

## ЛИТЕРАТУРНЫЕ ОБЗОРЫ



<https://doi.org/10.17238/2072-3180-2026-1-211-223>

УДК: 617.5/1.7-002-089:615.849

© Глухов А.А., Остроушко А.П., Лаптиёва А.Ю., Аралова М.В., Остроушко И.П., Расок М.М., Чеповский М.Э., Фролов А.Ю., 2026

Обзор/Review

### ЛАЗЕРНЫЙ ФОТОХИМИЧЕСКИЙ ДЕБРИДМЕНТ В ЛЕЧЕНИИ МЕСТНОЙ ИНФЕКЦИИ МЯГКИХ ТКАНЕЙ И КОСТЕЙ

А.А. ГЛУХОВ<sup>1</sup>, А.П. ОСТРОУШКО<sup>1,3</sup>, А.Ю. ЛАПТИЁВА<sup>1,3\*</sup> ([laptievaa@mail.ru](mailto:laptievaa@mail.ru)), М.В. АРАЛОВА<sup>1,2</sup>,  
И.П. ОСТРОУШКО<sup>1,2</sup>, М.М. РАСОК<sup>1</sup>, М.Э. ЧЕПОВСКИЙ<sup>1</sup>, А.Ю. ФРОЛОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Кафедра общей и амбулаторной хирургии, Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко, 394036, Воронеж, Россия

<sup>2</sup> Воронежская областная клиническая больница № 1, 394066, Воронеж, Россия

<sup>3</sup> ЧУЗ «Клиническая больница «РЖД-Медицина» г. Воронеж», 394024, Воронеж, Россия

#### Резюме

**Введение.** Комбинированные инфекционные дефекты костной и мягких тканей представляют собой одну из наиболее сложных проблем современной клинической практики. Несмотря на развитие инновационных стратегий, понимание патогенеза и механизмов антибиотикорезистентности, эффективность их лечения остается неудовлетворительной. В качестве перспективного направления в местном лечении инфекции мягких тканей и костей рассматривается применение низкоинтенсивного лазерного излучения.

**Цель.** Обосновать тактику выбора фотосенсибилизатора для лазерного фотохимического дебридмента (ЛФД) с целью лечения инфекции мягких тканей и костей.

**Материалы и методы.** Проведен анализ научной литературы, представленной на PubMed, eLIBRARY, MEDLINE, ScienceDirect. В исследование запланировано включали данные с 2015-2025 год. Однако, в связи с недостаточным объемом информации, принято решение расширить исследование, включить данные с 2005 г. по 2025 г.

**Результаты.** Полученные данные свидетельствуют о высокой эффективности ЛФД в комплексном лечении инфекции мягких тканей и костей. Влияние на биопленки и метаболизм бактерий делает этот метод особенно актуальным при устойчивых формах хронической инфекции. Тактика выбора ФС для фотохимического воздействия включает несколько этапов: оценку наличия у пациента противопоказаний к применению ФС; определение возбудителя в очаге инфекции; подбор источника лазерного излучения с необходимой длиной волны.

**Заключение.** Таким образом применение ЛФД представляет собой эффективный метод борьбы с инфекцией мягких тканей и костей. Применение ЛФД позволяет сократить сроки лечения, снизить рецидивы и улучшить качество жизни пациентов.

**Ключевые слова:** лазерный фотохимический дебридмент, фотосенсибилизатор, остеомиелит, раны, инфекция мягких тканей

**Конфликт интересов:** отсутствует.

**Для цитирования:** Глухов А.А., Остроушко А.П., Лаптиёва А.Ю., Аралова М.В., Остроушко И.П., Расок М.М., Чеповский М.Э., Фролов А.Ю. Лазерный фотохимический дебридмент в лечении местной инфекции мягких тканей и костей. *Московский хирургический журнал*, 2026. № 1. С. 211–223. <https://doi.org/10.17238/2072-3180-2026-1-211-223>

**Вклад авторов:** Глухов А.А. – разработка концепции исследования, разработка методологии, подготовка окончательного варианта статьи, Остроушко А.П. – корректировка, подготовка окончательного варианта статьи, Лаптиёва А.Ю. – обзор литературы, систематизация и структурирование материала, Аралова М.В. – корректировка, подготовка окончательного варианта статьи, Остроушко И.П. – Систематизация и структурирование материала, корректировка статьи, Расок М.М. – обзор литературы, подготовка статьи, Чеповский М.Э. – обзор литературы, подготовка статьи, Фролов А.Ю. – подготовка статьи, перевод

### LASER PHOTOCHEMICAL DEBRIDEMENT IN THE TREATMENT OF LOCAL INFECTION OF SOFT TISSUES AND BONES

ALEXANDR A. GLUKHOV<sup>1</sup>, ANTON P. OSTROUSHKO<sup>1,3</sup>, ANASTASIA YU. LAPTIYOVA<sup>1,3\*</sup> (*laptievaa@mail.ru*),  
MARIA V. ARALOVA<sup>1,2</sup>, IVAN P. OSTROUSHKO<sup>1,2</sup>, MEZHID M. RASOK<sup>1</sup>, MATVEY E. CHEPOVSKY<sup>1</sup>,  
ALEXANDR YU. FROLOV<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of General and Outpatient Surgery, Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko, 394036, Voronezh, Russia

<sup>2</sup> Voronezh Regional Clinical Hospital No. 1, 394066, Voronezh, Russia

<sup>3</sup> Clinical Hospital "RZD-Medicine" Voronezh", 394024, Voronezh, Russia

#### Abstract

**Introduction.** Combined infectious defects of bone and soft tissues represent one of the most difficult problems of modern clinical practice. Despite the development of innovative strategies, understanding of the pathogenesis and mechanisms of antibiotic resistance, the effectiveness of their treatment remains unsatisfactory. The use of low-intensity laser radiation is considered as a promising direction in the local treatment of soft tissue and bone infections.

**The purpose of the study.** To substantiate the tactics of choosing a photosensitizer for laser photochemical debridement (LPD) for the treatment of soft tissue and bone infections.

**Materials and methods.** The analysis of scientific literature presented on PubMed, eLibrary, MEDLINE, ScienceDirect is carried out. The study is planned to include data from 2015–2025. However, due to insufficient information, it was decided to expand the study to include data from 2005–2025.

**Results.** LPD is highly effective in the complex treatment of soft tissue and bone infections. The effect on biofilms and bacterial metabolism makes this method especially relevant for persistent forms of chronic infection. The tactics of choosing FS for photochemical exposure includes several stages: assessment of the patient's contraindications to the use of FS; identification of the pathogen in the focus of infection; selection of a laser radiation source with the required wavelength.

**Conclusion.** Thus, the use of LPD is an effective method of combating infection of soft tissues and bones. The use of LPD makes it possible to shorten the duration of treatment, reduce relapses and improve the quality of life of patients.

**Key words:** laser photochemical debridement, photosensitizer, osteomyelitis, wounds, soft tissue infection

**Conflict of interests:** none.

**For citation:** Glukhov A.A., Ostroushko A.P., Laptiyova A.Yu., Aralova M.V., Ostroushko I.P., Rasok M.M., Chepovsky M.E., Frolov A.Yu. Laser photochemical debridement in the treatment of local infection of soft tissues and bones. *Moscow Surgical Journal*, 2026, № 1, pp. 211–223. <https://doi.org/10.17238/2072-3180-2026-1-211-223>

**Contribution of the authors:** Glukhov A.A. – development of the research concept, development of methodology, preparation of the final version of the article, Ostroushko A.P. – correction, preparation of the final version of the article, Laptiyova A.Yu. – literature review, systematization and structuring of the material, Aralova M.V. – correction, preparation of the final version of the article, Ostroushko I.P. – Systematization and structuring of the material, correction articles, Rasok M.M. – literature review, preparation of the article, Chepovsky M.E. – literature review, preparation of the article, Frolov A.Yu. – preparation of the article, translation

#### Введение

Комбинированные инфекционные дефекты костной и мягких тканей представляют собой одну из наиболее сложных проблем современной клинической практики [1, 2]. Их возникновение в 87–92 % случаев связано с предшествующими травматическими повреждениями, однако они также наблюдаются при непроникающих ранениях и у пациентов с иммуносупрессией в послеоперационном периоде. Инфекционные поражения мягких тканей, чей спектр варьирует от локальных дермальных инфекций до глубоких некротизирующих процессов, остаются одной из наиболее распространённых и потенциально опасных нозологий. Высокий риск развития осложнений, включая сепсис, диктует необходимость своевременного вмешательства, особенно в контексте роста антибиотикорезистентности [1, 2]. Наибольшие сложности в лечении представляют

длительно персистирующие инфицированные раны, сочетающиеся с очагами хронического остеомиелита в зоне раневого дефекта [1, 2, 3].

Хронический остеомиелит также сохраняет статус значимой медико-социальной проблемы [3]. Заболеваемость стабильно достигает высоких показателей, что патогенетически обосновывается способностью микроорганизмов, в частности *Staphylococcus aureus*, к образованию биоплёнок [4, 5]. Данные структуры формируют резистентные микроколонии, проникновение антибактериальных препаратов в которые существенно ограничено и нивелирует эффективность традиционной антибиотикотерапии [6]. Нередко течение патологии осложняется образованием свищей, гнойной деструкцией прилежащих тканей и формированием единого гнойно-деструктивного очага с вовлечением костной и мягких тканей [5, 7].

Несмотря на постоянное совершенствование лечебных стратегий, показатели летальности в группе пациентов с комбинированными инфекционными дефектами костной и мягких тканей сохраняются на высоком уровне, а больные подвергаются многокомпонентным хирургическим вмешательствам, пролонгированной госпитализации и продолжительной реабилитации [2, 3]. Несмотря на развитие инновационных стратегий и успехи в понимании патогенеза и механизмов антибиотикорезистентности, эффективность локального лечения остается неудовлетворительной [2, 3]. Около 70 % пациентов с данной патологией утрачивают трудоспособность, а свыше 50 % получают группу инвалидности, что создаёт значительную нагрузку на систему здравоохранения [2, 3]. Современные лечебные концепции, базирующиеся на радикальной хирургической обработке с последующими реконструктивными операциями и пролонгированной системной антибиотикотерапией, зачастую не обеспечивают достижения удовлетворительного клинического исхода [2]. Рост числа мультирезистентных штаммов, ограниченный потенциал хирургической санации и высокая частота рецидивирования актуализируют необходимость разработки альтернативных подходов [8].

В качестве одного из перспективных направлений в местном лечении инфекции мягких тканей и костей рассматривается модуляция регенераторных процессов. Особый научно-практический интерес представляет применение низкоинтенсивного лазерного излучения, обладающего полимодальным действием: репаративным, противовоспалительным, иммуномодулирующим и антимикробным [8, 9]. Современные научные данные свидетельствуют об успешном применении лазерного воздействия в комплексном лечении хронических инфекционных заболеваний мягких и костных тканей [3, 4].

### Цель исследования

Обосновать тактику выбора фотосенсибилизатора для лазерного фотохимического дебридмента с целью лечения инфекции мягких тканей и костей.

### Материалы и методы

Проведен анализ научной литературы. Информация отбиралась из отечественных и зарубежных источников: PubMed, eLIBRARY, MEDLINE, ScienceDirect. Использованы ключевые слова: "фотохимическая терапия", "лазерное лечение", "хронический остеомиелит", "chronic osteomyelitis", "раны мягких тканей", "гнойные раны", "фотосенсибилизаторы", "photosensitizers", "инфекция кости", "bone infection", "лечебная лазерная терапия", "therapeutic laser therapy", "Photofrin", "Photoditazine", "Alacens", "Aminolevulinic acid", "Photosense", "Hydroxylaluminium trisulfophthalocyanine", "Tookad". В исследование запланировано включать данные с 2015 по 2025 год. Однако, в связи с недостаточным объемом

информации, принято решение расширить исследование, включить данные с 2005 г. по 2025 г. Критерии исключения: публикации в виде отдельных клинических случаев, учебники, монографии, не рецензируемые источники.

### Основной текст статьи

Одним из перспективных направлений является фотохимическое воздействие, основанное на совместном применении фотосенсибилизаторов и лазерного излучения. Сущность метода заключается в активации фотосенсибилизатора (ФС) светом определённой длины волны. С целью повышения эффективности лечения перед применением данного метода необходима качественная хирургическая санация гнойного очага. Таким образом, в основе технологии лазерного фотохимического дебридмента (ЛФД) лежит комплексное воздействие на гнойный очаг, включающее санацию, применение лазерного излучения и фотосенсибилизатора [10].

Одним из преимуществ ЛФД является способность разрушать клеточную стенку широкого спектра микроорганизмов, включая антибиотикорезистентные штаммы, при этом минимизируя повреждение окружающих тканей. Кроме того, ЛФД демонстрирует иммуномодулирующее и регенеративное действия, что особенно важно при лечении хронических инфекций мягких тканей и костей.

Согласно современным исследованиям, фотохимическое воздействие позволяет эффективно разрушать бактериальные биоплёнки, устойчивые к традиционной антибиотикотерапии [7]. В частности, была продемонстрирована эффективность против метициллин-резистентных штаммов *Staphylococcus aureus*, что открывает новые перспективы в лечении хронического остеомиелита и ран мягких тканей [9, 11]. Также авторы отмечают эффективность ЛФД против грамположительных и грамотрицательных бактерий, биоплёнок, устойчивых к антибиотикам [9].

Исследования отечественных авторов также подтверждают высокую эффективность ЛФД в лечении гнойно-воспалительных процессов, в том числе мягких тканей и костной системы. При этом ЛФД способствует не только уничтожению патогенов, но и активации регенеративных процессов, улучшению микроциркуляции и снижению выраженности воспалительного ответа [11].

Также преимуществами фотохимического воздействия являются: минимальный риск резистентности микроорганизмов; возможность локального и многократного применения; отсутствие системных побочных эффектов; совместимость с другими методами лечения [9].

Одной из ключевых особенностей ЛФД является применение фотосенсибилизатора, активируемого светом определенной длины волны в присутствии кислорода. Это приводит к образованию активных форм кислорода (АФК), вызывающих повреждение клеточных мембран, ДНК

и белков микроорганизмов, способствуя их гибели [7, 11]. ФС вводится локально, лазерное излучение подается через оптоволоконные системы. Длительность облучения и мощность подбираются индивидуально.

ФС представляют соединения, способные избирательно накапливаться в патологических тканях и активироваться при воздействии света. На сегодняшний день применяются ФС первого (на основе гематопорфирина), второго (чистые и синтетические соединения) и третьего (таргетные фотосенсибилизаторы) поколений. ФС, наиболее часто применяемые при лечении инфекций костей и мягких тканей, отличаются по спектру поглощения света, их можно разделить на несколько классов:

1. Порфирины и их производные (Фотодитазин –  $662 \pm 3$  нм, Аминолевулиновая кислота –  $635 \pm 10$  нм);
2. Фенотиазиновые красители (Метиленовый синий –  $645 \pm 20$  нм, Толуидиновый синий –  $630 \pm 5$  нм);
3. Фталоцианины (Фотофрин –  $630 \pm 5$  нм, гидроксисалюминия трисульфоталоцианин –  $675 \pm 3$  нм);
4. Бактериохлорины (Тукад –  $763 \text{ нм} \pm 3$  нм);
5. Другие фотоактивные вещества (Куркумин –  $430 \pm 5$  нм, Диметилсульфоксид –  $670 \pm 10$  нм).

#### Фотодитазин

Фотодитазин обладает выраженным антибактериальным действием, высокой селективностью, быстрым выведением. Исследования показали сокращение рецидивов остеомиелита на 40 % по сравнению с традиционной терапией при применении фотодитазина. Данный препарат эффективен против золотистого стафилококка и других грамположительных микроорганизмов. Особенностью фотодитазина является его противовирусное действие.

На базе ГБОУ ВПО «РНМУ им. Н.И. Пирогова» было проведено исследование, в рамках которого изучали эффективность действия фотодитазина против вирусов простого герпеса 1-го и 2-го типов. В культуральную среду вводили фотосенсибилизатор фотодитазин в концентрации от 0 до 200 мкг/мл. Затем проводилось лазерное облучение с использованием аппарата «АФС» (ООО «Полироник»), обеспечивающего излучение с длиной волны 662 нм и максимальной мощностью 180 мВт. Комплексное воздействие лазерного облучения и фотодитазина на культуру клеток, инфицированных вирусами простого герпеса 1-го и 2-го типов, приводило к достоверному снижению титра вируса более чем на два порядка (в 100–1000 раз) [12].

Проведенные исследования также подтверждают эффективность применения фотодитазина и лазерного излучения в лечении ран кожи и мягких тканей, снижению воспаления и повышению активности регенеративных процессов [13]. Доказана антибактериальная активность фотохимического воздействия данного ФС, а также возможность полного уничтожения биопленок *S. mutans* [14].

#### Аминолевулиновая кислота

Фотосенсибилизатор Аминолевулиновая кислота активна против бактериальной и грибковой инфекции, может применяться в виде растворов для обработки полостей. В исследованиях отмечают положительную динамику в 85 % случаев при включении ЛФД с аминолевулиновой кислотой в протокол лечения. Данный ФС особо эффективен против грамположительных микроорганизмов, включая MRSA.

На базе отделения пластической и косметической хирургии госпиталя «Дапин», Третьего военно-медицинского университета в городе Чунцин (Китай) было проведено исследование с использованием аминолевулиновой кислоты. В исследование были включены 10 пациентов, у которых после косметических процедур присоединилась инфекция кожи и мягких тканей, вызванная нетуберкулёзными микобактериями. Всем пациентам выполняли ЛФД, включающий полную санацию гнойного очага и фотохимическое воздействие с препаратом Аминолевулиновая кислота. Активация ФС осуществлялась лазером с длиной волны 635 нм, при этом плотность энергии составляла 120 Дж/см<sup>2</sup>. Продолжительность воздействия варьировала от 20 до 40 минут в зависимости от болевой чувствительности пациента на момент процедуры. Фотохимическое воздействие выполняли один раз в неделю, а общее количество сеансов определяли индивидуально – в зависимости от динамики заживления. Клиническое выздоровление было достигнуто у всех пациентов. Отмечалось значительное сокращение общей продолжительности лечения. Ни у одного участника не было выявлено рецидивов инфекции в течение последующих 6 месяцев наблюдения. Побочные реакции были кратковременными: у всех пациентов возникла эритема, у двоих – зуд; все симптомы самостоятельно купировались в течение двух суток. Других побочных эффектов ЛФД выявлено не было [15].

В исследованиях представлена эффективность препарата Аминолевулиновая кислота в уничтожении различных групп патогенов (вирусов, грибов, паразитов), но основное внимание уделено антибактериальной активности этого ФС. Описано клиническое применение препарата Аминолевулиновая кислота и видимого света в лечении язв [16].

#### Фотофрин

Фотофрин – один из наиболее часто применяемых ФС в России. Обладает широким спектром действия и используется в хирургии, лечении инфекционных заболеваний и онкологии. Описано также применение фотофторина у пациентов с остеомиелитом стопы при сахарном диабете [17].

В 2012 году на базе отделения ортопедической хирургии медицинского колледжа национальной обороны в г. Токородзава (Япония) проведено экспериментальное

исследование, посвященное лечению поражений суставов и костей, вызванных MRSA [11]. В исследовании применяли внутрисуставные инъекции фотосенсибилизатора Фотофрин с последующей лазерной активацией, с использованием диодного источника света с длиной волны 635 нм и варьируемой плотностью светового потока в течение 5 минут. Сбор синовиальной жидкости осуществлялся через 6 часов, а также на 1, 3, 5 и 7 сутки после фотохимического воздействия. Образцы анализировались на содержание MRSA, количество нейтрофилов и концентрацию воспалительных цитокинов. В результате был выявлен двухфазный характер зависимости между дозой светового воздействия и антимикробной активностью. Наибольшее снижение количества жизнеспособных клеток MRSA наблюдалось при плотности светового потока 20 Дж/см<sup>2</sup>. При этом как более низкие, так и более высокие уровни облучения приводили к меньшему антимикробному эффекту. Эти данные сопровождалось увеличением уровней макрофагального воспалительного белка, а также более выраженным притоком нейтрофилов в поражённый сустав [15].

Также доказана эффективность Фотофрина и лазерного излучения на клеточную стенку бактерий, обладающих антибиотикорезистентностью, что связано с повышением активности синглетного кислорода при выполнении ЛФД [18].

#### Фотосенс

Фотосенс обладает выраженной антибактериальной и противогрибковой активностью, активно накапливается в зонах воспаления и биопленках. Может применяться при гнойно-воспалительных процессах мягких тканей и костей, характеризуется хорошей переносимостью, перспективен для лечения хронических форм остеомиелита и инфекций мягких тканей благодаря способности разрушать устойчивые микробные сообщества.

Препарат Фотосенс был исследован на базе ГКБ № 5 и ГКБ № 40 г. Москвы. В исследование были включены пациенты, перенесшие хирургическое вмешательство за 5 лет. Были изучены результаты лечения 80 человек, из них 40 пациентов (50 %) составляли основную группу, в которой применялся ЛФД, а оставшиеся 40 человек (50 %) вошли в группу сравнения и получали стандартное антибактериальное лечение [19]. Сеансы ЛФД проводились по стандартной методике: после хирургической обработки очага инфекции и промывания раны на её поверхность наносили стерильные марлевые салфетки, пропитанные раствором фотосенсибилизатора Фотосенс в концентрации 250 мкг/мл. Аппликация длилась 60 минут. Затем салфетки удаляли, остатки препарата смывали с поверхности раны водным раствором хлоргексидина, после чего выполнялось облучение с использованием светодиодной лампы УФФ-630/675-01 «Биоспек». Все пациенты переносили процедуру удовлетворительно, кожной фототоксичности

и специфических реакций на фотосенсибилизатор зарегистрировано не было. Воздействие проводили один раз в день, курс лечения составлял от 5 до 10 процедур в зависимости от глубины и распространённости воспалительного процесса [19]. Результаты количественного бактериологического анализа показали, что уже после первого сеанса отмечается выраженное снижение численности основных патогенных микроорганизмов. У 18 пациентов (45 %) с осложнённым течением послеоперационных ран существенное уменьшение микробной контаминации фиксировалось после проведения 2–3 процедур [19].

В исследованиях доказана эффективность препарата Фотосенс против *Pseudomonas aeruginosa*. Отмечается уничтожение бактериальных клеток до 99,9 %, что было достигнуто при интенсивности света 105 мВт/см<sup>2</sup> после 20, 30 и 40 минут облучения [20].

Также описана высокая эффективность применения препарата Фотосенс и лазерного излучения при воздействии на *Leishmania peruviana* и *Leishmania braziliensis*. Так, через 24 часа после облучения ингибирующее действие на *Leishmania peruviana* и *Leishmania braziliensis* составило 72,9 % и 73,9 % соответственно; через 96 часов 78,8 % и 80,6 % соответственно [21].

#### Тукад

Тукад – фотосенсибилизатор нового поколения, который обеспечивает глубокое проникновение в ткани и эффективность в условиях гипоксии. Так как данный ФС не требует наличия кислорода для активации, это делает его перспективным для лечения хронических инфекций при выраженном нарушении кровоснабжения. Применяется преимущественно в онкологии, но в последние годы активно исследуется как средство для фотохимической терапии устойчивых инфекций, особенно в труднодоступных и плохо васкуляризированных очагах.

По данным литературы проведены исследования, подтверждающие эффективность применения ФС Тукад в комбинации с лазерным излучением против MRSA. Следует отметить, что препарат вводили внутривенно, а рану облучали лазером. Через 24 часа после однократной процедуры количество живых бактерий в ране снижалось на 99,99 % [22].

Также проведены исследования, подтверждающие эффективность применения фотохимического воздействия с ФС Тукад на очаг инфекции *A. baumannii* [23].

#### Метиленовый синий

Метиленовый синий является безопасным и перспективным средством, используемым в качестве ФС при фотохимическом воздействии на область инфицированных участков кожи, мягких тканей и костей. ЛФД с использованием метиленового синего эффективен в борьбе с инфекциями за счёт цитотоксического действия активных форм кислорода, в том числе

синглетного кислорода, образующегося при фотоактивации данного ФС. Более широкое использование получило применение нано- и микрочастиц, содержащих метиленовый синий, что может улучшить клинические результаты фотохимического воздействия на очаг инфекции [24].

В 2017 году в Королевской национальной ортопедической больнице г. Стэнмор (Великобритания) проведено исследование с использованием метиленового синего в лечении инфекционных осложнений после протезирования суставов [25]. Анализ показал, что при использовании данного ФС наблюдалось полное уничтожение всех исследуемых штаммов стафилококков – MSSA, MRSA и *S. Epidermidis*. Для MSSA и MRSA отмечалась зависимость: с увеличением концентрации метиленового синего, усиливался и его антимикробный эффект [25].

#### Толуидиновый синий

Толуидиновый синий – фотосенсибилизатор, применяемый для борьбы с бактериальной и грибковой инфекцией. Доказана его эффективность против *S. albicans* и *S. krusei* в стоматологической и хирургической практике. Данный ФС применяется и для обработки поверхностных ран и язв [26, 27].

Куркумин – природный фотосенсибилизатор, максимальная эффективность которого наблюдается при длине волны  $430 \pm 5$  нм. Доказана эффективность применения данного ФС, активированного синим светом (420–460 нм), против планктонных клеток и, что особенно важно, биопленок двух ключевых патогенов: грамположительного *S. aureus* и грамотрицательной *E. coli*. Также доказана эффективность куркумина против грибковой инфекции, в частности *Candida albicans* [5, 6].

#### Диметилсульфоксид

Диметилсульфоксид применяется с целью повышения чувствительности клеток к лазерному воздействию. Была

продемонстрирована эффективность применения данного ФС в комбинации с излучением длиной волны 405 нм и приложенной энергией 25,3 Дж против *Actinomyces israelii*, *Enterococcus faecium*, *Fusobacterium nucleatum*, *Lactobacillus gasseri*, *Streptococcus mutans*, *Veillonella parvula* [28].

Диметилсульфоксид легко проникает и диффундирует через биологические мембраны, проявляет противовоспалительные, обезболивающие, сосудорасширяющие и радиопротекторные свойства. Также является активным поглотителем свободных радикалов, что может объяснить его благоприятное воздействие на восстановление мягких тканей после термических повреждений. Возможность улучшения кровообращения в зоне повреждения позволяет применить Диметилсульфоксид при лечении пролежней, грибковых и бактериальных инфекций [29]. Следует акцентировать внимание на том, что лазер не активирует молекулу диметилсульфоксида напрямую – вместо этого он активирует биологические ткани и клетки, а Диметилсульфоксид выступает в роли мощного синергиста.

На базе Белорусского государственного медицинского университета провели исследование, в котором доказали эффективность Диметилсульфоксида и лазерного воздействия [30]. Результаты показали, что Диметилсульфоксид сам по себе проявляет низкую антимикробную активность в отношении исследуемых микроорганизмов. Доля выживших бактерий превышала 91 %. При применении только лазерного воздействия доля выживших бактерий варьировала от 45 % до 84 %. При комбинированном применении лазерного облучения с Диметилсульфоксидом наблюдался более выраженный антимикробный эффект: доля выживших микроорганизмов составила 16 % для *S. albicans*, 21 % – для *E. coli*, и 22 % – для *S. aureus* [30].

Основные характеристики ФС, применяемых для лазерного фотохимического дебридмента с целью лечения инфекции мягких тканей и костей представлены в таблице 1.

Таблица 1

Фотосенсибилизаторы и их свойства

Table 1

Photosensitizers and their properties

ФС Photosensitizers	Противопоказания Contraindications	Условия активации Activation conditions	Спектр действия The spectrum of action	Производитель Manufacturer
Фотодитазин Photoditazine	Повышенная чувствительность к фотодитазину, тяжелая почечная или печеночная недостаточность, сердечно-сосудистые заболевания в фазе декомпенсации, беременность, период грудного вскармливания, возраст до 18 лет. Hypersensitivity to photoditazine, severe renal or hepatic insufficiency, cardiovascular diseases in the decompensation phase, pregnancy, breastfeeding, age under 18 years	Длина волны 662±3 нм, период воздействия от 10 минут. Wavelength 662±3 nm, exposure period from 10 minutes	– Бактерии (Staphylococcus aureus, Staphylococcus epidermidis, Enterococcus faecalis, Pseudomonas aeruginosa, Escherichia coli, Klebsiella pneumoniae, Acinetobacter baumannii), – Вирусы (ВПГ1 и 2 типов), – Грибы (Candida albicans), – Простейшие (Trichomonas vaginalis). – Bacteria (Staphylococcus aureus, Staphylococcus epidermidis, Enterococcus faecalis, Pseudomonas aeruginosa, Escherichia coli, Klebsiella pneumoniae, Acinetobacter baumannii), – Viruses (HSV types 1 and 2), – Fungi (candida albicans), – Protozoa (Trichomonas vaginalis).	Россия Russia
Аминолевулиновая кислота Aminolevulinic acid	Повышенная чувствительность к препарату, острая или хроническая порфирия, беременность, период грудного вскармливания, возраст до 18 лет. Hypersensitivity to the drug, acute or chronic porphyria, pregnancy, breastfeeding, age under 18 years.	Длина волны 635±10 нм, период воздействия от 15 минут. Wavelength is 635±10 nm, the exposure period is from 15 minutes	– Бактерии (Cutibacterium acnes, Staphylococcus aureus (в т.ч. MRSA – устойчивый штамм), Staphylococcus epidermidis, Enterococcus faecalis, Pseudomonas aeruginosa, Escherichia coli), – Грибы (Candida albicans), – Простейшие (Leishmania spp.), – Биопленки. – Bacteria (cutibacterium acnes, Staphylococcus aureus (including Mrsa-resistant strain), Staphylococcus epidermidis, Enterococcus faecalis, Pseudomonas aeruginosa, Escherichia coli), – Fungi (candida albicans), – Protozoa (Leishmania spp.), – Biofilms.	Россия Russia
Фотофрин Photofrin	Повышенная чувствительность к препарату, острая или хроническая порфирия, беременность, период грудного вскармливания, возраст до 18 лет. Hypersensitivity to the drug, acute or chronic porphyria, pregnancy, breastfeeding, age under 18 years.	Длина волны 630±5 нм, период воздействия от 20 минут. Wavelength is 630±5 nm, the exposure period is from 20 minutes	– Бактерии (Staphylococcus aureus (включая MRSA – устойчивый штамм), Enterococcus faecalis, Streptococcus mutans, Pseudomonas aeruginosa, Escherichia coli), – Вирусы (ВПГ, ВИЧ, вирусы гепатита В и С), – Грибы (Candida albicans), – Простейшие (Plasmodium spp.). – Bacteria (Staphylococcus aureus (including MRSA – resistant strain), Enterococcus faecalis, Streptococcus mutans, Pseudomonas aeruginosa, Escherichia coli), – Viruses (HSV, HIV, hepatitis B and C viruses), – Fungi (Candida albicans), – Protozoa (Plasmodium spp.).	Канада Canada

Продолжение Таблицы 1

ФС Photosensitizers	Противопоказания Contraindications	Условия активации Activation conditions	Спектр действия The spectrum of action	Производитель Manufacturer
Фотосенс Photosense	Повышенная чувствительность к фталоцианинам, почечная или печеночная недостаточность в стадии декомпенсации, беременность или лактация, порфирии, фотоаллергические реакции в анамнезе, возраст до 18 лет. Hypersensitivity to phthalocyanines, renal or hepatic insufficiency in the stage of decompensation, pregnancy or lactation, porphyria, history of photoallergic reactions, age under 18 years.	Длина волны 675±3 нм, период воздействия от 10 минут. Wavelength is 675±3 nm, the exposure period is from 10 minutes.	– Бактерии ( <i>Staphylococcus aureus</i> (включая MRSA – устойчивый штамм), <i>Enterococcus faecalis</i> , <i>Staphylococcus epidermidis</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i> , <i>Acinetobacter baumannii</i> ), – Вирусы (ВИП), – Грибы ( <i>Candida albicans</i> , <i>Aspergillus fumigatus</i> ), – Биопленки. – Bacteria ( <i>Staphylococcus aureus</i> (including mrsa-resistant strain), <i>Enterococcus faecalis</i> , <i>Staphylococcus epidermidis</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i> , <i>Acinetobacter baumannii</i> ), – Viruses (HSV), – Fungi ( <i>Candida albicans</i> , <i>Aspergillus fumigatus</i> ), – Biofilms.	Россия Russia
Тукад Tukad	Повышенная чувствительность к препарату, порфирия, наличие свищей, коагулопатии. Hypersensitivity to the drug, porphyria, fistula, coagulopathy.	Длина волны 763±3 нм, период воздействия от 15 минут. Wavelength is 763±3 nm, the exposure period is from 15 minutes.	– Бактерии ( <i>Staphylococcus aureus</i> (включая MRSA – устойчивый штамм), <i>Enterococcus faecalis</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Acinetobacter baumannii</i> ), – Биопленки. – Bacteria ( <i>Staphylococcus aureus</i> (including mrsa-resistant strain), <i>Enterococcus faecalis</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Acinetobacter baumannii</i> ), – Biofilms.	Израиль, Канада Israel, Canada
Метиленовый синий Methylene blue	Гиперчувствительность к препарату. Hypersensitivity to the drug.	Длина волны 645±20 нм, период воздействия от 25 минут. Wavelength is 645±20 nm, the exposure period is from 25 minutes.	– Бактерии ( <i>Staphylococcus aureus</i> (включая MRSA – устойчивый штамм), <i>Enterococcus faecalis</i> , <i>Staphylococcus mutans</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i> ), – Вирусы (ВИП, вирус гепатита С, SARS-CoV-2), – Грибы ( <i>Candida albicans</i> , <i>Aspergillus fumigatus</i> ), – Простейшие ( <i>Plasmodium</i> spp.), – Биопленки. – Bacteria ( <i>Staphylococcus aureus</i> (including mrsa-resistant strain), <i>Enterococcus faecalis</i> , <i>Staphylococcus mutans</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i> ), – Viruses (HSV, hepatitis C virus, SARS-cov-2), – Fungi ( <i>Candida albicans</i> , <i>Aspergillus fumigatus</i> ), – Protozoa ( <i>Plasmodium</i> spp.), – Biofilms.	Россия Russia

Окончание Таблицы 1

ФС Photosensitizers	Противопоказания Contraindications	Условия активации Activation conditions	Спектр действия The spectrum of action	Произво- дитель Manufac- turer
Толуидиновый синий Toluidine Blue	Повышенная чувствительность к органическим нитратам, шок, коллапс, возраст до 18 лет. Hypersensitivity to organic nitrates, shock, collapse, under 18 years of age	Длина волны 630±5 нм, период воздействия от 15 минут. Wavelength is 630±5 nm, the exposure period is from 15 minutes.	– Бактерии (Staphylococcus aureus (включая MRSA - устойчивый штамм), Enterococcus faecalis, Staphylococcus mutans), – Грибы (Candida albicans). – Bacteria (Staphylococcus aureus (including mrsa-resistant strain), Enterococcus faecalis, Staphylococcus mutans), – Fungi (candida albicans).	Россия Russia
Куркумин Curcumin	Гиперчувствительность к препарату, заболевания желчного пузыря, гастрит, беременность или лактация, коагулопатии. Hypersensitivity to the drug, gallbladder diseases, gastritis, pregnancy or lactation, coagulopathy.	Длина волны 430±5 нм, период воздействия от 25 минут. Wavelength is 430±5 nm, the exposure period is from 25 minutes.	– Бактерии (Staphylococcus aureus (включая MRSA - устойчивый штамм), Enterococcus faecalis, Pseudomonas aeruginosa, Escherichia coli), – Грибы (Candida albicans), – Биопленки. – Bacteria (Staphylococcus aureus (including mrsa-resistant strain), Enterococcus faecalis, Pseudomonas aeruginosa, Escherichia coli), – Fungi (candida albicans), – Biofilms.	Россия Russia
Диметил-сульфоксид Dimethyl Sulfoxide	Повышенная чувствительность к диметилсульфоксиду или другим компонентам препарата; тяжелая печеночная и/или почечная недостаточность; стенокардия; выраженный атеросклероз; глаукома; катаракта; острый период инсульта; кома; острый период инфаркта миокарда; беременность; период грудного вскармливания; возраст до 12 лет. Hypersensitivity to dimethyl sulfoxide or other components of the drug; severe liver and / or kidney failure; angina pectoris; severe atherosclerosis; glaucoma; cataracts; acute period of stroke; coma; acute period of myocardial infarction; pregnancy; breastfeeding; age up to 12 years.	Длина волны 670±10 нм, период воздействия от 10 минут. Wavelength is 670±10 nm, the exposure period is from 10 minutes.	– Бактерии (Staphylococcus aureus (включая MRSA - устойчивый штамм), Bacillus subtilis, Pseudomonas aeruginosa, Escherichia coli), – Грибы (Candida albicans, Trichophyton mentagrophytes), – Биопленки. – Bacteria (Staphylococcus aureus (including mrsa-resistant strain), Bacillus subtilis, Pseudomonas aeruginosa, Escherichia coli), – Fungi (Candida albicans, Trichophyton mentagrophytes), – Biofilms.	Россия Russia

## Заключение

Полученные данные свидетельствуют о высокой эффективности ЛФД в комплексном лечении инфекции мягких тканей и костей. Влияние на биопленки и метаболизм бактерий делает этот метод особенно актуальным при устойчивых формах хронической инфекции. Также важно отметить, что фотохимическое воздействие активирует иммунную систему и способствует более быстрому заживлению, что может быть обусловлено воздействием синглетного кислорода и улучшением микроциркуляции, приводит к уменьшению бактериальной нагрузки; снижению воспалительной реакции, стимуляции остеорегенерации, уменьшению сроков заживления ран и риска рецидива инфекции.

Тактика выбора ФС для фотохимического воздействия включает несколько этапов: оценку наличия у пациента противопоказаний к применению ФС; определение возбудителя в очаге инфекции; подбор источника лазерного излучения с необходимой длиной волны.

Спектр действия ФС играет ключевую роль в выборе препарата для ЛФД. Так при наличии у пациента бактериальной грамположительной и грамотрицательной инфекции могут быть применены препараты всех групп (порфирины и их производные, фенотиазиновые красители, фталоцианины, бактериохлорины, другие фотоактивные вещества). В случае выявления MRSA наиболее эффективны Аминолевулиновая кислота, Фотофрин, Фотосенс, Тукад, Метиленовый синий, Толуидиновый синий, Куркумин, Диметилсульфоксид, а при наличии MSSA только Метиленовый синий. В случае определения в очаге инфекции *Candida albicans* наилучший результат может быть получен при использовании Фотодитазина, Аласенса, Фотофрина, при наличии *Aspergillus fumigatus* – Метиленового синего, а при определении *Trichophyton mentagrophytes* – Диметилсульфоксида. Активны против биопленок Аласенс, Тукад, Метиленовый синий, Куркумин, Диметилсульфоксид. Только препараты Фотодитазин и Фотосенс обладают противовирусной активностью. При наличии в очаге инфекции простейших обосновано применение Фотодитазина, Аминолевулиновая кислота, Фотофрина, Метиленового синего.

Таким образом применение ЛФД представляет собой эффективный метод борьбы с инфекцией мягких тканей и костей. Применение ЛФД позволяет сократить сроки лечения, снизить рецидивы и улучшить качество жизни пациентов. Будущие направления развития включают создание новых фотосенсибилизаторов с улучшенной проникающей способностью, комбинирование фотохимического воздействия с биоматериалами для стимуляции регенерации и остеогенеза, а также разработку персонализированных схем лечения. В перспективе ЛФД может занять ключевое место в комплексной терапии инфекционно-воспалительных заболеваний мягких и костной тканей.

## Список литературы:

1. Chen Z., Yang Y., Liu B., Li X., Tian Y. Application of 3D-printed porous prosthesis for the reconstruction of infectious bone defect with concomitant severe soft tissue lesion: a case series of 13 cases. *BMC Musculoskelet Disord*, 2024, № 30, 25 (1), pp. 1090. <https://doi.org/10.1186/s12891-024-08248-6>
2. Stevens D.L., Bryant A.E., Goldstein E.J. Necrotizing Soft Tissue Infections. *Infect Dis Clin North Am*. 2021, № 35 (1), pp. 135–155. <https://doi.org/10.1016/j.idc.2020.10.004>
3. Dai T., Huang Y.Y., Hamblin M.R. Photodynamic therapy for localized infections – state of the art. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, 2009, № 6 (3–4), pp. 170–188.
4. Зайцев Д.А., Осипов Д.А., Мартынов А.Г. Фотодинамическая терапия в лечении хронического остеомиелита. *Педиатрическая фармакология*, 2021. № 18 (5). С. 8–17.
5. Imaizumi U., Inaba K., Kurahashi A., Kuroda H., Sanuki T., Yoshida A., Yoshino F., Hamada N. Effectiveness of curcumin-based antimicrobial photodynamic therapy against *Staphylococcus aureus*. *J Oral Sci*, 2023, № 65 (4), pp. 270–274. <https://doi.org/10.2334/josnusd.23-0183>
6. Kubizna M., Dawiec G., Wiench R. Efficacy of Curcumin-Mediated Antimicrobial Photodynamic Therapy on *Candida* spp.-A Systematic Review. *Int J Mol Sci*, 2024, № 25 (15), pp. 8136. <https://doi.org/10.3390/ijms25158136>
7. Крочек И.В., Привалов В.А., Лаппа А.В. Лазерная остеоперфорация в лечении острого гематогенного остеомиелита. 10-летний опыт. *Педиатрия*, 2013. № 91 (6). С. 67–71.
8. Dos Reis Júnior J.A., de Assis P.N., Paraguassú G.M. Antimicrobial photodynamic therapy in chronic osteomyelitis induced by *Staphylococcus aureus*: An in vitro and in vivo study. *AIP Conference Proceedings*, 2012, № 1486 (1), pp. 113–118.
9. Трунова О.В. Применение лазерной терапии и электрофореза кальция при хроническом остеомиелите у детей. *Физиотерапия, бальнеология и реабилитация*, 2010. № 9 (5). С. 16–19.
10. Гулямов Е.Б. Краткий обзор современных методов радиологической диагностики остеомиелита. *Traumatology and Orthopaedics of Kazakhstan*, 2023. № 3. С. 55–59.
11. Сагдиев Р.Д. Применение фотодинамической терапии в комплексном лечении гнойно-воспалительных заболеваний мягких тканей. *Хирург*, 2016. № 4. С. 43–45.
12. Макаров О.В., Хашукоева А.З., Свитич О.А., Маркова Э.А., Хлынова С.А. III Всероссийская конференция «Фотодинамическая терапия и Фотодиагностика». Экспериментальное обоснование метода фотосенсибилизированной фотомодификации крови в терапии рецидивирующей герпесвирусной инфекции у пациентов с репродуктивными потерями в анамнезе. 2014, С. 16.
13. Solovieva A.B., Vanin A.F., Shekhter A.B., Glagolev N.N., Aksenova N.A., Mikoyan V.D., Kotova S.L., Rudenko T.G., Fayzullin A.L., Timashev P.S. Is it possible to combine photodynamic therapy and application of dinitrosyl iron complexes in the wound treatment? *Nitric Oxide*, 2019, № 83, pp. 24–32. <https://doi.org/10.1016/j.niox.2018.12.004>
14. Terra G.M., Correia Pereira A.H., Figueiredo-Godoi L.M.A., Jorge A.O.C., Strixino J.F., Junqueira J.C. Photodynamic therapy mediated by chlorin-type photosensitizers against *Streptococcus mutans* biofilms. *Photodiagnosis Photodyn Ther*, 2018, № 24, pp. 256–261. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2018.08.012>

15. Kou H., Li X., Wang H., Yang Y., Liu M. Application of surgical management combined with photodynamic therapy in the treatment of nontuberculous mycobacterial infections after cosmetic surgery. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, 2025, № 53, pp. 104545. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2025.104545>

16. Zdebek A., Maliszewska I. On the Possibility of Using 5-Aminolevulinic Acid in the Light-Induced Destruction of Microorganisms. *Int J Mol Sci*, 2024, № 22, 25 (7), pp. 3590. <https://doi.org/10.3390/ijms25073590>

17. Gamissans M., Riera-Martí N., Romani J., Gilaberte Y. Ultrasound-guided photodynamic therapy with intralesional methylene blue and a 635 nm light-emitting diode lamp in hidradenitis suppurativa: a retrospective study of 41 patients. *Photodermatol Photoimmunol Photomed*, 2022, № 38 (1), pp. 12–18. <https://doi.org/10.1111/phpp.12709>

18. Babu B., Mack J., Nyokong T. Sn(IV)-porphyrinoids for photodynamic anticancer and antimicrobial chemotherapy. *Dalton Trans*, 2023, № 25, 52 (16), pp. 5000–5018. <https://doi.org/10.1039/d3dt00603d>

19. Исмаилов Г.М., Словоходов Е.К., Ярема В.И., Полсачев В.И., Николаев Н.М., Чеканов В.Н. Результаты лечения инфекции в области хирургического вмешательства методом фотодинамической терапии. *Эндоскопическая хирургия*, 2016. № 22 (3). С. 28–36.

20. Maliszewska I., Kałas W., Wysokińska E., Tylus W., Pietrzyk N., Popko K., Palewska K. Enhancement of photo-bactericidal effect of tetrasulfonated hydroxyaluminum phthalocyanine on *Pseudomonas aeruginosa*. *Lasers Med Sci*, 2018, № 33 (1), pp. 79–88. <https://doi.org/10.1007/s10103-017-2337-0>

21. Izarra-Rojas KV, Rojas-Palomino N, Gonzales-Medrano JL, Minaya-Gómez G, Berrocal-Huallpa A, Santiago-Contreras J, León-Quispe J. In vitro inhibitory effect of aluminum phthalocyanine tetrasulfonate chloride against *Leishmania (Viannia) Peruviana* and *Leishmania (Viannia) Braziliensis*. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*, 2020, № 37 (3), pp. 462–470. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2020.373.4465>

22. Mishra S.K., Basukala P., Basukala O., Parajuli K., Pokhrel B.M., Rijal B.P. Detection of Biofilm Production and Antibiotic Resistance Pattern in Clinical Isolates from Indwelling Medical Devices. *Curr Microbiol*. 2015, № 70, pp. 128–134. <https://doi.org/10.1007/s00284-014-0694-5>

23. Wiebeler C., Borin V., Sanchez de Araújo A.V., Schapiro I., Borin, A.C. Excitation Energies of Canonical Nucleobases Computed by Multiconfigurational Perturbation Theories. *Photochem Photobiol*, 2017, № 93, pp. 888–902. <https://doi.org/10.1111/php.12765>

24. Lim D.J. Methylene Blue-Based Nano and Microparticles: Fabrication and Applications in Photodynamic Therapy. *Polymers (Basel)*, 2021, № 13 (22), pp. 3955. <https://doi.org/10.3390/polym13223955>

25. Briggs T., Blunn G., Hislop S. Antimicrobial photodynamic therapy—a promising treatment for prosthetic joint infections. *Lasers Med Sci*, 2018, № 33, pp. 523–532. <https://doi.org/10.1007/s10103-017-2394-4>

26. Wiench R, Skaba D, Matys J, Grzech-Leśniak K. Efficacy of Toluidine Blue-Mediated Antimicrobial Photodynamic Therapy on *Candida* spp. A Systematic Review. *Antibiotics (Basel)*, 2021, № 10 (4), pp. 349. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10040349>

27. Rodrigues A.B.F., Passos J.D.S., Costa M.S. Effect of antimicrobial photodynamic therapy using toluidine blue on dual-species biofilms of *Candida albicans* and *Candida krusei*. *Photodiagnosis*

*Photodyn Ther*, 2023, № 42, pp. 103600. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2023.103600>

28. Kang S.M., Jung H.I., Kim B.I. Susceptibility of oral bacteria to antibacterial photodynamic therapy. *J Oral Microbiol*. 2019, № 19, 11 (1), pp. 1644111. <https://doi.org/10.1080/20002297.2019.1644111>

29. Karim M., Boikess R.S., Schwartz R.A., Cohen P.J. Dimethyl sulfoxide (DMSO): a solvent that may solve selected cutaneous clinical challenges. *Arch Dermatol Res*, 2023, № 315 (6), pp. 1465–1472. <https://doi.org/10.1007/s00403-022-02494-1>

30. Гречуха Т.А. Оценка противомикробной активности фотодинамического воздействия на различные виды бактерий в комбинации с Димексидом. *БГМУ: 90 лет в авангарде медицинской науки и практики: сб. науч. тр.*, 2021. С. 42–44. 0.024

#### References:

1. Chen Z., Yang Y., Liu B., Li X., Tian Y. Application of 3D-printed porous prosthesis for the reconstruction of infectious bone defect with concomitant severe soft tissue lesion: a case series of 13 cases. *BMC Musculoskelet Disord*, 2024, № 30, 25 (1), pp. 1090. <https://doi.org/10.1186/s12891-024-08248-6>

2. Stevens D.L., Bryant A.E., Goldstein E.J. Necrotizing Soft Tissue Infections. *Infect Dis Clin North Am*. 2021, № 35(1), pp. 135–155. <https://doi.org/10.1016/j.idc.2020.10.004>

3. Dai T., Huang Y.Y., Hamblin M.R. Photodynamic therapy for localized infections – state of the art. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, 2009, № 6 (3–4), pp. 170–188.

4. Zaitsev D.A., Osipov D.A., Martynov A.G. Photodynamic therapy in the treatment of chronic osteomyelitis. *Pediatric Pharmacology*, 2021, № 18 (5), pp. 8–17. (In Russ.)

5. Imaizumi U., Inaba K., Kurahashi A., Kuroda H., Sanuki T., Yoshida A., Yoshino F., Hamada N. Effectiveness of curcumin-based antimicrobial photodynamic therapy against *Staphylococcus aureus*. *J Oral Sci*, 2023, № 65 (4), pp. 270–274. <https://doi.org/10.2334/josnusd.23-0183>

6. Kubizna M., Dawiec G., Wiench R. Efficacy of Curcumin-Mediated Antimicrobial Photodynamic Therapy on *Candida* spp.-A Systematic Review. *Int J Mol Sci*, 2024, № 25 (15), pp. 8136. <https://doi.org/10.3390/ijms25158136>

7. Krochek I.V., Privalov V.A., Lappa A.V. Laser osteoperforation in the treatment of acute hematogenous osteomyelitis: a 10-year experience. *Pediatrician*, 2013, № 91 (6), pp. 67–71. (In Russ.)

8. Dos Reis Júnior J.A., de Assis P.N., Paraguassú G.M. Antimicrobial photodynamic therapy in chronic osteomyelitis induced by *Staphylococcus aureus*: An in vitro and in vivo study. *AIP Conference Proceedings*, 2012, № 1486 (1), pp. 113–118.

9. Trunova O.V. Application of laser therapy and calcium electrophoresis in chronic osteomyelitis in children. *Physiotherapy, Balneology, and Rehabilitation*, 2010, № 9 (5), pp. 16–19. (In Russ.)

10. Gulyamov Y.B. A concise review of current methods in radiological diagnosis of osteomyelitis. *Traumatology and Orthopaedics of Kazakhstan*, 2023, № 3, pp. 55–59. (In Kaz.)

11. Sagdiyev R.D. Application of photodynamic therapy in the comprehensive treatment of purulent-inflammatory diseases of soft tissues. *Surgeon*, 2016, № 4, pp. 43–45. (In Russ.)

12. Makarov O.V., Khashukoeva A.Z., Svitich O.A., Markova E.A., Khlynova S.A. III All-Russian Conference "Photodynamic Therapy and Photodiagnosics." Experimental justification of the

method of photosensitized photomodification of blood in the treatment of recurrent herpesvirus infection in patients with a history of reproductive loss, 2014, pp. 16. (In Russ.)

13. Solovieva A.B., Vanin A.F., Shekhter A.B., Glagolev N.N., Aksenova N.A., Mikoyan V.D., Kotova S.L., Rudenko T.G., Fayzullin A.L., Timashev P.S. Is it possible to combine photodynamic therapy and application of dinitrosyl iron complexes in the wound treatment? *Nitric Oxide*, 2019, № 83, pp. 24–32. <https://doi.org/10.1016/j.niox.2018.12.004>

14. Terra G.M., Correia Pereira A.H., Figueiredo-Godoi L.M.A., Jorge A.O.C., Strixino J.F., Junqueira J.C. Photodynamic therapy mediated by chlorin-type photosensitizers against *Streptococcus mutans* biofilms. *Photodiagnosis Photodyn Ther*, 2018, № 24, pp. 256–261. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2018.08.012>

15. Kou H., Li X., Wang H., Yang Y., Liu M. Application of surgical management combined with photodynamic therapy in the treatment of nontuberculous mycobacterial infections after cosmetic surgery. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, 2025, № 53, pp. 104545. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2025.104545>

16. Zdubek A., Maliszewska I. On the Possibility of Using 5-Aminolevulinic Acid in the Light-Induced Destruction of Microorganisms. *Int J Mol Sci*, 2024, № 22, 25 (7), pp. 3590. <https://doi.org/10.3390/ijms25073590>

17. Gamissans M., Riera-Martí N., Romani J., Gilaberte Y. Ultrasound-guided photodynamic therapy with intralesional methylene blue and a 635 nm light-emitting diode lamp in hidradenitis suppurativa: a retrospective study of 41 patients. *Photodermatol Photoimmunol Photomed*, 2022, № 38 (1), pp. 12–18. <https://doi.org/10.1111/phpp.12709>

18. Babu B., Mack J., Nyokong T. Sn(IV)-porphyrinoids for photodynamic anticancer and antimicrobial chemotherapy. *Dalton Trans*, 2023, № 25, 52 (16), pp. 5000–5018. <https://doi.org/10.1039/d3dt00603d>

19. Ismailov G.M., Slovokhodov E.K., Yarema V.I., Polsachev V.I., Nikolaev N.M., Chekanov V.N. Outcomes of infection treatment in the surgical site using photodynamic therapy. *Endoscopic Surgery*, 2016, № 22 (3), pp. 28–36. (In Russ.)

20. Maliszewska I., Kalas W., Wysokińska E., Tylus W., Pietrzyk N., Popko K., Palewska K. Enhancement of photo-bactericidal effect of tetrasulfonated hydroxyaluminum phthalocyanine on *Pseudomonas aeruginosa*. *Lasers Med Sci*, 2018, № 33 (1), pp. 79–88. <https://doi.org/10.1007/s10103-017-2337-0>

21. Izarra-Rojas KV, Rojas-Palomino N, Gonzales-Medrano JL, Minaya-Gómez G, Berrocal-Huallpa A, Santiago-Contreras J, León-Quispe J. In vitro inhibitory effect of aluminum phthalocyanine tetrasulfonate chloride against *Leishmania (Viannia) Peruviana* and *Leishmania (Viannia) Braziliensis*. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*, 2020, № 37 (3), pp. 462–470. <https://doi.org/10.17843/rpmsp.2020.373.4465>

22. Mishra S.K., Basukala P., Basukala O., Parajuli K., Pokhrel B.M., Rijal B.P. Detection of Biofilm Production and Antibiotic Resistance Pattern in Clinical Isolates from Indwelling Medical Devices. *Curr Microbiol*. 2015, № 70, pp. 128–134. <https://doi.org/10.1007/s00284-014-0694-5>

23. Wiebeler C., Borin V., Sanchez de Araújo A.V., Schapiro I., Borin, A.C. Excitation Energies of Canonical Nucleobases Computed by Multiconfigurational Perturbation Theories. *Photochem Photobiol*, 2017, № 93, pp. 888–902. <https://doi.org/10.1111/php.12765>

24. Lim D.J. Methylene Blue-Based Nano and Microparticles: Fabrication and Applications in Photodynamic Therapy. *Polymers (Basel)*, 2021, № 13 (22), pp. 3955. <https://doi.org/10.3390/polym13223955>

25. Briggs T., Blunn G., Hislop S. Antimicrobial photodynamic therapy—a promising treatment for prosthetic joint infections. *Lasers Med Sci*, 2018, № 33, pp. 523–532. <https://doi.org/10.1007/s10103-017-2394-4>

26. Wiench R, Skaba D, Matys J, Grzech-Leśniak K. Efficacy of Toluidine Blue-Mediated Antimicrobial Photodynamic Therapy on *Candida* spp. A Systematic Review. *Antibiotics (Basel)*, 2021, № 10 (4), pp. 349. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10040349>

27. Rodrigues A.B.F., Passos J.D.S., Costa M.S. Effect of antimicrobial photodynamic therapy using toluidine blue on dual-species biofilms of *Candida albicans* and *Candida krusei*. *Photodiagnosis Photodyn Ther*, 2023, № 42, pp. 103600. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2023.103600>

28. Kang S.M., Jung H.I., Kim B.I. Susceptibility of oral bacteria to antibacterial photodynamic therapy. *J Oral Microbiol*. 2019, № 19, 11 (1), pp. 1644111. <https://doi.org/10.1080/20002297.2019.1644111>

29. Karim M., Boikess R.S., Schwartz R.A., Cohen P.J. Dimethyl sulfoxide (DMSO): a solvent that may solve selected cutaneous clinical challenges. *Arch Dermatol Res*, 2023, № 315 (6), pp. 1465–1472. <https://doi.org/10.1007/s00403-022-02494-1>

30. Grechukha T.A. Evaluation of the antimicrobial activity of photodynamic exposure on various bacterial species in combination with Dimexide. BSMU: 90 years at the forefront of medical science and practice: collection of scientific papers, 2021, pp. 42–44. (In Russ.)

#### Сведения об авторах:

**Глухов Александр Анатольевич** – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой общей и амбулаторной хирургии, Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко, г. Воронеж, 394036, ул. Студенческая, д. 10, Воронеж, Россия, email: [glukhov-vrn@yandex.ru](mailto:glukhov-vrn@yandex.ru)

ORCID 0000-0001-9675-7611

**Остроушко Антон Петрович** – кандидат медицинских наук, доцент кафедры общей и амбулаторной хирургии, Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко, г. Воронеж, 394036, ул. Студенческая, д. 10, Воронеж, Россия; врач-онколог, хирург Клинической больницы «РЖД-Медицина» г. Воронеж, 394024, ул. Переулок здоровья, д.2, Воронеж, Россия, email: [anton@vrngmu.com](mailto:anton@vrngmu.com)

ORCID 0000-0003-3656-5954

**Лаптиёва Анастасия Юрьевна** – кандидат медицинских наук, доцент кафедры общей и амбулаторной хирургии, Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко, г. Воронеж, 394036, ул. Студенческая, д. 10, Воронеж, Россия; врач-онколог, хирург Клинической больницы «РЖД-Медицина» г. Воронеж, 394024, ул. Переулок здоровья, д.2, Воронеж, Россия, email: [laptievaa@mail.ru](mailto:laptievaa@mail.ru)

ORCID 0000-0002-3307-1425

**Аралова Мария Валерьевна** – доктор медицинских наук, профессор кафедры общей и амбулаторной хирургии, Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко; заведующая отделением амбулаторно-поликлинической хирургии

Воронежской областной клинической больницы №1, г. Воронеж, 394066, ул. Московский проспект, д.151к1, Воронеж, Россия, email: mashaaralova@mail.ru

ORCID 0000-0003-4257-5120

**Остроушко Иван Петрович** – врач-травматолог Воронежской областной клинической больницы №1, г. Воронеж, 394066, ул. Московский проспект, д.151к2, Воронеж, Россия, email: ipostroushko@vrngmu.com

ORCID 0009-0003-6090-954X

**Расок Межид Мохаммад** – студент лечебного факультета, Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко, г. Воронеж, 394036, ул. Студенческая, д. 10, Воронеж, Россия, email: MRasok@vrngmu.com

ORCID 0009-0005-0026-0421

**Чеповский Матвей Эдуардович** – студент лечебного факультета, Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко, г. Воронеж, 394036, ул. Студенческая, д. 10, Воронеж, Россия, email: MChepovsky@vrngmu.com

ORCID 0009-0008-6753-162X

**Фролов Александр Юрьевич** – студент лечебного факультета, Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко, г. Воронеж, 394036, ул. Студенческая, д. 10, Воронеж, Россия, email: fr0low.4@yandex.ru

ORCID 0000-0002-7617-7852

#### Information about the authors:

**Glukhov Alexander Anatolievich** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of General and Ambulatory Surgery, Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko, 394036, Voronezh, Stencheskaya Street, Building 10, Voronezh, Russia, email: glukhov-vrn@yandex.ru

ORCID 0000-0001-9675-7611

**Ostroushko Anton Petrovich** – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Department of General and Ambulatory Surgery, Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko; Oncologist and Surgeon, Clinical Hospital "RZD-Medicine", 394024, Vo-

ronezh, Pereulok Zdorovya, Building 2, Voronezh, Russia, email: anton@vrngmu.com

ORCID 0000-0003-3656-5954

**Laptiyova Anastasia Yurievna** – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Department of General and Ambulatory Surgery, Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko; Oncologist and Surgeon, Clinical Hospital "RZD-Medicine," Voronezh, 394024, Voronezh, Pereulok Zdorovya, Building 2, Voronezh, Russia, email: laptievaa@mail.ru

ORCID 0000-0002-3307-1425

**Aralova Maria Valerievna** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Department of General and Ambulatory Surgery, Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko; Head of the Outpatient Surgery Department, Voronezh Regional Clinical Hospital No. 1, 394066, Moscow Avenue, Building 151, Block 2, Voronezh, Russia, email: mashaaralova@mail.ru

ORCID 0000-0003-4257-5120

**Ostroushko Ivan Petrovich** – Traumatologist, Voronezh Regional Clinical Hospital No. 1, 394066, Moscow Avenue, Building 151, Block 2, Voronezh, Russia, email: ipostroushko@vrngmu.com

ORCID 0009-0003-6090-954X

**Rasok Mezhd Mohammad** – student, Faculty of Medicine, Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko, 394036, Voronezh, Stencheskaya Street, Building 10, Voronezh, Russia, email: MRasok@vrngmu.com

ORCID 0009-0005-0026-0421

**Chepovsky Matvey Eduardovich** – student, Faculty of Medicine, Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko, 394036, Voronezh, Stencheskaya Street, Building 10, Voronezh, Russia, email: MChepovsky@vrngmu.com

ORCID 0009-0008-6753-162X

**Frolov Alexander Yurievich** – student, Faculty of Medicine, Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko, 394036, Voronezh, Stencheskaya Street, Building 10, Voronezh, Russia, email: fr0low.4@yandex.ru

ORCID 0000-0002-7617-7852