

УДК: 615.831.6

DOI: 10.37895/2071-8004-2022-26-1-37-43

# ВОЗДЕЙСТВИЕ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ В СИНЕМ ДИАПАЗОНЕ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

**В.С. Ширяев<sup>1</sup>, В.И. Карандашов<sup>1</sup>, Н.П. Александрова<sup>2</sup>, А.И. Корнев<sup>1</sup>, В.И. Потиевская<sup>3</sup>, С.А. Даниелян<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>ФГБУ «Государственный научный центр лазерной медицины им. О.К. Скобелкина ФМБА России», Москва, Россия

<sup>2</sup>ГБУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины Департамента здравоохранения города Москвы», Москва, Россия

<sup>3</sup>ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, Москва, Россия

<sup>4</sup>ГБПОУ Департамента здравоохранения города Москвы «Медицинский колледж № 5», Москва, Россия

## Резюме

Представлен обзор исследований воздействия оптоэлектронных устройств в синем диапазоне на организм человека. Светолечение в синем диапазоне является научно обоснованным и недорогим видом терапии. Оптическое излучение синего диапазона имеет высокую лечебную эффективность при отсутствии побочных реакций и осложнений.

**Ключевые слова:** оптоэлектронные устройства, синий диапазон света, воздействие на организм человека

**Для цитирования:** Ширяев В.С., Карандашов В.И., Александрова Н.П., Корнев А.И., Потиевская В.И., Даниелян С.А. Воздействие оптоэлектронных устройств в синем диапазоне на организм человека. Обзор литературы. *Лазерная медицина*. 2022; 26(1): 37–43. <https://doi.org/10.37895/2071-8004-2022-26-1-37-43>

**Контакты:** Ширяев В.С., e-mail: vovafenan@yandex.ru

# EFFECTS OF OPTOELECTRONIC BLUE RANGE IRRADIATION ON THE HUMAN BODY (LITERATURE REVIEW)

**Shiriaev V.S.<sup>1</sup>, Karandashov V.I.<sup>1</sup>, Alexandrova N.P.<sup>2</sup>, Kornev A.I.<sup>1</sup>, Potievskaya V.I.<sup>3</sup>, Danielyan S.A.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>O.K. Skobelkin State Scientific Center of Laser Medicine FMBA of Russia, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Moscow Center for Research and Practice in Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine of Moscow Healthcare Department, Moscow, Russia

<sup>3</sup>National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of Russian Federation, Moscow, Russia

<sup>4</sup>Medical College No 5, Department of Healthcare of Moscow, Moscow, Russia

## Abstract

The authors present a review of trials on the effects of irradiation in the blue range of the spectrum emitted by optoelectronic devices on the human body. Light therapy in the blue range is scientifically grounded and inexpensive type of care. The blue-band optical radiation has a high therapeutic efficacy in the absence of adverse reactions and complications.

**Key words:** optoelectronic devices, blue light range, effect on the human body

**For citations:** Shiriaev V.S., Karandashov V.I., Alexandrova N.P., Kornev A.I., Potievskaya V.I., Danielyan S.A. Effects of optoelectronic blue range irradiation at the human body (literature review). *Laser Medicine*. 2022; 26(1): 37–43. [In Russ.]. <https://doi.org/10.37895/2071-8004-2022-26-1-37-43>

**Contacts:** Shiriaev V.S., e-mail: vovafenan@yandex.ru

## ЭФФЕКТЫ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СИНЕГО ДИАПАЗОНА

Нефармакологические методы лечения не являются новыми для клинической медицины и успешно применяются с давних времен. Воздействие физическими факторами (теплом, холодом, светом), а впоследствии и более сложными методами (электрический ток, магнитное поле) нашло широкое применение во многих сферах клинической практики. В последнее время разрабатываются способы воздействия оптическим излучением синего диапазона (ОИСД). Существует целый ряд исследований, посвященных изучению фотоакцепторов, медиаторов и сигнальных путей,

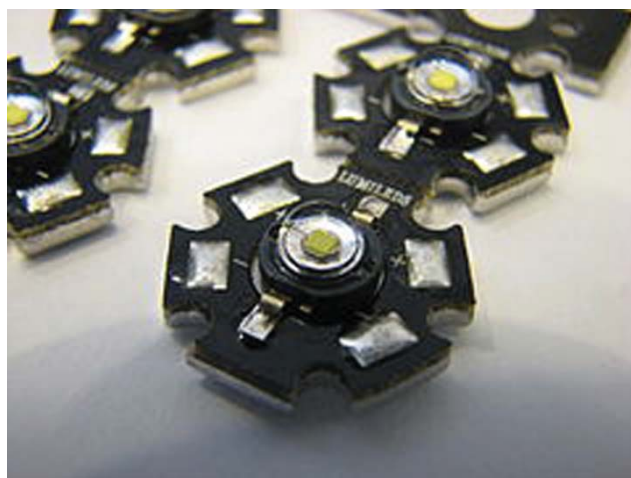
участвующих в клеточно-специфических реакциях, наблюдаемых после воздействия ОИСД. Среди всех цветов спектра синий свет обладает выраженным обезболивающим действием, стимулирует защитные свойства организма, активирует деятельность кардиореспираторной системы [1]. ОИСД способно удлинять продолжительность и глубину сна. Оно ускоряет регенерацию тканей при ожогах, ранах, обладая антисептическим действием. Применение его в комплексном лечении инфекционно-аллергического миокардита повышает эффективность лечения, улучшая метаболизм миокарда, при этом фракция выброса возрастает на 15–20 %. ОИСД все более активно входит

в арсенал немедикаментозных методов лечения [2, 3]. Сеансы профилактической фототерапии синим светом способствуют активации функциональных резервов организма человека при адаптации к климатогеографическим факторам и напряженной физической деятельности [4, 5].

Основные эффекты ОИСД: стимуляция синтеза энергии на клеточном уровне, снижение вязкости крови, увеличение скорости кровотока в магистральных сосудах и микроциркуляции, укрепление сосудистой стенки, регуляция метаболизма, регенерация, улучшение проводимости нервных импульсов, усиление доставки и утилизации кислорода тканями организма [6]. ОИСД снижает концентрацию глюкозы крови, что позволяет применять его у больных сахарным диабетом, особенно при поражении сосудов нижних конечностей. В хирургии ОИСД успешно используется при лечении инфицированных ран, варикозных и трофических язв, остеомиелита, туберкулеза костей и суставов. ОИСД оказывает положительный корректирующий эффект на реологические свойства крови [7]. Под влиянием ОИСД гемоглобин в эритроцитах переходит в более выгодное конформационное состояние и переносит больше кислорода [8]. Воздействие ОИСД способствует улучшению настроения и снятию тревоги [9]. В результате влияния ОИСД активные формы кислорода (АФК) высвобождаются и активируют сигнальные каскады, которые приводят к уменьшению воспалительной реакции тканей, при этом концентрация АФК увеличивается в 1,26 раза [10].

## СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИЕ ДИОДЫ

По своей функциональности применение оптоэлектронных устройств является наиболее эффективным в линейке приборов для контактного светодиодного излучения. Светодиод – это полупроводниковый прибор, создающий оптическое светодиодное излучение



**Рис. 1.** Сверхъяркие СИД на теплоотводящей пластине с контактами для монтажа

**Fig. 1.** Super bright LEDs on the heat sink plate with contacts for mounting

при пропускании через него электрического тока в прямом направлении. В настоящее время ламповые дорогостоящие источники света вытесняются дешевыми, но не менее эффективными светоизлучающими диодами – СИД (light-emitting diode, LED). Одними из первых светодиодных устройств были матричные светодиодные аппараты. Технология изготовления четырехкомпонентных сверхчистых полупроводниковых композиций на основе алюминия, индия, галлия и фосфора позволяет широкомасштабно создавать излучающие элементы с высоким коэффициентом полезного действия и запрограммированным спектром излучения. Современные суперлюминесцентные СИД являются продуктами новейших нанотехнологий. Имея такой же как у терапевтических лазерных приборов уровень мощности монохроматического оптического излучения, СИД значительно дешевле, долговечнее (срок службы – около 50 тыс. часов), потребляют ничтожное количество электроэнергии, обладают более высокой устойчивостью к механическим воздействиям. СИД используют в фототерапевтических приборах нового поколения, в том числе в устройствах для одноразового применения как для стационарного, так и для автономного применения, обладающих направленными лечебными свойствами. СИД оставались чрезвычайно дорогими до 1970 г. – 200 \$ за штуку. В 1971 г. Исама Акасаки, Хироши Амано и Сюдзи Накамура изобрели технологию изготовления дешевого синего светодиода, за что им была присуждена Нобелевская премия по физике в 2014 г. В середине 1970-х годов в Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе РАН группой ученых под руководством Жореса Ивановича Алферова были получены новые материалы – полупроводниковые гетероструктуры, в настоящее время применяемые для создания сверхъярких СИД и полупроводниковых лазеров. Открытие было удостоено Нобелевской премии в 2000 г. [11]. В настоящее время выпускаются СИД российского производства полного спектра оптического излучения (рис. 1).

## ФОТОТЕРАПИЯ И ЕЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Фототерапия – это клиническое применение света в качестве лечения [12]. В настоящее время известны эффекты этого метода: расширение коронарных сосудов, нормализация энергетического метаболизма клеток, противовоспалительное действие за счет торможения высвобождения гистамина и других медиаторов воспаления из тучных клеток, угнетение синтеза простагландинов, нормализация проницаемости капилляров, уменьшение отека и болевого синдрома, положительное влияние на процессы перекисного окисления липидов в сыворотке крови, нормализация липидного обмена [6]. Увеличение переноса кислорода повышает метаболизм тканей организма. Энергообразование в клетках увеличивается, улучшается микроциркуляция. Активируется обмен

внутриклеточной жидкости. Анальгезирующее действие основывается на активации метаболизма, повышении уровня эндорфинов. Развиваются ответные комплексные адаптационные нейрорефлекторные и нейрогуморальные реакции с активацией иммунной системы, повышается болевой порог восприятия нервных окончаний [13]. Перспективным является применение новых нефармакологических средств в анестезиологии на основе использования апробированных и зарекомендовавших себя схем общей анестезии [14]. Отмечается необходимость разработки и внедрения в практику методов безопиоидного или малоопиоидного обезболивания, а также популярного в настоящее время подхода «ускоренная хирургия» (“fast-track surgery”), или более современной концепции ускоренного восстановления ERAS (Enhanced Recovery After Surgery) [15].

Световое воздействие на акупунктурные точки влияет на различные рефлекторные и нейрогуморальные реакции организма и стимулирует функцию гипофиза. В Древнем Китае существовало учение, согласно которому организм человека существует благодаря некой жизненной энергии, которая перемещается по особым каналам в человеческом теле. Для обмена энергии важную роль играют некоторые биологические точки, которые связаны с каналами и располагаются по всему телу. Если на них осуществляется негативное воздействие, то они перестают нормально функционировать и энергия не поступает к органам, что и приводит к развитию заболеваний. Эта теория



Рис. 2. Браслет для светодиодного облучения крови «БАСИ»

Fig. 2. Bracelet «BASI» for LED irradiation of blood

послужила толчком к созданию акупунктурного метода лечения. Впоследствии было установлено, что на точки можно воздействовать и иным способом. Так возникла квантовая фоторефлексотерапия. За десятилетия это направление обрело новую жизнь и в настоящее время активно внедряется в медицинскую практику. Энергия квантового излучения способна воздействовать на стволовые клетки. Последние начинают более активно мигрировать из костного мозга в кровь (их содержание увеличивается в 6–10 раз) и затем – в ткани,



1



2

Рис. 3. Аппарат для контактного светодиодного облучения крови «АФС»: 1 – панель управления, 2 – поверхность излучения

Fig. 3. Device for contact LED irradiation of blood «AFS»: 1 – control panel, 2 – radiation surface



где они трансформируются в клетки поврежденного органа и тем самым участвуют в восстановлении его структуры [16, 17].

## СВЕТОДИОДНЫЕ АППАРАТЫ ДЛЯ ФОТОТЕРАПИИ

В России разработана серия светодиодных аппаратов для фототерапии в области красного и синего диапазонов действия, не имеющих мировых аналогов. Их достоинствами являются функциональность, комфортность использования, возможность применения в любых условиях, небольшая стоимость. Светодиодная соска создана для профилактики и лечения ОРВИ детей от рождения до 4 лет. Браслет автономный светоизлучающий (БАСИ) в синем диапазоне действия предназначен для профилактики десинхронозов и повышения энергетики организма. БАСИ изготовлен с учетом того, что рецепторы к синему свету находятся на поверхности кожи человека, и при контактном воздействии будут практически полностью поглощать излучение света, исходящего из светодиодной матрицы, расположенной в ремешке браслета. Мощность – 41 мВт. Энергия, излучаемая БАСИ за один сеанс, составляет до 29,2 Дж (рис. 2). Применяется аппарат для контактного светодиодного облучения крови в синем диапазоне действия длиной волны  $470 \pm 10$  нм «АФС» (рис. 3).

## БИОЛОГИЧЕСКОЕ И КЛИНИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СИНЕГО ДИАПАЗОНА

Синий свет поглощается флавином, порфирином и нитрозированными белками, расположенными внутри клетки. В результате АФК и оксид азота (NO) высвобождаются и активируют сигнальные каскады, которые приводят к зависимой от концентрации регуляции воспаления, пролиферации, дифференцировки и апоптоза. Поглощение синего света опсинами приводит к активации передачи сигналов, связанных с G-белком, и, как следствие, к вазорелаксации и барьерному гомеостазу [18]. Экспериментальные и клинические исследования доказали, что ОИСД улучшает микроциркуляцию [19]. Синий свет способствует регенерации тканей при ранах, ожогах [20]. Выявлено положительное воздействие ОИСД на психофизиологические характеристики спортсменов [21]. В настоящее время все больше используется контактное воздействие на организм. Установлено, что терапевтический эффект ОИСД при внутривенном облучении крови и контактном воздействии на организм пациента практически одинаков [22].

Согласно первому закону фотобиологии, энергия света должна поглощаться молекулярным фотоакцептором или эндогенным фотосенсибилизатором, чтобы оказывать влияние на биологическую систему. К числу фотоакцепторов относятся специализированные фоторецепторы, которые представляют собой

интегрированные белково-хромофорные системы. Фотохимические реакции в них приводят к конформационным изменениям, которые запускают сигнальный каскад и, как следствие, клеточный ответ [23]. Что касается синего света, большинство фоторецепторов включают флавины. Они являются универсальными соединениями, участвуют в реакциях, инициируемых светом, поглощая излучение на пиковой длине волны 460 нм. Фотовозбуждение флавинов вызывает образование синглетных и триплетных состояний кислорода и высвобождение АФК [24]. В клетках разных типов существуют белки, содержащие флавин. Одним из них является криптохром, концентрация которого уменьшается при воздействии синего света. Он экспрессируется в клетках кожи. Кроме того, синтазы оксида азота (NOS), ферментативно продуцирующие NO, содержат флавин в качестве кофактора. Рибофлавин участвует в многочисленных окислительно-восстановительных реакциях как кофактор и связан с образованием свободных радикалов. Основное расположение этого фоторецептора идентифицировано в митохондриях. Синий свет увеличивает активность NOS, повышая ферментативное высвобождение NO [23]. Видимый свет поглощается фотоакцепторами в пигментированных и непигментированных клетках млекопитающих, активируя сигнальные каскады и нижестоящие механизмы, которые приводят к модуляции клеточных процессов [25]. Синий свет вызывает выделение NO и АФК из клеточных фоторецепторов, находящихся в митохондриях. NO высвобождается из нитрозированных белков, уменьшая воспалительные сигналы [26].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оптическое излучение синего диапазона действия является научно-обоснованным видом терапии. Метод лечения имеет высокую эффективность, небольшую стоимость при отсутствии побочных реакций и осложнений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Карганов М.Ю., Панкова Н.Б., Карандашов В.И., Черепов А.Б. Динамика показателей кардиореспираторной системы под воздействием профилактической фототерапии в синем диапазоне спектра. *Лазерная медицина*. 2019; 23 (3): 10–15. DOI: 10.37895/2071-8004-2019-23-3-10-15
2. Карандашов В.И., Александрова Е.И., Островский Е.И. Влияние оптического излучения синего диапазона на рологию крови и клиническое течение инфекционно-аллергического миокардита. *Лазерная медицина*. 2019; 23 (2): 6–11. DOI: 10.37895/2071-8004-2019-23-2-6-11
3. Beltram T., Ferraresi C., Parizotto N.A. Light-emitting diode therapy (photobiomodulation) effects on oxygen uptake and cardiac output dynamics during moderate exercise transitions: A randomized, crossover, double-blind, and placebo-controlled study. *Lasers Med Sci*. 2018; 33 (5): 1065–1071. DOI: 10.1007/s10103-018-2473-1
4. Карандашов В.И. Особенности оптического излучения в синем диапазоне действия и перспективы использова-

- ния его в практической медицине. *Лазерная медицина*. 2013; 17 (2): 49–55.
5. Pankova N.B., Karandashov V.I., Karganov M.Yu. Phototherapy in the blue range of visible spectrum: The possibilities of optimization of the functional state of the cardiorespiratory system in humans under extreme conditions. *Advances in Health Sciences Research. Proceedings of the 4th International Conference on Innovations in Sports, Tourism and Instructional Science (ICISTIS 2019)*. 2019: 181–184. DOI: 10.2991/icistis-19.2019.46
  6. Карандашов В.И., Петухов Е.Б., Зродников В.С. *Квантовая терапия*. М.: Медицина; 2004.
  7. Александрова Н.П., Карандашов В.И. Влияние оптического излучения синего диапазона на реологические свойства крови у больных инфекционно-аллергическим миокардитом. *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры*. 2019; (2): 11–17.
  8. Ширяев В.С., Мусихин Л.В., Городовикова Ю.А. и др. Неопиоидная мультимодальная сочетанная анестезия у геронтологических больных. *Лазерная медицина*. 2018; 22 (1): 9–14. DOI: 10.37895/2071-8004-2018-22-1-9-14
  9. Лебедева О.Д., Яковлев М.Ю., Амбамчук И.И., Банченко А.Д. Разработка инновационных методов оценки эффективности применения комплексных программ лечения гипертонической болезни. *Лазерная медицина*. 2016; 20 (1): 5–7. DOI: 10.37895/2071-8004-2016-20-1-5-7
  10. Becker A., Klapczynski A., Kuch N, et al. Gene expression profiling reveals aryl hydrocarbon receptor as a possible target for photobiomodulation when using blue light. *Sci Rep*. 2016; 6: 33847. DOI: 10.1038/srep33847
  11. Самсонов А. Жорес Алферов: флагман отечественной электроники. *Экология и жизнь*. 2010; (5): 4–11.
  12. Brownell J., Wang S., Tsoukas M.M. Phototherapy in cosmetic dermatology. *Clin Dermatol*. 2016; 34 (5): 623–627. DOI: 10.1016/j.clindermatol.2016.05.013
  13. Huang Y.Y., Chen A.C., Carrol J.D., et al. Laser radiation of tissue cultures. *Ann NY Acad Sci*. 1965; 28: 713–720.
  14. Ширяев В.С., Карандашов В.И., Шветский Ф.М. Потенцирование мультимодальной анестезии квантовым излучением при помощи оптоэлектронных устройств. *Евразийский союз ученых*. 2020; 11-2 (80): 71–78. DOI: 10.31618/ESU2411-6467.253.1
  15. Овечкин А.М., Яворовский А.Г. *Безопиоидная аналгезия в хирургии*. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2019.
  16. Головнева Е.С., Кравченко Т.Г., Омеляненко А.Г., Онищенко Н.А. Динамика содержания лейкоцитов в периферической крови в зависимости от дозы многократного инфракрасного лазерного облучения зон локализации красного костного мозга. *Лазерная медицина*. 2015; 19 (3): 32–35. DOI: 10.37895/2071-8004-2015-19-3-32-35
  17. Москвин С.В., Ключников Д.Ю., Антипов Е.В. и др. Изменения в культуре мезенхимальных стволовых клеток человека под влиянием импульсного низкоинтенсивного лазерного излучения красного и инфракрасного спектров. *Лазерная медицина*. 2014; 18 (2): 30–36.
  18. Terakita A., Nagata T. Functional properties of opsins and their contribution to light-sensing physiology. *Zoolog Sci*. 2014; 31 (10): 653–659. DOI: 10.2108/zs140094
  19. Хосровян А.М., Мусихин Л.В., Ширяев В.С. и др. Внутривенное лазерное облучение крови у пациентов в послеоперационном периоде – динамика показателей микроциркуляции. *Лазерная медицина*. 2011; 15 (1): 4–12.
  20. Елисеев В.И. Патологическая анатомия и патогенез лазерной раны. *Лазерная медицина*. 2017; 21 (4): 5–10. DOI: 10.37895/2071-8004-2017-21-4-5-10
  21. Карандашов В.И., Линде Е.В., Александрова Н.П. Влияние оптического излучения синего диапазона на психологические характеристики спортсменов в восстановительном периоде после максимальной нагрузки. *Лазерная медицина*. 2018; 22 (1): 5–8. DOI: 10.37895/2071-8004-2018-22-1-5-8
  22. Кошелев В.Н., Семин Е.А., Камалев А.Б. Сравнительная оценка эффективности применения чрескожного и внутрисосудистого лазерного облучения крови. *Клиническое и экспериментальное применение новых лазерных технологий: Материалы Международной конференции*. Москва – Казань; 1995: 395–397.
  23. Yoshida A., Shiotsu-Ogura Y., Wada-Takahashi S., et al. Blue light irradiation-induced oxidative stress in vivo via ROS generation in rat gingival tissue. *J Photochem Photobiol B*. 2015; 151: 48–53. DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2015.07.001
  24. Consentino L., Lambert S., Martino C., et al. Blue-light dependent reactive oxygen species formation by arabidopsis cryptochrome may define a novel evolutionarily conserved signaling mechanism. *New Phytol*. 2015; 206 (4): 1450–1462. DOI: 10.1111/nph.13341
  25. Garza Z.C.F., Born M., Hilbers P.A.J., et al. Visible blue light therapy: Molecular mechanisms and therapeutic opportunities. *Current Medicinal Chemistry*. 2018; 25 (40): 5564–5577. DOI: 10.2174/0929867324666170727112206
  26. Maclean M., McKenzie K., Anderson J.G., et al. 405 nm light technology for the inactivation of pathogens and its potential role for environmental disinfection and infection control. *J Hosp Infect*. 2014; 88 (1): 1–11. DOI: 10.1016/j.jhin.2014.06.004

## REFERENCES

1. Karganov M.Yu., Pankova N.B., Karandashov V.I., Cherepov A.B. Dynamics of cardiorespiratory system parameters under prophylactic phototherapy in the blue range. *Laser Medicine*. 2019; 23 (3): 10–15. [In Russ.]. DOI: 10.37895/2071-8004-2019-23-3-10-15
2. Karandashov V.I., Aleksandrova E.I., Ostrovskiy E.I. Effects of blue range optical light at the blood rheology and clinical course of infectious-allergic myocarditis. *Laser Medicine*. 2019; 23 (2): 6–11. [In Russ.]. DOI: 10.37895/2071-8004-2019-23-2-6-11
3. Beltram T., Ferraresi C., Parizotto N.A. Light-emitting diode therapy (photobiomodulation) effects on oxygen uptake and cardiac output dynamics during moderate exercise transitions: A randomized, crossover, double-blind, and placebo-controlled study. *Lasers Med Sci*. 2018; 33 (5): 1065–1071. DOI: 10.1007/s10103-018-2473-1
4. Karandashov V.I. Features of optical radiation in the blue range and prospects for its application in practical medicine. *Laser Medicine*. 2013; 17 (2): 49–55. [In Russ.].
5. Pankova N.B., Karandashov V.I., Karganov M.Yu. Phototherapy in the blue range of visible spectrum: The possibilities of optimization of the functional state of the cardiorespiratory system in humans under extreme conditions. *Advanc-*

- es in Health Sciences Research. *Proceedings of the 4th International Conference on Innovations in Sports, Tourism and Instructional Science (ICISTIS 2019)*. 2019: 181–184. DOI: 10.2991/icistis-19.2019.46
6. Karandashov V.I., Petukhov E.B., Zrodnikov V.S. *Quantum therapy*. Moscow: Meditsina; 2004. [In Russ.].
  7. Alexandrova N.P., Karandashov V.I. Effects of blue range optical light at the blood rheology and clinical course of infectious-allergic myocarditis. *Voprosy kurtologii, fizioterapii, i lechebnoi fizicheskoi kultury*. 2019; 2: 11–17. [In Russ.].
  8. Shiriaev V.S., Musikhin L.V., Gorodovikova Yu.A., et al. Non-opioid multimodal combined anesthesia in geriatric patients. *Laser Medicine*. 2018; 22 (1): 9–14. [In Russ.]. DOI: 10.37895/2071-8004-2018-22-1-9-14
  9. Lebedeva O.D., Yakovlev M.Yu., Ambramchuk I.I., Banchenko A.D. Innovative methods for evaluating the effectiveness of complex programs for the treatment of hypertension. *Laser Medicine*. 2016; 20 (1): 5–7. [In Russ.]. DOI: 10.37895/2071-8004-2016-20-1-5-7
  10. Becker A., Klapczynski A., Kuch N, et al. Gene expression profiling reveals aryl hydrocarbon receptor as a possible target for photobiomodulation when using blue light. *Sci Rep*. 2016; 6: 33847. DOI: 10.1038/srep33847
  11. Samsonov A. Zhores Alferov: The flagship of domestic electronics. *Ecology and Life*. 2010; 5: 4–11. [In Russ.].
  12. Brownell J., Wang S., Tsoukas M.M. Phototherapy in cosmetic dermatology. *Clin Dermatol*. 2016; 34 (5): 623–627. DOI: 10.1016/j.clindermatol.2016.05.013
  13. Huang Y.Y., Chen A.C., Carrol J.D., et al. Laser radiation of tissue cultures. *Ann NY Acad Sci*. 1965; 28: 713–720.
  14. Shiriaev V.S., Karandashov V.I., Shvetsky F.M. Potentiation of multimodal anesthesia by quantum radiation using optoelectronic devices. *Eurasian Union of Scientists*. 2020; 11-2 (80): 71–78. [In Russ.]. DOI: 10.31618/ESU2411-6467.253.1
  15. Ovechkin A.M., Yavorovsky A.G. *Opioid-free analgesia in surgery*. Moscow: GEOTAR-Media; 2019. [In Russ.].
  16. Golovneva E.S., Kravchenko T.G., Omelyanenko A.G., Onishchenko N.A. Dynamics of the content of leukocytes in the peripheral blood depending on the dose of multiple infrared laser irradiation of the localization zones of the red bone marrow. *Lazes Medicine*. 2015; 19 (3): 32–35. [In Russ.]. DOI: 10.37895/2071-8004-2015-19-3-32-35
  17. Moskvina S.V., Klyuchnikov D.Yu., Antipov E.V., et al. Changes in the culture of human mesenchymal stem cells under the influence of pulsed low-intensity laser radiation of red and infrared spectra. *Laser Medicine*. 2014; 18 (2): 30–36. [In Russ.].
  18. Terakita A., Nagata T. Functional properties of opsins and their contribution to light-sensing physiology. *Zoolog Sci*. 2014; 31 (10): 653–659. DOI: 10.2108/zs140094
  19. Khosrovyan A.M., Musikhin L.V., Shiriaev V.S., et al. Intravenous laser irradiation of blood in patients in the postoperative period – dynamics of microcirculation parameters. *Laser Medicine*. 2011; 15 (1): 4–12. [In Russ.].
  20. Eliseenko V.I. Pathological anatomy and pathogenesis of laser wound. *Laser Medicine*. 2017; 21 (4): 5–10. [In Russ.]. DOI: 10.37895/2071-8004-2017-21-4-5-10
  21. Karandashov V.I., Linde E.V., Alexandrova N.P. The effect of blue range optical radiation on the psychological characteristics of athletes in the recovery period after maximum exercise. *Laser Medicine*. 2018; 22 (1): 5–8. [In Russ.]. DOI: 10.37895/2071-8004-2018-22-1-5-8
  22. Koshelev V.N., Semina E.A., Kamalyan A.B. Comparative evaluation of the effectiveness of percutaneous and intravascular laser blood irradiation. *Klinicheskoe i eksperimental'noe primeneniye novykh lazernykh tekhnologiy: Materialy Mezhdunarodnoy konferentsii*. Moscow – Kazan; 1995: 395–397.
  23. Yoshida A., Shiotsu-Ogura Y., Wada-Takahashi S., et al. Blue light irradiation-induced oxidative stress in vivo via ROS generation in rat gingival tissue. *J Photochem Photobiol B*. 2015; 151: 48–53. DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2015.07.001
  24. Consentino L., Lambert S., Martino C., et al. Blue-light dependent reactive oxygen species formation by arabidopsis cryptochrome may define a novel evolutionarily conserved signaling mechanism. *New Phytol*. 2015; 206 (4): 1450–1462. DOI: 10.1111/nph.13341
  25. Garza Z.C.F., Born M., Hilbers P.A.J., et al. Visible blue light therapy: Molecular mechanisms and therapeutic opportunities. *Current Medicinal Chemistry*. 2018; 25 (40): 5564–5577. DOI: 10.2174/0929867324666170727112206
  26. Maclean M., McKenzie K., Anderson J.G., et al. 405 nm light technology for the inactivation of pathogens and its potential role for environmental disinfection and infection control. *J Hosp Infect*. 2014; 88 (1): 1–11. DOI: 10.1016/j.jhin.2014.06.004
- Сведения об авторах**
- Ширяев Владимир Сергеевич** – кандидат медицинских наук, руководитель отделения анестезиологии и реаниматологии, ФГБУ «Государственный научный центр лазерной медицины им. О.К. Скобелкина ФМБА России», e-mail: vovafenan@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3113-0580>
- Карандашов Владимир Иванович** – доктор медицинских наук, профессор, ведущий научный сотрудник отделения лазерных биотехнологий и клинической фармакологии, ФГБУ «Государственный научный центр лазерной медицины им. О.К. Скобелкина ФМБА России», ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0026-8862>
- Александрова Наталья Павловна** – доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела медицинской реабилитации, ГБУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины Департамента здравоохранения города Москвы», ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4647-4351>
- Корнев Алексей Иванович** – кандидат медицинских наук, руководитель отделения лазерных технологий в урологии, ФГБУ «Государственный научный центр лазерной медицины им. О.К. Скобелкина ФМБА России», e-mail: alex180667@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7179-1442>
- Потиевская Вера Исааковна** – доктор медицинских наук, главный научный сотрудник, ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России; заведующая кардиологическим отделением, Московского научного исследовательского онкологического института им. П. А. Герцена – филиала ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, e-mail: vera.pot@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2459-7273>
- Даниелян Светлана Айковна** – врач анестезиолог-реаниматолог, ГБПОУ Департамента здравоохранения города Москвы «Медицинский колледж № 5», e-mail: svetlanka.danielyan@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9306-6487>
- Information about the authors**
- Vladimir Shiriaev** – Cand. Sc. (Med.), Head of the Department of Anesthesiology and Intensive Care, O.K. Skobelkin State Scientific Center of Laser Medicine FMBA of Russia, e-mail: vovafenan@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3113-0580>
- Vladimir Karandashov** – Dr. Sc. (Med.), Professor, Leading Researcher at the Department of Laser Biotechnologies and Clinical Pharmacology, O.K. Skobelkin State Scientific Center of Laser Medicine FMBA of Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0026-8862>

**Natalya Alexandrova** – Dr. Sc. (Biol.), Professor, Leading Researcher at the Department of Medical Rehabilitation, Moscow Center for Research and Practice in Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine of Moscow Healthcare Department, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4647-4351>

**Alexey Kornev** – Cand. Sc. (Med.), Head of the Department of Laser Technologies in Urology, O.K. Skobelkin State Scientific Center of Laser Medicine FMBA of Russia, e-mail: [alex180667@rambler.ru](mailto:alex180667@rambler.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7179-1442>

**Vera Potievskaya** – Dr. Sc. (Med.), Chief Researcher, at National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of Russian Federation; Head of the Cardiological Department at Herzen Moscow Scientific Research Oncological Institute – Branch of National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of Russian Federation, e-mail: [vera.pot@mail.ru](mailto:vera.pot@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2459-7273>

**Svetlana Danielyan** – anesthesiologist-resuscitator, Moscow Medical College No 5 of Moscow Healthcare Department, e-mail: [svetlanka.danielyan@list.ru](mailto:svetlanka.danielyan@list.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9306-6487>