

Научно-исследовательский журнал «*Chemical Bulletin*»

<https://cb-journal.ru>

2025, Том 8, № 3 / 2025, Vol. 8, Iss. 3 <https://cb-journal.ru/archives/category/publications>

Научная статья / Original article

УДК 57.085.23

DOI: 10.58224/2619-0575-2025-8-4-5

Влияние амфифильных полимеров на фотодинамическую активность метиленового синего и бенгальского розового в экспериментах *in vitro*

^{1,2} Аксенова Н.А. *,
¹ Курьянова А.С.,
¹ Кардунян В.В.,
¹ Копылов А.С.,
¹ Шершнев И.В.,
^{3,4} Бирюков М.В.,
⁵ Мехтиев А.Р.,
^{1,2,4} Тимашев П.С.,
¹ Соловьева А.Б.,

¹ Федеральный исследовательский центр химической физики имени Н.Н. Семенова Российской академии наук,

² Институт регенеративной медицины, Первый московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Минздрава России,

³ Научно-технологический университет «Сириус»,

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,

⁵ Научно-исследовательский институт биомедицинской химии имени В.Н. Ореховича Минздрава России,

* Ответственный автор E-mail: naksenova@mail.ru

Аннотация: цели: исследовать влияние амфифильных полимеров на темновую и фотоиндуцированную токсичность красителей с фотосенсибилизирующими свойствами – метиленового синего (МС) и бенгальского розового (БР) в экспериментах *in vitro*.

Методы. Эксперименты *in vitro* проведены на клетках карциномы легкого человека A549 и на культурах грамотрицательных (синегнойная палочка) и грамположительных (золотистый стафилокок) бактериальных клеток с использованием фототерапевтического светодиода с длиной волны $\lambda = 530$ нм (в случае БР) или $\lambda = 660$ нм (в случае МС).

Результаты. Показано, что амфифильные полимеры (плюроник F-108 и поли-N-винилпирролидон) усиливают темновую и фотоиндуцированную токсичность красителей. Также показано, что МС проявляет большую активность (по сравнению с БР) в процессах фотодинамической инактивации грамотрицательных бактерий, а БР (по сравнению с МС) – в инактивации грамположительных бактерий.

Выводы. МС в комплексе с амфифильными полимерами является потенциальным препаратом выбора как для фотодинамической терапии (ФДТ) онкологических заболеваний, так и для антибактериальной ФДТ в отношении грамотрицательных бактерий. В то же время системы на основе БР являются перспективными при разработке препаратов для антибактериальной ФДТ в отношении грамположительных бактерий.

Ключевые слова: метиленовый синий, бенгальский розовый, амфифильные полимеры, токсичность, фотодинамическая терапия

Для цитирования: Аксенова Н.А., Курьянова А.С., Кардумян В.В., Копылов А.С., Шершнева И.В., Бирюков М.В., Мехтиев А.Р., Тимашев П.С., Соловьева А.Б. Влияние амфифильных полимеров на фотодинамическую активность метиленового синего и бенгальского розового в экспериментах *in vitro* // Chemical Bulletin. 2025. Том 8. № 4. 5. DOI: 10.58224/2619-0575-2025-8-4-5

Поступила в редакцию: 16 июня 2025 г.; Одобрена после рецензирования: 4 сентября 2025 г.; Принята к публикации: 7 ноября 2025 г.

* Ответственный автор E-mail:
* Corresponding author E-mail:

Effect of amphiphilic polymers on the photodynamic activity of methylene blue and rose bengal *in vitro* experiments

^{1,2} Aksenova N.A. *,
¹ Kuryanova A.S.,
¹ Kardumyan V.V.,
¹ Kopylov A.S.,
¹ Shershnev I.V.,
^{3,4} Biryukov M.V.,
⁵ Mehdiev A.R.,
^{1,2,4} Timashev P.S.,
¹ Solovieva A.B.,

¹ N.N. Semenov Federal Research Center for Chemical Physics of the Russian Academy of Sciences,

² Institute of Regenerative Medicine, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation,

³ Sirius University of Science and Technology,

⁴ Lomonosov Moscow State University,

⁵ V.N. Orekhovich Research Institute of Biomedical Chemistry, Ministry of Health of the Russian Federation,

* Corresponding author E-mail: naksenova@mail.ru

Abstract: Objectives: To study the effect of amphiphilic polymers on the dark and photoinduced toxicity of dyes with photosensitizing properties – methylene blue (MB) and rose bengal (RB) – in *in vitro* experiments.

Methods. *In vitro* experiments were carried out on human lung carcinoma A549 cells and on cultures of gram-negative (*Pseudomonas aeruginosa*) and gram-positive (*Staphylococcus aureus*) bacterial cells using a phototherapeutic LED with a wavelength of $\lambda = 530$ nm (for the RB) or $\lambda = 660$ nm (for the MB).

Results. Amphiphilic polymers (Pluronic F-108 and poly-N-vinylpyrrolidone) were shown to enhance the dark and photoinduced toxicity of dyes. MB was also shown to exhibit greater activity (compared to RB) in photodynamic inactivation of Gram-negative bacteria, while RB (compared to MB) was shown to exhibit greater activity in the inactivation of Gram-positive bacteria.

Conclusions. MB in combination with amphiphilic polymers is a potential drug of choice for both photodynamic therapy (PDT) of cancer and antibacterial PDT of Gram-negative bacteria. At the same time, RB-based systems hold promise for the development of antibacterial PDT of Gram-positive bacteria.

Keywords: methylene blue, rose bengal, amphiphilic polymers, toxicity, photodynamic therapy

For citation: Aksenova N.A., Kuryanova A.S., Kardumyan V.V., Kopylov A.S., Shershnev I.V., Biryukov M.V., Mehdiev A.R., Timashev P.S., Solovieva A.B. Effect of amphiphilic polymers on the photodynamic activity of methylene blue and rose bengal *in vitro* experiments. Chemical Bulletin. 2025. 8 (4). 5. DOI: 10.58224/2619-0575-2025-8-4-5

The article was submitted: 16 June 20, 2025; Approved after reviewing: September 4, 2025; Accepted for publication: November 7, 2025.

Введение

Фотодинамическая терапия (ФДТ) – один из методов, хорошо зарекомендовавших себя как в лечении раковых опухолей, так и в лечении локальных повреждений кожи различной этиологии. Метод, первоначально разработанный для терапии рака, может стать эффективным способом борьбы с длительно незаживающими гнойными ранами мягких тканей. При этом важно, что у бактерий отсутствует резистентность в отношении ФДТ [1-6]. Следует отметить также, что ФДТ используется для лечения локальных инфекций в стоматологии [7], отоларингологии [8], офтальмологии [9].

Механизм ФДТ разработан достаточно полно [10-20]. Для осуществления ФДТ необходимо два компонента – фотосенсибилизатор (ФС), – вещество, повышающее чувствительность тканей к свету, и свет с длиной волны, совпадающей с полосой поглощения ФС. Третий компонент – кислород, который имеется в достаточном количестве. Исследования показывают, что эффективность ФДТ определяется типом фотосенсибилизатора и клеток, а также особенностями субклеточно-го/тканевого накопления ФС [13-20].

В последнее время наряду с порфириновыми ФС (фотогем, фотодитазин, аласенс) исследуется возможность использования в качестве ФС более дешевых и доступных (по сравнению с порфиринами) красителей синтетического и природного происхождения (метиленовый синий, толуидиновый синий, бенгальский розовый, куркумин, гиперицин), способных генерировать при возбуждении синглетный 1O_2 кислород [9, 21-25].

Ранее нами было показано, что использование ФС в комплексе с АП повышает фотодинамическую активность порфиринов и хлоринов в отношении опухолевых клеток в экспериментах *in vitro*, а также в экспериментах *in vivo* при лечении ран у модельных животных [5, 26].

При выборе ФС для осуществления ФДТ в качестве одного из основных критериев рассматривают величины квантового выхода генерации синглетного кислорода, ФД, в его присутствии. Так, часто используемые в офтальмологии доступные и относительно дешевые красители бенгальский розовый и метиленовый синий имеют значения ФД в воде $\sim 0,8$ и ФД $\sim 0,5$, соответственно [23, 27]. При этом эффективность ФС в антимикробной ФДТ (АФДТ) определяется также зарядовым состоянием фотосенсибилизатора и размерами его молекул и агрегатов. В частности, считается, что наиболее эффективны в АФДТ (в отношении наиболее устойчивых бактериальных культур) катионные

ФС, в том числе ФС в комплексе с полимерами [5, 8, 21, 28-30].

В работе предпринята попытка выявить возможные особенности фотоиндуцируемой гибели раковых (A549 (карцинома легких человека)) и бактериальных (*P. aeruginosa* (синегнойная палочка) и *S. aureus* (золотистый стафилококк)) клеток при их фотообработке в присутствии красителей разной природы – метиленового синего (МС) и бенгальского розового (БР). Кроме того, определено влияние на эти процессы амфифильных полимеров – плуроника F108 и поливинилпирролидона.

Материалы и методы исследований

Реактивы

В качестве фотосенсибилизаторов были использованы красители бенгальский розовый (БР) (натриевая соль 4,5,6,7-тетрахлор-2',4',5',7'-тетрайодфлуоресцеина, 95%, Sigma-Aldrich) и метиленовый синий (МС) (хлорид 3,7-бисдиметиламинофенотиазина). В качестве амфифильных полимеров – поливинилпирролидон (ПВП) (M_w 40 kDa, Sigma-Aldrich) и плуроник F108 (M_w 14 kDa, Fluka) [31, 32].

Получение фотосенсибилизирующих систем на основе МС и БР.

Системы ФС-АП получали смешением растворов обоих компонентов и перемешиванием в течение 15 минут на магнитной мешалке. Концентрации АП в стоковом растворе составляли 0,10 или 0,15 % масс., концентрация красителей – $5,0 \times 10^{-5}$ М. После получения системы производили разбавление таким образом, чтобы соотношение ФС-АП оставалось постоянным, а концентрация ФС варьировалась в интервале $5,0 \times 10^{-5}$ М – $1,0 \times 10^{-7}$ М, концентрации полимеров составляли от $2,0 \times 10^{-4}$ до 0,15 % масс.

Клеточные испытания

Эксперименты на клетках A549 (карциномы легких человека, КЛЧ) проводили согласно [32]. Для определения фотодинамической активности клеточные планшеты освещали фототерапевтическим светодиодом АФС с длиной волны $\lambda = 530$ нм (в случае БР) или $\lambda = 660$ нм (в случае МС) и мощностью 210 мВт (фирма Полироник).

Фотоинактивация P. aeruginosa и S. aureus в присутствии красителей

В работе использовались штаммы бактерий *P. aeruginosa* (ATCC 27853) и *S. aureus* (ATCC 29213). Поддержание бактериальных культур и постановка экспериментов осуществлялось с использованием среды LB Miller (VWR LifeScience, США) в жидкой форме или с добавлением агара бактериологического (AB EUR, DiaM, Россия),

когда требовалось использование плотных сред. Бактериальные суспензии готовили следующим образом: 10 мл жидкой культуры засеивали 50 мкл соответствующей культуры, выращенной за ночь, и подращивали в течение 3 часов. Оптическую плотность культуры нормировали на 0.5 единиц МакФарланда путем разведения и помещали по 100 мкл в лунки черного 96-луночного планшета. Затем в лунки добавляли по 50 мкл растворов МС или БР для получения финальных концентраций, лежащих в диапазоне $7,8 \times 10^{-7}$ до $5,0 \times 10^{-5}$ М. После инкубации при 25 °С в течение 30 мин полученные образцы подвергали облучали, используя светодиодный фототерапевтический аппарат с длиной волны $\lambda = 660$ нм и мощностью 1100 мВт (в случае МС) или с $\lambda = 530$ нм и мощностью 210 мВт (БР), доза излучения в обоих случаях составляла 70 Дж/см². Затем образцы из лунок разводили в 100 раз в стерильном PBS и высевали аликвоты 50 мкл на чашки Петри с агаром. Количество выросших бактериальных колоний подсчитывали после инкубации в течение 24 ч при 37 °С.

Результаты и обсуждения

Влияние ПВП и F108 на выживаемость клеток карциномы легких человека A549 в присутствии БР и МС

Влияние АП на темновую токсичность красителей в отношении клеток A549

Известно, что при изучении разных аспектов влияния ФДТ на опухоли легких в качестве модели могут быть использованы клетки КЛЧ линии A549 [33-35]. Как уже говорилось, в данной работе исследовано влияние амфифильных полимеров F108 и ПВП на токсичность красителей БР и МС (рис. 1, 2) в отношении A549.

Так, на рис. 1 приведены зависимости выживаемости клеток A 549 в темновых условиях в присутствии красителей БР (рис.1, (1)) и МС (рис.1, (2)), а также систем БР-АП (рис.1, (3), (4)) и МС-АП (рис.1, (5), (6)). Из рис. 1 видно, что БР и БР-содержащие полимерные системы (кривые (1), (3), (4)) в отсутствие облучения не обладают токсичностью в отношении A549 вплоть до concentra-

ций красителя $1-5 \times 10^{-5}$ М [32], и амфифильные полимеры (ПВП, F-108) практически не влияют на темновую токсичность красителя.

Следует отметить также, что, как следует из рис. 1 и как было показано ранее, указанные АП не обладают собственной цитотоксичностью (темновой и фото-) в используемых интервалах концентраций полимеров [32]. Полученные результаты по токсичности БР согласуются с литературными данными, согласно которым краситель не влияет на уровень выживаемости клеток рака молочной железы (MCF-7) при концентрациях ниже $1-3 \times 10^{-4}$ М [36].

В то же время МС имеет более высокую токсичность в отношении клеток A549 (рис. 1, (2)). Причиной этого, как показано на примере клеток рака яичников (TOV112D) [37], может быть изменение окислительного потенциала митохондрий, вызванного влиянием адсорбированного катионного МС, что и приводит в конечном итоге к снижению интенсивности процесса пролиферации клеток. При этом, как следует из рис. 1 (кривые (5), (6)), амфифильные полимеры (ПВП и плюроники F108) несколько усиливают токсическое воздействие метиленового синего на клетки A549. Рост терапевтического эффекта различных препаратов в присутствии плюроники ранее был описан в литературе [38, 39]. В частности, в [38] обнаружено повышение активности противораковых антибиотиков (доксорубин) в присутствии плюроники в отношении опухолей с множественной устойчивостью. Одним из предполагаемых механизмов вызываемых плюрониками эффектов является взаимодействие полимеров с мембранами клеток и возможным влиянием этих сополимеров на структурные характеристики мембраны [38]. Таким образом, из представленных данных следует, что МС и МС в комплексе с АП более токсичны в отношении раковых клеток по сравнению с БР, поэтому МС-содержащие системы могут оказаться перспективными соединениями при разработке препаратов для лечения онкологических заболеваний.

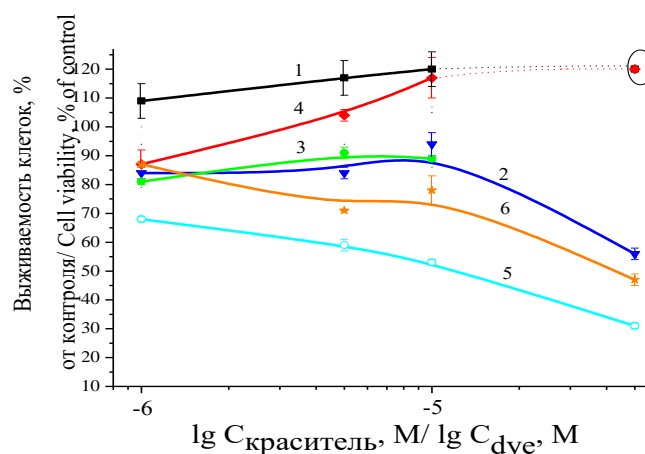


Рис. 1. Выживаемость клеток A549 в присутствии красителей БР (1), МС (2), а также систем БР-F108 (3), БР-ПВП (4), МС-F108 (5), МС-ПВП (6) в отсутствие освещения (темновая токсичность). Концентрация полимеров – 2×10^{-4} – 0,15 % масс. Выживаемость определяли с помощью МТТ-теста. Данные представлены в процентах от жизнеспособности контрольных (необработанных) клеток, количество экспериментов при каждой концентрации веществ = 4. $p < 0,01$. Обведенные точки взяты из [32].

Fig. 1. Viability of A549 cells in the presence of RB (1), MB (2) dyes, as well as RB-F108 (3), RB-PVP (4), MB-F108 (5), MB-PVP (6) systems in the absence of illumination (dark toxicity). Polymer concentration – 2×10^{-4} – 0.15 % wt. Viability was determined using the MTT test. Data are presented as a percentage of the viability of control (untreated) cells, the number of experiments at each concentration of substances = 4. $p < 0.01$. The circled points are taken from [32].

Влияние АП на фотоцитотоксичность красителей

На рис. 2 приведены зависимости выживаемости клеток А 549 в условиях освещения в присутствии БР (рис. 2, (1)) и МС (рис. 2, (2)), а также систем БР-АП (рис.2, (3), (4)) и МС-АП (рис. 2, (5), (6)). Из сравнения кривых 1, 2 на рис. 1 и 2 следует, что в условиях освещения фотоцитотоксичность «свободных» красителей по отношению к клеткам А549 достоверно повышается по сравнению с цитотоксичностью МС и БР в темноте.

Показано также, что в условиях освещения амфифильные полимеры (плюроник F108) повышают цитотоксичность обоих антраценовых красителей. В частности, при освещении (при концентрации красителя 5×10^{-5} М) выживаемость клеток в присутствии БР составляла 15-18%, а в присутствии БР-АП – 8-10% [32]. Фотоцитотоксичность МС в комплексе с АП также выше фотоцитотоксичности «чистого» ФС и темновой токсичности

МС-содержащих систем (рис. 1, 2) ($p < 0,001$ vs. темновая токсичность) при концентрациях красителя $\geq 1 \times 10^{-5}$ М. Таким образом, АП повышают фотоцитотоксичность МС и БР. Эти эффекты связаны, по-видимому, с интенсификацией процессов фотосенсибилизированного красителями образования АФК в присутствии амфифильных полимеров. Ранее было показано, что в водных средах АП образуют с гидрофобными фотосенсибилизаторами (порфирины, антраценовые красители) слабосвязанные комплексы ФС-АП, что приводит к дезагрегации исходно агрегированных молекул гидрофобных ФС [32, 40, 41]. Кроме того, повышенная фотодинамическая активность МС в комплексе с АП в отношении клеток А549 по сравнению с активностью БР, по-видимому, связана с достаточно заметной темновой токсичностью красителя. Таким образом, МС в комплексе с АП может оказаться перспективной ФС-системой для лечения раковых опухолей методом ФДТ.

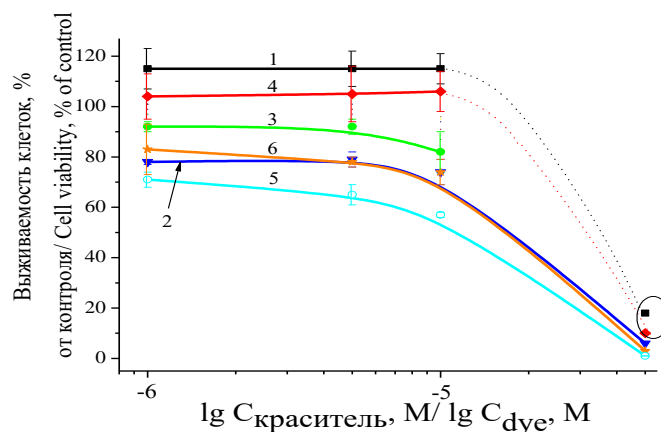


Рис. 2. Выживаемость клеток A549 в результате фотоцитотоксического действия (фотоиндуцированная токсичность) красителей БР (1), МС (2), а также систем БР-F108 (3), БР-ПВП (4), МС-F108 (5), МС-ПВП (6) в зависимости от концентрации ФС. Выживаемость определяли с помощью МТТ-теста. Данные представлены в процентах от жизнеспособности контрольных (необработанных) клеток, количество экспериментов при каждой концентрации веществ = 4. $p < 0,01$. Обведенные точки взяты из [32].

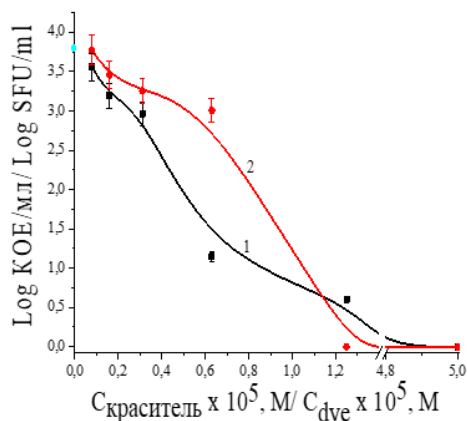
Fig. 2. Survival of A549 cells as a result of photocytotoxic action (photoinduced toxicity) of RB (1) and MB (2) dyes, as well as RB-F108 (3), RB-PVP (4), MB-F108 (5), and MB-PVP (6) systems depending on the concentration of PS. Survival was determined using the MTT test. Data are presented as a percentage of the viability of control (untreated) cells, the number of experiments at each concentration of substances = 4. $p < 0.01$. The circled points are taken from [32].

Фотоинактивация бактерий *P. aeruginosa* (синегнойная палочка) и *S.aureus*, (золотистый стафилокок) в присутствии БР и МС

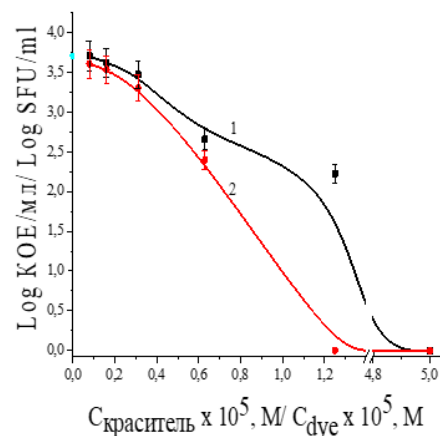
Для выявления фотоиндуцируемой антибактериальной активности красителей в отношении бактерий были проведены исследования с использованием штаммов *P. aeruginosa* (синегнойная палочка) и *S.aureus* (золотистый стафилокок). Данные бактерии являются основными возбудителями поверхностных инфекций и входят в группу ESKAPE (*Enterococcus faecium*, *Staphylococcus*

aureus, *Klebsiella pneumoniae*, *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa* и *Enterobacter*) клинически-значимых патогенов, опасных в силу активного формирования антибиотикоустойчивости [31, 42].

На рис. 3 приведены зависимости количества колониеобразующих единиц для синегнойной палочки (*P. Aeruginosa* (А)) и золотистого стафилококка (*S. aureus* (Б)) после фотодинамического воздействия в присутствии МС (1) и БР (2) от концентрации красителей.



(A)



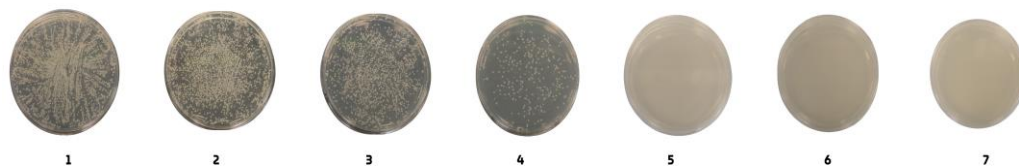
(B)

Рис. 3. Зависимости количества колониеобразующих единиц (КОЕ) бактерий, выживших после их фотоинaktivации в присутствии МС (1) и БР (2), от концентрации красителей (на оси ординат отмечены значения КОЕ при освещении бактерий в отсутствие ФС, доза облучения – 70 Дж/см²): (А) – штамм *P. aeruginosa*; (Б) – штамм *S. aureus*.

Fig. 3. Dependences of the number of colony-forming units (CFU) of bacteria that survived their photoinactivation in the presence of MB (1) and RB (2) on the concentration of dyes (the ordinate axis shows the CFU values for illuminating bacteria in the absence of PhS, the irradiation dose is 70 J/cm²): (A) – *P. aeruginosa* strain; (B) – *S. aureus* strain.

На рис. 4 приведены изображения содержащих бактерии чашек Петри, отражающие динамику выживаемости бактерий после фотодинамического

воздействия в присутствии обоих красителей на примере штамма *S. aureus*.



(A)



(B)

Рис. 4. Изображения содержащих бактерии чашек Петри, отражающие динамику выживаемости бактерий антибиотико-резистентного штамма *S. aureus* на следующие сутки после фотодинамического воздействия в присутствии красителей (концентрация красителей составляла: (1) – 8×10^{-7} М, (2) – 2×10^{-6} М, (3) – 3×10^{-6} М, (4) – 6×10^{-6} М, (5) – $1,2 \times 10^{-5}$ М, (6) – $2,5 \times 10^{-5}$ М и (7) – 5×10^{-5} М, доза облучения – 70 Дж/см²): (А) – бенгальского розового; (Б) – метиленового синего.

Fig. 4. Images of Petri dishes containing bacteria, reflecting the dynamics of the survival of antibiotic-resistant *S. aureus* bacteria on the next day after photodynamic exposure in the presence of dyes (the concentration of dyes was: (1) – 8×10^{-7} M, (2) – 2×10^{-6} M, (3) – 3×10^{-6} M, (4) – 6×10^{-6} M, (5) – 1.2×10^{-5} M, (6) – 2.5×10^{-5} M and (7) – 5×10^{-5} M, irradiation dose – 70 J/cm²): (A) – rose bengal; (B) – methylene blue.

Из рис. 3, 4 видно, что МС и БР обладают способностью инактивировать в условиях фотодинамического воздействия бактерии обоих штаммов. Стоит отметить, что бенгальский розовый и метиленовый синий при облучении подавляют рост бактерий при концентрациях $\geq 3 \times 10^{-6}$ М [31]. При высоких концентрациях красителей ($\geq 2,5 \times 10^{-5}$ М) при фотодинамическом воздействии инактивируется более 99% микробных клеток (рис. 3, 4). Однако метиленовый синий (катионный краситель) эффективнее подавляет Грам(-) *P. Aeruginosa* (начинает подавлять бактерии при меньших концентрациях красителя), бенгальский розовый (анионный краситель) – Грам(+) бактерии *S. aureus*. По-видимому, на жизнеспособность антибиотико-резистентных бактерий разной природы в сеансах ФДТ существенное влияние оказывает природа фотосенсибилизатора. Так, в работе [43] показано, что БР является эффективным фотоинактивирующим агентом в отношении *E. hirae* (Грамм(+) бактерии), а МС – в отношении *E. coli* (Грамм(-) бактерии). К. Ergaieg и его коллеги объясняют данный результат тем, что у Грамм(-) бактерий внешний липополисахаридный слой препятствует проникновению анионных красителей внутрь бактериальной клетки, поэтому, несмотря на высокие значения ФД, БР обладает меньшей фотодинамической активностью в отношении такого типа бактерий. В то же время некоторые ис-

следователи отмечают, что БР может проявлять свойства антибиотика в отношении Грамм(-) бактерий (ингибирует бактериальные ферменты в темных условиях) [42]. Это дает основание полагать, что БР – перспективный антибактериальный агент. Таким образом, в данной работе показано, что МС и БР можно рассматривать как потенциальные препараты выбора для антибактериальной фотодинамической терапии. Можно полагать, что БР в комплексе с АП также является перспективной системой, поскольку ранее в экспериментах при лечении ран у модельных животных методом АФДТ была обнаружена повышенная активность систем БР-АП (по сравнению с «чистым» красителем) [32].

Выводы

Таким образом, МС в комплексе с АП является потенциальным препаратом выбора как для фотодинамической терапии онкологических заболеваний, так и для АФДТ в отношении Грамм(-) бактерий. В то же время системы на основе БР являются перспективными при разработке препаратов для АФДТ в отношении Грамм(+) бактерий. Эксперименты по фотодинамической инактивации онкоклеток и бактерий в присутствии красителей позволили выявить избирательность действия ФС в зависимости от их природы и особенностей взаимодействия с патогенными клетками.

Финансирование

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант No. 24-43-00084).

Список источников

1. Dai T., Huang Ying-Ying, Hamblin M.R. Photodynamic therapy for localized infections – State of the art // *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*. 2009. Vol. 6. P. 170 – 188.
2. Pérez C., Zúñiga T., Palavecino C.E. Photodynamic therapy for treatment of *Staphylococcus aureus* infections // *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*. 2021. Vol. 34. P. 102285.
3. Kharkwal G.B. Sharma S.K., Huang Ying-Ying, Dai T., Hamblin M.R. Photodynamic therapy for infections: clinical applications // *Lasers in Surgery and Medicine*. 2011. Vol. 43 (7). P. 755 – 767.
4. Nesi-Reis V., Lera-Nonose D.S.S.L., Oyama J., Silva-Lalucci M.P.P., Demarchi I.G., Aristides S.M.A., Teixeira J.J.V., Silveira T.G.V., Lonardoni M.V.C. Contribution of photodynamic therapy in wound healing: A systematic review // *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*. 2018. Vol. 21. P. 294 – 305.
5. Solovieva A.B., Rudenko T.G., Shekhter A.B., Glagolev N.N., Spokoinyi A.L., Fayzullin A.L., Aksenova N.A., Shpichka A.I., Kardumyan V.V., Timashev P.S. Broad-spectrum antibacterial and pro-regenerative effects of photoactivated Photodithazine-Pluronic F127-Chitosan polymer system: in vivo study // *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 2020. Vol. 210. P. 111954.
6. Clayton T.H., Harrison P.V. Photodynamic therapy for infected leg ulcers // *British Journal of Dermatology*. 2007. Vol. 156 (2). P. 384 – 385.
7. Hirose M., Yoshida Y., Horii K., Hasegawa Y., Shibuya Y. Efficacy of antimicrobial photodynamic therapy with Rose Bengal and blue light against cariogenic bacteria // *Archives of Oral Biology*. 2021. Vol. 122. P. 105024.
8. Seeger M.G., Ries A.S., Gressler L.T., Botton S.A., Iglesias B.A., Cargnelutti J.F. In vitro antimicrobial photodynamic therapy using tetra-cationic porphyrins against multidrug-resistant bacteria isolated from canine otitis // *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*. 2020. Vol. 32. P. 101982.

9. O'Day R.F., Pejnovic T.M., Isaacs T., Muecke J.S, Glasson W.J., Campbell W.G. Australian and New Zealand study of photodynamic therapy in choroidal amelanotic melanoma // *Retina*. 2020. Vol. 40(5). P. 972 – 976.
10. Mironov A.F., Zhdanova K.A., Bragina N.A. Nanosized vehicles for delivery of photosensitizers in photodynamic diagnosis and therapy of cancer // *Russian Chemical Reviews*. 2018. Vol. 87(9). P. 859 – 881.
11. Hamblin M.R. Potentiation of antimicrobial photodynamic inactivation by inorganic salts // *Expert Review of Anti-infective Therapy*. 2017. Vol. 15(11). P. 105 – 1069.
12. Celli J.P., Spring B.Q., Rizvi I., Evans C.L., Samkoe K.S., Verma S., Pogue B.W., Hasan T. Imaging and Photodynamic Therapy: Mechanisms, Monitoring, and Optimization // *Chemical Reviews*. 2010. Vol. 110 (5). P. 2795 – 2838.
13. Fujii J., Soma Y., Matsuda Y. Biological Action of Singlet Molecular Oxygen from the Standpoint of Cell Signaling, Injury and Death // *Molecules*. 2023. Vol. 28 (10). P. 4085.
14. Jomova K., Raptova R., Alomar S.Y., Alwasel S.H., Nepovimova E., Kuca K., Valko M. Reactive oxygen species, toxicity, oxidative stress, and antioxidants: chronic diseases and aging // *Archives of Toxicology*. 2023. Vol. 97 (10). P. 2499 – 2574.
15. Steinbauer J.M., Schreml S., Kohl E.A., Karrer S., Landthaler M., Szeimies R.M. Photodynamic therapy in dermatology // *Journal der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft*. 2010. Vol. 8 (6). P. 454 – 464.
16. Garg A.D., Bose M., Ahmed M.I., Bonass W.A., Wood S.R. In Vitro Studies on Erythrosine-Based Photodynamic Therapy of Malignant and Pre-Malignant Oral Epithelial Cells // *PLoS One*. 2012. Vol. 7 (4). e34475.
17. Garg A.D., Agostinis P. ER stress, autophagy and immunogenic cell death in photodynamic therapy-induced anti-cancer immune responses // *Photochemical and Photobiological Sciences*. 2014. Vol. 13(3). P. 474 – 487.
18. Allison R.R, Sibata C.H. Oncologic photodynamic therapy photosensitizers: a clinical review // *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*. 2010. Vol. 7. P. 61 – 75.
19. Almeida Issa M.C., Piñeiro-Maceira J., Farias R.E., Pureza M., Raggio Luiz R., Manela-Azulay M. Immunohistochemical expression of matrix metalloproteinases in photodamaged skin by photodynamic therapy // *British Journal of Dermatology*. 2009. Vol. 161(3). P. 647 – 653.
20. M.S. Baptista, J. Cadet, P. Di Mascio, A.A. Ghogare, A. Greer, M.R. Hamblin, C. Lorente, S.C. Nunez, M.S. Ribeiro, A.H. Thomas, M. Vignoni, T.M. Yoshimura. Type I and type II photosensitized oxidation reactions: guidelines and mechanistic pathways // *Photochemistry and Photobiology*. 2017 Vol. 93(4). P. 912 – 919.
21. Ghorbani J., Rahban D., Aghamiri S., Teymouri A., Bahador A. Photosensitizers in antibacterial photodynamic therapy: an overview // *Laser Therapy*. 2018. Vol. 27(4). P. 293 – 302.
22. Di Stasio D., Romano A., Russo D., Fiori F., Laino L., Caponio V.C.A., Troiano G., Muzio L.L., Serpico R., Lucchese A. Photodynamic therapy using topical toluidine blue for the treatment of oral leukoplakia: A prospective case series // *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*. 2020. Vol. 31. P. 101888.
23. Vanerio N., Stijnen M., de Mol B.A.J.M, Kock L.M. Biomedical Applications of Photo- and Sono-Activated Rose Bengal: A Review // *Photobiomodulation, Photomedicine, and Laser Surgery*. 2019. Vol. 37. P. 383 – 394.
24. Santezi C., Reina B.D., Dovigo L.N. Curcumin- mediated Photodynamic Therapy for the treatment of oral infections—A review // *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*. 2018. Vol. 21. P. 409 – 415.
25. Jendželovská Z., Jendželovský R., Kuchárová B., Fedoročko P. Hypericin in the Light and in the Dark: Two Sides of the Same Coin // *Frontiers in Plant Science*. 2016. Vol. 7. P. 560.
26. Aksenova N.A., Zhientaev T.M., Brilkina A.A., Dubasova L.V., Ivanov A.V., Timashev P.S., Melik-Nubarov N.S., Solovieva A.B. Polymers as enhancers of photodynamic activity of chlorin photosensitizers for photodynamic therapy // *Photonics & Lasers in Medicine*. 2013. Vol. 2(3). P. 189 – 198.
27. Xu J., Bonneviot L., Guari Y., Monnereau C., Zhang K., Poater A., Rodríguez-Pizarro M., Albela B. Matrix Effect on Singlet Oxygen Generation Using Methylene Blue as Photosensitizer // *Inorganics*. 2024. Vol. 12. P. 155.
28. Yu Y., Liu Y., Chen Y., Chen J., Feng G., Tang B.Z. Cationic AIE-active photosensitizers for highly efficient photodynamic eradication of drug-resistant bacteria // *Mater. Chem. Front.* 2023. Vol. 7. P. 96 – 105.
29. Tegos G.P., Demidova T.N., Arcila-Lopez D., Lee H., Wharton T., Gali H., Hamblin M.R.. Cationic fullerenes are effective and selective antimicrobial photosensitizers // *Chemistry & Biology*. 2005. Vol. 12(10). P. 1127 – 1135.
30. George S., Hamblin M.R., Kishen A.. Uptake pathways of anionic and cationic photosensitizers into bacteria // *Photochemical & Photobiological Sciences*. 2009. Vol. 8. P.788 – 795.
31. Kardumyan V.V., Kuryanova A.S., Chernyak A.V., Aksenova N.A., Biryukov M.V., Glagolev N.N., Solovieva A.B. Effect of hyaluronic acid on the activity of methylene blue in photogeneration of 1O_2 . // *Molecules*. 2024. Vol. 29. P. 5336.

32. Kardumyan V., Kuryanova A., Fayzullin A., Krivandin A., Mekhtiev A., Aksenova N., Shatalova O., Timoshenko O., Dalina A., Khristidis Y., Huang R.-L., Li Q., Timashev P., Solovieva A. Effect of amphiphilic polymers on the photodynamic activity of rose bengal in vitro and in vivo conditions // *Laser Physics*. 2025. Vol. 35. P. 015601.
33. Korrodi-Gregório L, Soto-Cerrato V, Vitorino R, Fardilha M, Pérez-Tomás R. From Proteomic Analysis to Potential Therapeutic Targets: Functional Profile of Two Lung Cancer Cell Lines, A549 and SW900, Widely Studied in Pre-Clinical Research // *PLoS ONE*. 2016. Vol. 11. e0165973.
34. Cooper J.R., Abdullatif M.B., Burnett E.C., Kempell K.E., Conforti F., Tolley H., Collins J.E., Davies D.E. Long Term Culture of the A549 Cancer Cell Line Promotes Multilamellar Body Formation and Differentiation towards an Alveolar Type II Pneumocyte Phenotype // *PLoS ONE*. 2016. Vol 11. e0164438.
35. Langthaler S., Rienmüller T., Scheruebel S., Pelzmann B., Shrestha N., Zorn-Pauly K., Schreibmayer W., Koff A., Baumgartner C. A549 in-silico 1.0: A first computational model to simulate cell cycle dependent ion current modulation in the human lung adenocarcinoma // *PLoS Comput Biol*. 2021. Vol. 17. e1009091.
36. Mousavi S.H., Tavakkol-Afshari J., Brook A., Jafari-Anarkooli I. Direct toxicity of Rose Bengal in MCF-7 cell line: Role of apoptosis // *Food and Chemical Toxicology*. 2009. Vol. 47. P. 855 – 859.
37. da Veiga Moreira J., Nleme N., Schwartz L., Leclerc-Desaulniers K., Carmona E., Mes-Masson A.M., Jolicœur M. Methylene blue metabolic therapy restrains in vivo ovarian tumor growth // *Cancers*. 2024. Vol. 16. P. 355.
38. Batrakova E.V., Dorodnykh T.Y., Klinskii E.Y., Kliushnenkova E.N., Shemchukova O.B., Goncharova O.N., Arjakov S.A., Alakhov V.Y., Kabanov A.V. Anthracycline antibiotics non-covalently incorporated into the block copolymer micelles: in vivo evaluation of anti-cancer activity // *British Journal of Cancer*. 1996. Vol. 74. P. 1545 – 1552.
39. Rudenko T.G., Shekhter A.B., Guller A.E., Aksenova N.A., Glagolev N.N., Ivanov A.V., Aboyants R.K., Kotova S.L., Solovieva A.B. Specific features of early stage of the wound healing process occurring against the background of photodynamic therapy using fotoditazin photosensitizer-amphiphilic polymer complexes // *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 2014. Vol. 90. P. 1413 – 1422.
40. Kuryanova A.S., Savko M.A., Kaplin V.S., Aksenova N.A., Timofeeva V.A., Chernyak A.V., Glagolev N.N., Timashev P.S., Solovieva A.B. Effect of Amphiphilic Polymers on the Activity of Rose Bengal during the Photooxidation of Tryptophan in an Aqueous Medium // *Russian Journal of Physical Chemistry A*. 2022. Vol. 96. P. 1106 – 1111.
41. Pominova D.V., Ryabova A.V., Romanishkin I.D., Markova I.V., Akhlustina E. V., Skobeltsin A.S. Spectroscopic study of methylene blue photophysical properties in biological media // *Biomedical Photonics*. 2023. Vol. 12(2). P. 34 – 47.
42. Kim S., Jo S., Kim M.S., Shin D.H. A study of Rose Bengal against a 2-keto-3-deoxy-d-manno-octulosonate cytidyltransferase as an antibiotic candidate // *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*. 2020. Vol. 35(1). P. 1414 – 1421.
43. Ergaieg K., Seux R. A comparative study of the photoinactivation of bacteria by meso-substituted cationic porphyrin, rose Bengal and methylene blue // *Desalination*. 2009. Vol. 246. P. 353 – 362.

References

1. Dai T., Huang Ying-Ying, Hamblin M.R. Photodynamic therapy for localized infections – State of the art. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*. 2009. Vol. 6. P. 170 – 188.
2. Pérez C., Zúñiga T., Palavecino C.E. Photodynamic therapy for treatment of Staphylococcus aureus infections. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*. 2021. Vol. 34. P. 102285.
3. Kharkwal G.B. Sharma S.K., Huang Ying-Ying, Dai T., Hamblin M.R. Photodynamic therapy for infections: clinical applications. *Lasers in Surgery and Medicine*. 2011. Vol. 43 (7). P. 755 – 767.
4. Nesi-Reis V., Lera-Nonose D.S.S.L., Oyama J., Silva-Lalucci M.P.P., Demarchi I.G., Aristides S.M.A., Teixeira J.J.V., Silveira T.G.V., Lonardoní M.V.C. Contribution of photodynamic therapy in wound healing: A systematic review. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*. 2018. Vol. 21. P. 294 – 305.
5. Solovieva A.B., Rudenko T.G., Shekhter A.B., Glagolev N.N., Spokoinyi A.L., Fayzullin A.L., Aksenova N.A., Shpichka A.I., Kardumyan V.V., Timashev P.S. Broad-spectrum antibacterial and pro-regenerative effects of photoactivated Photodithazine-Pluronic F127-Chitosan polymer system: in vivo study. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 2020. Vol. 210. P. 111954.
6. Clayton T.H., Harrison P.V. Photodynamic therapy for infected leg ulcers. *British Journal of Dermatology*. 2007. Vol. 156 (2). P. 384 – 385.

7. Hirose M., Yoshida Y., Horii K., Hasegawa Y., Shibuya Y. Efficacy of antimicrobial photodynamic therapy with Rose Bengal and blue light against cariogenic bacteria. *Archives of Oral Biology*. 2021. Vol. 122. P. 105024.
8. Seeger M.G., Ries A.S., Gressler L.T., Botton S.A., Iglesias B.A., Cargnelutti J.F. In vitro antimicrobial photodynamic therapy using tetra-cationic porphyrins against multidrug-resistant bacteria isolated from ca-nine otitis. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*. 2020. Vol. 32. P. 101982.
9. O'Day R.F., Pejnovic T.M., Isaacs T., Muecke J.S., Glasson W.J., Campbell W.G. Australian and New Zealand study of photodynamic therapy in choroidal amelanotic melanoma. *Retina*. 2020. Vol. 40 (5). P. 972 – 976.
10. Mironov A.F., Zhdanova K.A., Bragina N.A. Nanosized vehicles for delivery of photosensitizers in photodynamic diagnosis and therapy of cancer. *Russian Chemical Reviews*. 2018. Vol. 87 (9). P. 859 – 881.
11. Hamblin M.R. Potentiation of antimicrobial photodynamic inactivation by inorganic salts // *Expert Review of Anti-infective Therapy*. 2017. Vol. 15 (11). P. 105 – 1069.
12. Celli J.P., Spring B.Q., Rizvi I., Evans C.L., Samkoe K.S., Verma S., Pogue B.W., Hasan T. Imaging and Photodynamic Therapy: Mechanisms, Monitoring, and Optimization. *Chemical Reviews*. 2010. Vol. 110 (5). P. 2795 – 2838.
13. Fujii J., Soma Y., Matsuda Y. Biological Action of Singlet Molecular Oxygen from the Standpoint of Cell Signaling, Injury and Death. *Molecules*. 2023. Vol. 28 (10). P. 4085.
14. Jomova K., Raptova R., Alomar S.Y., Alwasel S.H., Nepovimova E., Kuca K., Valko M. Reactive oxygen species, toxicity, oxidative stress, and antioxidants: chronic diseases and aging. *Archives of Toxicology*. 2023. Vol. 97 (10). P. 2499 – 2574.
15. Steinbauer J.M., Schreml S., Kohl E.A., Karrer S., Landthaler M., Szeimies R.M. Photodynamic therapy in dermatology. *Journal der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft*. 2010. Vol. 8 (6). P. 454 – 464.
16. Garg A.D., Bose M., Ahmed M.I., Bonass W.A., Wood S.R. In Vitro Studies on Erythrosine-Based Photodynamic Therapy of Malignant and Pre-Malignant Oral Epithelial Cells. *PLoS One*. 2012. Vol. 7 (4). e34475.
17. Garg A.D., Agostinis P. ER stress, autophagy and immunogenic cell death in photodynamic therapy-induced anti-cancer immune responses. *Photochemical and Photobiological Sciences*. 2014. Vol. 13(3). P. 474 – 487.
18. Allison R.R., Shibata C.H. Oncologic photodynamic therapy photosensitizers: a clinical review. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*. 2010. Vol. 7. P. 61 – 75.
19. Almeida Issa M.C., Piñeiro-Maceira J., Farias R.E., Pureza M., Raggio Luiz R., Manela-Azulay M. Immunohistochemical expression of matrix metalloproteinases in photodamaged skin by photodynamic therapy. *British Journal of Dermatology*. 2009. Vol. 161(3). P. 647 – 653.
20. M.S. Baptista, J. Cadet, P. Di Mascio, A.A. Ghogare, A. Greer, M.R. Hamblin, C. Lorente, S.C. Nun-ez, M.S. Ribeiro, A.H. Thomas, M. Vignoni, T.M. Yoshimura. Type I and type II photosensitized oxidation reactions: guidelines and mechanistic pathways. *Photochemistry and Photobiology*. 2017 Vol. 93(4). P. 912 – 919.
21. Ghorbani J., Rahban D., Aghamiri S., Teymouri A., Bahador A. Photosensitizers in antibacterial photodynamic therapy: an overview. *Laser Therapy*. 2018. Vol. 27(4). P. 293 – 302.
22. Di Stasio D., Romano A., Russo D., Fiori F., Laino L., Caponio V.C.A., Troiano G., Muzio L.L., Serpico R., Lucchese A. Photodynamic therapy using topical toluidine blue for the treatment of oral leu-koplakia: A prospective case series. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*. 2020. Vol. 31. P. 101888.
23. Vanerio N., Stijnen M., de Mol B.A.J.M., Kock L.M. Biomedical Applications of Photo- and Sono-Activated Rose Bengal: A Review. *Photobiomodulation, Photomedicine, and Laser Surgery*. 2019. Vol. 37. P. 383 – 394.
24. Santezi C., Reina B.D., Dovigo L.N. Curcumin-mediated Photodynamic Therapy for the treatment of oral infections—A review. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*. 2018. Vol. 21. P. 409 – 415.
25. Jendželovská Z., Jendželovský R., Kuchárová B., Fedoročko P. Hypericin in the Light and in the Dark: Two Sides of the Same Coin. *Frontiers in Plant Science*. 2016. Vol. 7. P. 560.
26. Aksenova N.A., Zhientaev T.M., Brilkina A.A., Dubasova L.V., Ivanov A.V., Timashev P.S., Melik-Nubarov N.S., Solovieva A.B. Polymers as enhancers of photodynamic activity of chlorin photosensitizers for photodynamic therapy. *Photonics & Lasers in Medicine*. 2013. Vol. 2(3). P. 189 – 198.
27. Xu J., Bonnevot L., Guari Y., Monnereau C., Zhang K., Poater A., Rodríguez-Pizarro M., Albela B. Matrix Effect on Singlet Oxygen Generation Using Methylene Blue as a Photosensitizer. *Inorganics*. 2024. Vol. 12. P. 155.
28. Yu Y., Liu Y., Chen Y., Chen J., Feng G., Tang B.Z. Cationic AIE-active photosensitizers for highly efficient photodynamic eradication of drug-resistant bacteria. *Mater. Chem. Front.* 2023. Vol. 7. P. 96 – 105.
29. Tegos G.P., Demidova T.N., Arcila-Lopez D., Lee H., Wharton T., Gali H., Hamblin M.R.. Cationic fullerenes are effective and selective antimicrobial photosensitizers. *Chemistry & Biology*. 2005. Vol. 12(10). P. 1127 – 1135.

30. George S., Hamblin M.R., Kishen A. Uptake pathways of anionic and cationic photosensitizers into bacteria. *Photochemical & Photobiological Sciences*. 2009. Vol. 8. P.788 – 795.
31. Kardumyan V.V., Kuryanova A.S., Chernyak A.V., Aksenova N.A., Biryukov M.V., Glagolev N.N., Solovieva A.B. Effect of hyaluronic acid on the activity of methylene blue in photogeneration of $^{1}O_2$. *Molecules*. 2024. Vol. 29. P. 5336.
32. Kardumyan V., Kuryanova A., Fayzullin A., Krivandin A., Mekhtiev A., Aksenova N., Shatalova O., Timoshenko O., Dalina A., Khristidis Y., Huang R-L., Li Q., Timashev P., Solovieva A. Effect of amphiphilic polymers on the photodynamic activity of rose bengal in vitro and in vivo conditions. *Laser Physics*. 2025. Vol. 35. P. 015601.
33. Korrodi-Gregório L, Soto-Cerrato V, Vitorino R, Fardilha M, Pérez-Tomás R. From Proteomic Analysis to Potential Therapeutic Targets: Functional Profile of Two Lung Cancer Cell Lines, A549 and SW900, Widely Studied in Pre-Clinical Research. *PLoS ONE*. 2016. Vol. 11.e0165973.
34. Cooper J.R., Abdullatif M.B., Burnett E.C., Kempell K.E., Conforti F., Tolley H., Collins J.E., Davies D.E. Long Term Culture of the A549 Cancer Cell Line Promotes Multilamellar Body Formation and Differentiation towards an Alveolar Type II Pneumocyte Phenotype. *PLoS ONE*. 2016. Vol 11. e0164438.
35. Langthaler S., Rienmüller T., Scheruebel S., Pelzmann B., Shrestha N., Zorn-Pauly K., Schreibmayer W., Koff A., Baumgartner C. A549 in-silico 1.0: A first computational model to simulate cell cycle dependent ion current modulation in the human lung adenocarcinoma. *PLoS Comput Biol*. 2021. Vol. 17.e1009091.
36. Mousavi S.H., Tavakkol-Afshari J., Brook A., Jafari-Anarkooli I. Direct toxicity of Rose Bengal in MCF-7 cell line: Role of apoptosis. *Food and Chemical Toxicology*. 2009. Vol. 47. P. 855 – 859.
37. da Veiga Moreira J., Nleme N., Schwartz L., Leclerc-Desaulniers K., Carmona E., Mes-Masson A.M., Jolicœur M. Methylene blue metabolic therapy restrains in vivo ovarian tumor growth. *Cancers*. 2024. Vol. 16. P. 355.
38. Batrakova E.V., Dorodnyh T.Y., Klinskii E.Y., Kliushnenkova E.N., Shemchukova O.B., Goncharova O.N., Arjakov S.A., Alakhov V.Y., Kabanov A.V. Anthracycline antibiotics non-covalently incorporated into the block copolymer micelles: in vivo evaluation of anti-cancer activity. *British Journal of Cancer*. 1996. Vol. 74. P. 1545 – 1552.
39. Rudenko T.G., Shekhter A.B., Guller A.E., Aksenova N.A., Glagolev N.N., Ivanov A.V., Aboyants R.K., Kotova S.L., Solovieva A.B. Specific features of early stage of the wound healing process occurring against the background of photodynamic therapy using fotoditazin photosensitizer-amphiphilic polymer complexes. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 2014. Vol. 90. P. 1413 – 1422.
40. Kuryanova A.S., Savko M.A., Kaplin V.S., Aksenova N.A., Timofeeva V.A., Chernyak A.V., Glagolev N.N., Timashev P.S., Solovieva A.B. Effect of Amphiphilic Polymers on the Activity of Rose Bengal during the Photooxidation of Tryptophan in an Aqueous Medium. *Russian Journal of Physical Chemistry A*. 2022. Vol. 96. P. 1106 – 1111.
41. Pominova D.V., Ryabova A.V., Romanishkin I.D., Markova I.V., Akhustina E. V., Skobeltsin A.S. Spectroscopic study of methylene blue photophysical properties in biological media. *Biomedical Photonics*. 2023. Vol. 12 (2). P. 34 – 47.
42. Kim S., Jo S., Kim M.S., Shin D.H. A study of Rose Bengal against a 2-keto-3-deoxy-d-manno-octulosonate cytidyltransferase as an antibiotic candidate. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*. 2020. Vol. 35(1). P. 1414 – 1421.
43. Ergaieg K., Seux R. A comparative study of the photoinactivation of bacteria by meso-substituted cationic porphyrin, rose Bengal and methylene blue. *Desalination*. 2009. Vol. 246. P. 353 – 362.

Информация об авторах

Аксенова Н.А., кандидат химических наук, старший научный сотрудник, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0527-8899>, Федеральный исследовательский центр химической физики имени Н.Н. Семенова Российской академии наук; Институт регенеративной медицины, Сеченовский Университет, naksenova@mail.ru

Курьянова А.С., кандидат химических наук, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр химической физики имени Н.Н. Семенова Российской академии наук, uryanovaanastasi@gmail.com

Кардумян В.В., кандидат химических наук, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр химической физики имени Н.Н. Семенова Российской академии наук, VaLerysik@yandex.ru

Копылов А.С., кандидат химических наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр химической физики имени Н.Н. Семенова Российской академии наук, via_cetra@mail.ru

Шершнева И.В., кандидат химических наук, старший научный сотрудник, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-6692-7202>. Федеральный исследовательский центр химической физики имени Н.Н. Семенова Российской академии наук, shershnev.ilya@gmail.com

Бирюков М.В., кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5765-1221>. Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; Научно-технологический университет «Сириус», metrim@gmail.com

Мехтиев А.Р., кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт биомедицинской химии имени В.Н. Ореховича Минздрава России, marif@yandex.ru

Тимашев П.С., доктор химических наук, директор Института регенеративной медицины, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7773-2435>. Федеральный исследовательский центр химической физики имени Н.Н. Семенова Российской академии наук; Институт регенеративной медицины, Сеченовский Университет; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, timashev.peter@gmail.com

Соловьева А.Б., доктор химических наук, профессор, главный научный сотрудник, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1963-0400>. Федеральный исследовательский центр химической физики имени Н.Н. Семенова Российской академии наук, ann.solovieva@gmail.com

© Аксенова Н.А., Курьянова А.С., Кардумян В.В., Копылов А.С., Шершнева И.В., Бирюков М.В., Мехтиев А.Р., Тимашев П.С., Соловьева А.Б., 2025

Information about the authors

Aksenova N.A., PhD (Chemistry), Senior Researcher, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0527-8899>, N.N. Semenov Federal Research Center of Chemical Physics, Russian Academy of Sciences; Institute of Regenerative Medicine, Sechenov University, naksenova@mail.ru

Kur'yanova A.S., PhD (Chemistry), Junior Researcher, N.N. Semenov Federal Research Center of Chemical Physics, Russian Academy of Sciences, kuryanovaanastasi@gmail.com

Kardumyan V.V., PhD (Chemistry), Researcher, N.N. Semenov Federal Research Center of Chemical Physics, Russian Academy of Sciences, VaLerysik@yandex.ru

Kopylov A.S., PhD (Chemistry), Senior Researcher, N.N. Semenov Federal Research Center of Chemical Physics, Russian Academy of Sciences, Semenov Institute of Chemical Physics, Russian Academy of Sciences, via_cetra@mail.ru

Shershnev I.V., PhD (Chemistry), Senior Researcher, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-6692-7202>. N.N. Semenov Federal Research Center of Chemical Physics, Russian Academy of Sciences, shershnev.ilya@gmail.com

Biryukov M.V., PhD (Biology), Senior Researcher, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5765-1221>. Lomonosov Moscow State University; Sirius University of Science and Technology, metrim@gmail.com

Mekhtiev A.R., PhD (Biology), Senior Researcher, V.N. Orekhovich Institute of the Ministry of Health of the Russian Federation, marif@yandex.ru

Timashev P.S., Doctor of Chemical Sciences, Director of the Institute of Regenerative Medicine, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7773-2435>. N.N. Semenov Federal Research Center of Chemical Physics, Russian Academy of Sciences; Institute of Regenerative Medicine, Sechenov University; M.V. Lomonosov Moscow State University, timashev.peter@gmail.com

Solovieva A.B., Doctor of Chemical Sciences, Professor, Chief Researcher, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1963-0400>. N.N. Semenov Federal Research Center of Chemical Physics, Russian Academy of Sciences, ann.solovieva@gmail.com

© Aksenova N.A., Kuryanova A.S., Kardumyan V.V., Kopylov A.S., Shershnev I.V., Biryukov M.V., Mehdiev A.R., Timashev P.S., Solovieva A.B., 2025