работа, написание статьи; Подоляко Е.Т. – экспериментальная работа; Нестерова Н.А. – экспериментальная работа, написание статьи; Панарин Е.Ф. – анализ результатов экспериментов; Клабуков А.М. – эксперименты по определению цитотоксичности соединений; Штро А.А. – анализ результатов.

Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты настоящей работы, гарантируют надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой ее части.

Author contributions
Ananyeva E.P. – experimental work, article writing; Gurina S.V. – experimental work, article writing; Podolyako E.T. – experimental work; Nesterova N.A. – experimental work, article writing; Panarin E.F. – analysis of experimental results; Klabukov A.M. – experiments to determine the cytotoxicity of compounds; Shtro A.A. – analysis of results.

All authors have read and approved the final manuscript and agree to be accountable for all aspects of the work, ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Генеративный искусственный интеллект

При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

Generative artificial intelligence

No generative artificial intelligence technologies were used in the preparation of this article.

Литература / References

1. Дегтярева ИА, Давлетбаев АМ, Миникаев ДТ. Перспективные бактерициды для предотвращения биокоррозии нефтепромыслового оборудования. Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. 2022;1:121-134. DOI: 10.15593/2224-9400/2022.1.09 / Dyagtereva IA, Davletbaev AM, Minikaev DT. Promising bacteriocides for preventing biocorrosion of oilfield equipment. Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Chemical Technology and Biotechnology. 2022;1:121-134. DOI: 10.15593/2224-9400/2022.1.09 (In Russian).
2. Батраков А, Виденин В. Роль и эффективность новых антисептиков и дезинфектантов из группы ПАВ. Ветеринария сельскохозяйственных животных. 2023;11:52-57. / Batrakov AYa, Videnin VN. The role and effectiveness of new antiseptics and disinfectants from the surfactant group. Veterinary Science of Farm Animals. 2023;11:52-57. (In Russian).
3. Ковальчук СН, Федорова ЛС, Ильина ЕН. Молекулярные механизмы микробной устойчивости к дезинфицирующим средствам. Антибиотики и химиотерапия. 2023;68(1-2):45-56. DOI: 10.37489/0235-2990-2023-68-1-2-45-56 / Kovalchuk SN, Fedorova LS, Ilina EN. Molecular mechanisms of microbial resistance to disinfectants. Antibiotics and Chemotherapy. 2023;68(1-2):45-56. DOI: 10.37489/0235-2990-2023-68-1-2-45-56 (In Russian).
4. Еропкин МЮ, Еропкина ЕМ, Смирнова ТД, Литвинова ОМ, Киселев ОИ. Показатели клеточного метаболизма *in vitro* в исследовании антивирусных и антимикробных препаратов и скрининге цитопротекторных соединений [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://old.influenza.spb.ru/files/File/pokkletmet.pdf. / Eropkin MYu, Eropkina EM, Smirnova TD, Litvinova OM, Kiselev OI. Indicators of cellular metabolism *in vitro* in the study of antiviral and antimicrobial drugs and screening of cytoprotective compounds [Electronic resource]. Available at: https://old.influenza.spb.ru/files/File/pokkletmet.pdf. (In Russian).
5. Bromberg L, Magariños B, Torres BS, Santos Y, Concheiro A, Hatton TA, et al. Multifunctional polymeric guanidine and hydantoin halamines with broad biocidal activity. Int J Pharm. 2024 Feb 15;651:123779. DOI: 10.1016/j.ijpharm.2024.123779
6. Мисин ВМ, Зезин АА, Климов ДИ, Сыбачин АВ, Ярославов АА. Биоцидные полимерные рецептуры и покрытия. Высокомолекулярные соединения. Серия Б. 2021;63(5):295-306. DOI: 10.31857/S2308113921050077 / Misin VM, Zezin AA, Klimov DI, Sybachin AV, Yaroslavov AA. Biocidal polymer formulations and coatings. High molecular weight compounds. Serie B. 2021;63(5):295-306. DOI: 10.31857/S2308113921050077 (In Russian).
7. Franco P, De Marco I. The Use of Poly(N-vinyl pyrrolidone) in the Delivery of Drugs: A Review. Polymers (Basel). 2020 May 13;12(5):1114. DOI: 10.3390/polym12051114
8. Афиногенов ГЕ, Панарин ЕФ. Антимикробные полимеры. СПб.: Гиппократ, 1993. / Afinogenov GE, Panarin EF. Antimicrobial polymers. SPb.: Hippocrates, 1993. (In Russian).
9. Нестерова НА, Захарова НВ, Сажина ЮА, Гаврилова ИИ, Панарин ЕФ. Влияние условий синтеза на молекулярные характеристики сополимеров кумарина с N-винилпирролидоном. Журнал общей химии. 2023;93(12):1937-1942. DOI: 10.31857/S0044460X23120132 / Nesterova NA, Zakharova NV, Sazhina YuA, Gavrilova II, Panarin EF. Effect of synthesis conditions on molecular characteristics of coumarin and N-vinylpyrrolidone copolymers. Russian Journal of General Chemistry. 2023;93(12):1937-1942. DOI: 10.31857/S0044460X23120132 (In Russian).
10. Подоляко ЕТ, Гурина СВ, Нестерова НА. Получение полимерных комплексов кумарина и исследование их биологической активности. Проблемы медицинской микологии. 2024;26(2):189. / Podolyako ET, Gurina SV, Nesterova NA. Preparation of polymeric coumarin complexes and study of their biological activity. Problems of Medical Mycology. 2024;26(2):189. (In Russian).
11. ОФС.1.2.4.0002.15 Микробиологическая чистота [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia-projects/izdanie-13/1/1-2/1-2-4/1-2-4-2/?vers=1243&ysclid=lwj4dzx8cp568405779 (дата обращения 04.06.2026). / Microbiological purity. [Electronic resource]. Available at: https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia-projects/izdanie-13/1/1-2/1-2-4/1-2-4-2/?vers=1243&ysclid=lwj4dzx8cp568405779 (accessed 04.06.2026). (In Russian).
12. Niks M, Otto M. Towards an Optimized MTT Assay Journal of Immunological Methods. 1990;130(1):149-151. DOI: 10.1016/0022-1759(90)90309
13. Соловский МВ. Синтез и свойства гидрофильных реакционноспособных сополимеров, антимикробных и иммуногенных веществ на их основе. Автореф. дисс. ... докт. хим. наук: 02.00.06. СПб., 1996. / Solovsky MV. Synthesis and properties of hydrophilic reactive copolymers, antimicrobial and immunogenic substances based on them. Avtoref. diss. ... dokt. khim. nauk: 02.00.06. SPb., 1996. (In Russian).

Информация о соавторах:

Ананьева Елена Петровна, кандидат биологических наук, доцент кафедры микробиологии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский химико-фармацевтический университет» Минздрава России

Подоляко Елизавета Тарасовна, студентка ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский химико-фармацевтический университет» Минздрава России

Нестерова Наталья Александровна, научный сотрудник лаборатории гидрофильных полимеров филиала ФГБУ «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П.Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» – Институт высокомолекулярных соединений

Панарин Евгений Фёдорович, член-корреспондент РАН, профессор РАН, доктор химических наук, заведующий лаборатории гидрофильных полимеров филиала ФГБУ «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П.Константинова НИЦ «Курчатовский институт» – Институт высокомолекулярных соединений
ORCID: 0000-0002-7005-5838

Клабуков Артём Маркович, младший научный сотрудник лаборатории химиотерапии вирусных инфекций ФГБУ «НИИ гриппа им. А.А.Смородинцева» Минздрава России

Штро Анна Андреевна, кандидат биологических наук, заведующая лабораторией химиотерапии вирусных инфекций ФГБУ «НИИ гриппа им. А.А.Смородинцева» Минздрава России
ORCID: 0000-0002-2295-1881

Information about co-authors:

Elena P. Ananyeva, PhD in Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Microbiology, Saint Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University

Elizaveta T. Podolyako, student of Saint Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University

Natalia A. Nesterova, Researcher of the Laboratory of Hydrophilic Polymers of the Branch of the «B.P.Konstantinov Petersburg Nuclear Physics Institute of the National Research Center «Kurchatov Institute» – Institute of Macromolecular Compounds
ORCID: 0000-0002-7005-5838

Evgeny F. Panarin, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, Professor, PhD, DSc in Chemical Sciences, Head of the Laboratory of Hydrophilic Polymers of the Branch of the «B.P.Konstantinov Petersburg Nuclear Physics Institute of the National Research Center «Kurchatov Institute» – Institute of Macromolecular Compounds
ORCID: 0000-0002-7005-5838

Artem M. Klabukov, Junior Researcher at the Laboratory of Chemotherapy for Viral Infections at the A.A.Smorodintsev Research Institute of Influenza

Anna A. Shtro, PhD in Biological Sciences, Head of the Laboratory of Chemotherapy for Viral Infections at the A.A.Smorodintsev Research Institute of Influenza
ORCID: 0000-0002-2295-1881