

Сведения об авторах

Гринштейн Юрий Исаевич – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой терапии ИПО ГБОУ ВПО Красноярский государственный медицинский университет имени проф. В. Ф. Войно-Ясенецкого МЗ РФ.

Адрес: 660022, г. Красноярск, ул. Партизана Железняка, г. 1; тел. 8(391) 2424664; e-mail: grinstein.yi@mail.ru.

Андина Лилия Александровна – аспирант кафедры терапии ИПО ГБОУ ВПО Красноярский государственный медицинский университет имени проф. В. Ф. Войно-Ясенецкого МЗ РФ.

Адрес: 660022, г. Красноярск, ул. Партизана Железняка, г. 1; тел. 8(391) 2424664; e-mail: liliya-andina@yandex.ru.

Ковалев Антон Владимирович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, МНЦИЭСО, Красноярский научный центр СО РАН.

Адрес: 660036, г. Красноярск, Академгородок; тел. 8(391)2217472; e-mail: sunhi@nm.ru.

Суховольский Владислав Григорьевич – доктор биологических наук, профессор, МНЦИЭСО, Красноярский научный центр СО РАН.

Адрес: 660036, г. Красноярск, Академгородок; тел. 8(391) 2217472; e-mail: soukhovolsky@nm.ru.

Гринштейн Игорь Юрьевич – кандидат медицинских наук, докторант кафедры поликлинической терапии, семейной медицины и ЗОЖ с курсом ПО ГБОУ ВПО Красноярский государственный медицинский университет имени проф. В. Ф. Войно-Ясенецкого МЗ РФ.

Адрес: 660022, г. Красноярск, ул. Партизана Железняка, г. 1; тел. 8(391) 2424664; e-mail: grinst@rambler.ru.

© САЛМИН В. В., СКОМОРОХА Д. П., РЕУШЕВ М. Ю., ФРОЛОВА О. В., ПИГАРЕВА Ю. Н., КОЖЕВНИКОВА Т. А.
УДК: 57.047; 535-31;

ОЦЕНКА ГЕНОТОКСИЧНОСТИ ИМПУЛЬСНОГО УФА-ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ АУТОФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ БИОПСИИ

В. В. Салмин¹, Д. П. Скомороха¹, М. Ю. Реушев¹, О. В. Фролова¹, Ю. Н. Пигарева¹, Т. А. Кожевникова²

¹ ГБОУ ВПО Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В. Ф. Войно-Ясенецкого Министерства здравоохранения РФ, ректор – д. м. н. проф. И. П. Артюхов; кафедра медицинской и биологической физики, зав. – д. ф.-м. н. В. В. Салмин; кафедра биохимии с курсами медицинской, фармацевтической и токсикологической химии, зав. – д. м. н., проф. А. Б. Салмина; НИИ молекулярной медицины и патобиохимии, руководитель – д. м. н., проф. А. Б. Салмина; ² ФГБОУ ВПО Красноярский государственный педагогический университет имени В. П. Астафьева Министерства образования и науки РФ, ректор – д. ф. н., проф. О. А. Карлова; кафедра специальной психологии, зав. – д. м. н., проф. С. Н. Шилов.

Цель исследования. Оценка генотоксического действия УФА-излучения азотного лазера при высокой интенсивности.

Материалы и методы. Облучение образцов человеческой цельной крови при различных значениях импульсной интенсивности и при различных дозах. Оценка генотоксичности методом стандартного микроядерного теста.

Результаты. Выявлено генотоксическое действие излучения импульсного УФА-лазерного излучения. Наблюдалось увеличение генотоксического эффекта с увеличением поглощенной дозы излучения. Обнаружено различие доз излучения, соответствующих эффекту ED50 модельного генотоксического ксенобиотика, для разных интенсивностей облучения. По параметрам кривой «доза-эффект» обнаружено различие параметра Хилла при различных интенсивностях облучения.

Заключение. Импульсное УФА излучение наносекундной длительности при равных экспозиционных дозах оказывает более выраженное генотоксическое действие при облучении с высокой интенсивностью (через световод), чем при облучении широким пучком, что должно быть учтено при проведении оптической биопсии тканей.

Ключевые слова: генотоксичность, ультрафиолетовое лазерное излучение, микроядерный тест.

EVALUATION OF GENOTOXICITY OF PULSED UVA-LASER RADIATION AT AUTOFLUORESCENCE OPTICAL BIOPSY

V. V. Salmin¹, D. P. Skomorokha¹, M. Yu. Reushev¹, O. V. Frolova¹, Yu. N. Pigareva¹, T. A. Kozhevnikova²

¹ Krasnoyarsk State Medical University named after Prof. V. F. Voino-Yasenetsky;

² Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V. P. Astafiev

The purpose of the study. The evaluation of genotoxic effect of UVA radiation from a nitrogen laser at high intensity.

Materials and Methods. Irradiation of human whole blood samples at different values of pulse intensity and at different doses. The evaluation of genotoxicity by standard micronucleus test.

Results. Revealed genotoxic effect of irradiation from a pulsed UVA-laser radiation. Was observed the increase of the genotoxic effect with increasing of absorbed dose of radiation. Was found a difference in radiation doses corresponding to the effect ED50 model genotoxic xenobiotic for different irradiation intensities. On parameters of the line "dose-effect" was found difference in Hill parameter at different radiation intensities.

Conclusion. Impulse UVA radiation of nanosecond duration at equal doses has a stronger genotoxic effect when irradiated with high intensity (through the lightguide) than wide beam irradiation, which should be taken into account during optical biopsy of tissues.

Key words: genotoxicity, ultraviolet laser radiation, micronucleus test.

Введение

В современной медицинской диагностике широкое распространение получили оптические методы исследования живых тканей *in situ*, получившие название «оптическая биопсия» [5]. Среди методов оптической биопсии особое место занимает флуоресценция живых тканей. Использование собственной флуоресценции для прижизненной диагностики тканей является наиболее привлекательным, поскольку практически не меняются условия протекания в них основных биохимических процессов. Собственная флуоресценция тканей исследуется достаточно давно. Накоплен значительный экспериментальный клинический материал по использованию этого метода в диагностических целях в различных областях медицины [3]. Особый интерес представляет УФА-индуцированная собственная флуоресценция биологических тканей, поскольку при этом возбуждаются практически все тканевые флуорофоры [11].

Несмотря на обширный накопленный экспериментальный опыт [1, 13, 15], широкого распространения этот подход в медицинской диагностической практике до сих пор не получил. Связано это с рядом причин, одной из которых является малая изученность побочных эффектов УФА лазерного излучения на живые биологические ткани.

Так, данные по спектру действия УФ-излучения, индуцирующего катаракту, указывают на снижение порога эффективной дозы с 48 Дж/см² для 340 нм до 0,095 Дж/см² для 305 нм [7]. Данные по относительной биологической чувствительности на поглощенный квант повреждения ДНК, приведенные в [14], также указывают на существенный рост от $5 \cdot 10^{-6}$ для 340 нм до 10^{-3} для 310 нм. Аналогичные результаты получены и для относительной спектральной чувствительности по канцерогенности и провоспалительной активности УФА излучения [4]. Указанные факторы свидетельствуют о существенном снижении фототоксического действия УФА излучения по мере увеличения длины волны. Однако продвижение в видимую область «выключит» ряд эндогенных флуорофоров, что понизит информативность метода оптической биопсии [6]. Исследования ряда авторов указывают на предпочтительность выбора в качестве источника возбуждения аутофлуоресценции тканей излучения азотного лазера ($\lambda = 337,1$ нм) [11]. Необходимо также отметить, что в большинстве работ по прижизненному исследованию аутофлуоресценции биологических тканей используется именно этот лазер.

Излучение указанного лазера характеризуется наносекундной длительностью и высокой импульсной мощностью 10-100 кВт [10] в сочетании с волоконно-оптическим способом доставки, позволяющим локализовать излучение в пятне диаметром менее 0,1 мм, что приводит к высокой интенсивности на объекте $1 \cdot 10^{10}$ кВт/м², (для сравнения: величина солнечной постоянной составляет всего 1,3 кВт/м²). В указанных условиях возможны существенные нелинейно-оптические эффекты. При малой средней мощности импульсно-периодического лазера средняя интенсивность

может оказаться существенно меньше солнечной постоянной и не будет приводить к значимым фотохимическим превращениям либо тепловым эффектам при малой экспозиции. Информация о значимых фотобиологических эффектах в условиях высокой интенсивности импульсного излучения и малой средней интенсивности УФА импульсного лазерного излучения весьма ограничена. Нами ранее был продемонстрирован иммунномодулирующий эффект УФА лазерного излучения [9; 12].

Цель исследования: оценка генотоксического действия УФА-излучения азотного лазера при высокой интенсивности, изучение дозо-зависимых и интенсивность-зависимых эффектов для получения представления о степени биобезопасности тестируемого излучения.

Материалы и методы

В исследование были включены 6 здоровых доноров в возрасте от 22 до 40 лет, не подвергавшихся ни одному из факторов, влияющих на уровень микроядер в клетках. Полученная от каждого донора кровь разносилась в 7 пробирок по 0,5 мл с добавлением гепарина из расчета 50-100 ед. на 1 мл крови. 5 пробирок облучали лазерным светом, 2 использовали в качестве контроля, один из которых являлся отрицательным (К⁻), другой – положительным (К⁺), то есть с добавлением стандартного генотоксического ксенобиотика циклофосфида. Для облучения крови использовался малогабаритный азотный лазер автоматизированного спектрофлуориметра [8].

Облучение клеток осуществлялось в двух режимах: через кварцевый световод диаметром 500 мкм и без световода. Параметры излучения на выходе световода, при которых осуществлялось облучение, были следующими: средняя мощность на частоте $\nu = 200$ Гц составляла 1,2 мВт, средняя интенсивность $I_{cp1} = 611$ мВт/см², а импульсная интенсивность $I1 = 1,5 \cdot 10^6$ Вт/см². Средняя мощность при облучении без световода на частоте 200 Гц составляла 10 мВт, диаметр пучка 3 мм, средняя интенсивность $I_{cp2} = 142$ мВт/см², импульсная интенсивность $I_2 = 3,5 \cdot 10^5$ Вт/см². Средняя мощность излучения измерялась с помощью измерителя мощности оптического излучения ИМО-2М. При использовании световода облучение осуществлялось погружением конца световода непосредственно в кровь. Пробы облучались в течение разных промежутков времени: 0,5, 1, 2 и 4 минут. Однородность облучения достигалась непрерывным перемешиванием культуры с помощью погруженного конца световода. Таким образом, удельная поглощенная доза составляла 72, 144, 288, 576, 1152 мДж/мл. Удельная поглощенная доза при облучении без световода составила 1200, 2400, 4800 мДж/мл. Оценка воздействия лазерного излучения осуществлялась при помощи микроядерного теста по стандартному протоколу. Микроядра анализировали только в живых клетках с хорошо сохраненной цитоплазмой. Подсчитывали количество микроядер на 1000 клеток в препарате методом световой микроскопии при увеличении $\times 900$ [2].

Таблица 1

Зависимость среднего числа микроядер от удельной экспозиционной дозы при облучении с импульсной интенсивностью $I=1,5 \times 10^6$ Вт/см², и значимость отличий от контрольных образцов

E[мДж/мл]	N ₁₀₀₀	P(K ⁻)	P(K ⁺)
72	4,00±1,53	0,087459	0,002442
144	5,33±1,45	0,014378	0,005557
288	6,33±0,88	0,000886	0,007312
576	8,67±0,67	0,000035	0,048525
1152	10±0,58	0,000008	0,160415

Описательные статистики представлены абсолютными значениями и статистическими коэффициентами. Значимость различий определялась по критерию Стьюдента. Расчеты проводились с помощью пакета STATISTICA 10. Полученные экспериментальные зависимости аппроксимировались функциональной моделью «доза-эффект». Для построения линий тренда методом нелинейной регрессии использован пакет Origin 8,5.

Результаты и обсуждение

Микроядерный тест является стандартным подходом к оценке генотоксического эффекта факторов физической и химической природы и позволяет регистрировать нарушения митоза, проявляющиеся формированием микроядер в интерфазных клетках вследствие кластогенного или анеугенного эффекта токсического агента. При исследовании генотоксического действия УФ излучения азотного лазера в соответствии со стандартным протоколом были оценены эффекты в группах негативного (K⁻) и позитивного (K⁺) (в присутствии заведомо генотоксического ксенобиотика) контроля. Получены следующие средние значения числа

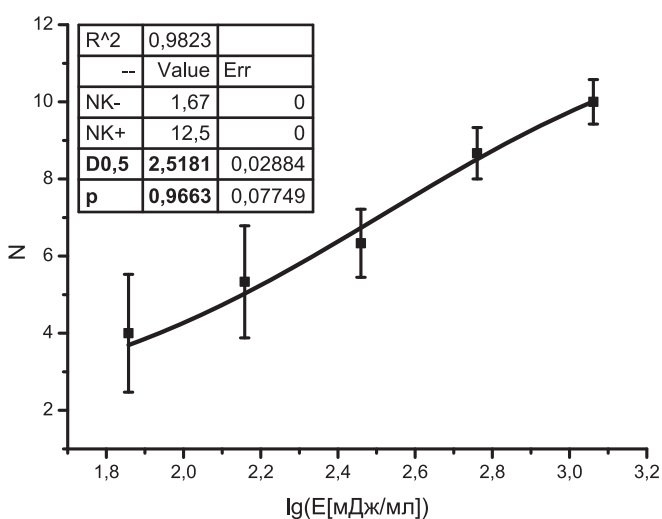


Рис. 1. Зависимости числа микроядер от логарифма экспозиционной дозы при облучении с импульсной интенсивностью $I=1,5 \times 10^6$ Вт/см².

Таблица 2

Зависимость среднего числа микроядер от удельной экспозиционной дозы при облучении с импульсной интенсивностью $I=3,5 \times 10^5$ Вт/см², и значимость отличий от контрольных образцов

E[мДж/мл]	N ₁₀₀₀	P(K ⁻)	P(K ⁺)
1200	3,33±0,88	0,089224	0,000858
2400	5,5±1,22	0,010488	0,014378
4800	8,00±1,63	0,002008	0,080968

микроядер: $N_{1000}(K^-) = 1,67 \pm 0,42$, $N_{1000}(K^+) = 12,5 \pm 1,05$. При этом достигнут уровень значимости различий по t-тесту между отрицательным контролем и положительным контролем с (не хуже $P = 0,0000024$).

Результаты, полученные в ходе облучения цельной крови через световод, представлены в табл. 1, расфокусированным излучением — в табл. 2. Там же представлены уровни значимостей различий по t-тесту от отрицательного и положительного контролей. Как следует из приведенных данных, выбранные нами динамические диапазоны экспозиционных плотностей доз облучения в обоих режимах перекрывали значения от незначимых (по уровню $P = 0,05$) отличий для отрицательного контроля, до незначимых отличий для положительного контроля. В обоих режимах облучения наблюдается монотонный рост среднего числа микроядер в зависимости от экспозиционной плотности дозы.

По полученным результатам построены графики зависимости числа микроядер N1000 от логарифма экспозиционной дозы в значениях (мДж/мл), что представлено на рис. 1 (при облучении через световод) и на рис. 2 (при облучении расфокусированным излучением). Полученные экспериментальные зависимости аппроксимировались функциональной моделью «доза-эффект»:

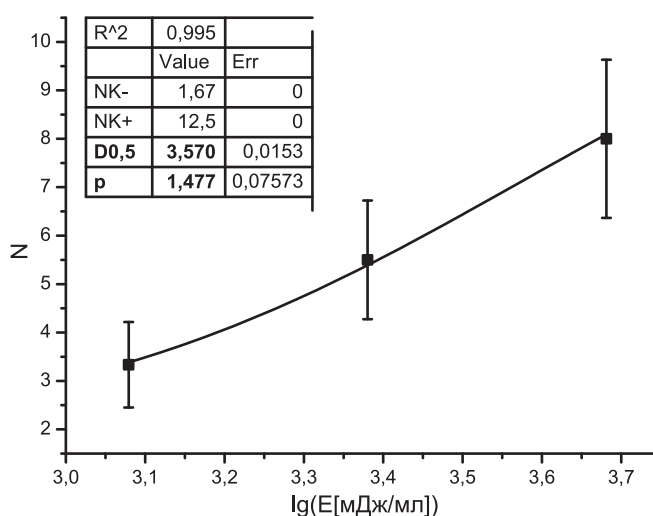


Рис. 2. Зависимости числа микроядер от логарифма экспозиционной дозы при облучении с импульсной интенсивностью $I=3,5 \times 10^5$ Вт/см².

$$N(D) = N_{K^-} + \frac{N_{K^+} - N_{K^-}}{1 + 10^{(D_{0,5} - D)p}}$$

где N_{K^-} , N_{K^+} – средние значения количества микроядер в отрицательном и положительном контролях – нижняя и верхняя асимптоты, соответственно; $D_{0,5}$ – положение центра кривой «доза-эффект», p – коэффициент Хилла, $D = \lg(E[\text{мДж/мл}])$.

Как следует из параметров аппроксимации, плотность дозы излучения для достижения «половинного» эффекта от действия химического мутагена в случае облучения с импульсной интенсивностью $I_1 = 1,3 \times 10^7$ Вт/см² (рис. 1) составила $E_1 = 10^{D_{0,5}} = 10^{2,5181} = 330$ (мкДж/мл), а при облучении с импульсной интенсивностью $I_2 = 3,5 \times 10^5$ Вт/см² (рис. 2) $E_2 = 10^{3,57} = 3720$ (мкДж/мл), то есть на порядок больше. Напомним, что в соответствии с законом фотохимии Бунзена-Роско, ожидаемый «половинный» генотоксический эффект должен был наблюдаться при одинаковой плотности дозы и не зависеть от импульсной интенсивности. Указанное обстоятельство, а также существенно различные коэффициенты Хилла, полученные в наших экспериментах $p_1 = 0,966$ и $p_2 = 1,477$, свидетельствуют о различных механизмах генотоксического действия УФ лазерного излучения при облучении импульсно-периодическим излучением с различной импульсной интенсивностью. Возможной причиной нарушения закона Бунзена-Роско может быть влияние двухквантового поглощения при интенсивностях $I = 10^7 - 10^8$ Вт на формирование первичных фотопродуктов, отвечающих за генотоксическое действие. Так, энергия суммарного кванта действия при этом соответствует дальнему УФС-излучению с длиной волны $\lambda = 170$ нм и более высокой вероятности фотоповреждения ДНК [14]. Различные значения коэффициента кооперативности p свидетельствуют о формировании различных первичных фотопродуктов, индуцирующих генотоксический эффект при облучении с различной интенсивностью. Так, при облучении с высокой интенсивностью значение коэффициента Хилла, близкое к 1, свидетельствует об отсутствии кооперативного эффекта.

Полученные результаты могут быть использованы для разработки безопасных методов оптической биопсии с помощью N_2 -лазера.

Заключение

Излучение азотного лазера длиной волны $\lambda = 337$ нм оказывает генотоксическое действие на лимфоциты человека при облучении цельной крови при импульсной интенсивности $1,3 \times 10^7$ Вт/см² и плотности экспозиционной дозы свыше 72 мДж/мл, а также при импульсной интенсивности $3,5 \times 10^5$ Вт/см² при плотности экспозиционной дозы свыше 1200 мДж/мл. Генотоксическое действие излучения азотного лазера при облучении цельной крови на лимфоциты человека при импульсной интенсивности $1,3 \times 10^7$ Вт/см² и дозе 1200 мДж/мл, а также при интенсивности

$3,5 \times 10^5$ Вт/см² и дозе 4800 мДж/мл, сопоставимо с генотоксическим эффектом модельного генотоксического ксенобиотика циклофосамида. Импульсное УФА излучение наносекундной длительности при равных экспозиционных дозах оказывает более выраженное генотоксическое действие при облучении с высокой интенсивностью (через световод), чем при облучении широким пучком. В обоих режимах облучения прослеживается монотонный рост среднего числа микроядер в зависимости от плотности экспозиционной дозы.

Литература

1. Арутюнян А.В., Черданцев Д.В., Салмин В.В., Скомороха Д.П., Салмина А.Б. Интраоперационная лазер-индуцированная флуоресцентная спектроскопия при экспериментальном панкреатите // Сибирское медицинское обозрение. – 2012. – № 5. – С. 20-24.
2. Ильинских Н.Н., Новицкий В.В., Ванчугова Н.Н., Ильинских И.Н. Микроядерный анализ и цитогенетическая нестабильность. – Томск: изд-во Томского университета, 1991. – 272 с.
3. Тучин В.В. Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 488 с.
4. Ambach W., Blumthaler M. Biological effectiveness of solar UV radiation in humans // Cellular and Molecular Life Sciences. – 1993. – Vol. 49, № 9. – P. 747-753.
5. Bigio I.J., Mourant J.R. Optical Biopsy // Encyclopedia of Optical Engineering / - London: Taylor & Francis, 2007. – P 1577-1593.
6. Koenig K., Schneckenburger H. Laser-induced autofluorescence for medical diagnosis // Journal of Fluorescence. – 1994. – Vol 4, № 1. – P. 17-40.
7. Oriowo O.M., Cullen A.P., Chou B.R., Sivak J.G. Action Spectrum and Recovery for In Vitro UV-Induced Cataract Using Whole Lenses // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. – 2001. – Vol. 42, № 11. – P. 2596-2602.
8. Popov A.Y., Salmin V.V., Fursov A.A., Stepanenko A.V., Sokolovich A.G., Salmina A.B., Rebenkova A.A., Makarov R.A., Provorov A.S. Automated laser spectrofluorimeter for monitoring of myocardial metabolism // International Conference on Lasers, Applications, and Technologies 2005: Laser Technologies for Environmental Monitoring and Ecological Applications, and Laser Technologies for Medicine / Proceedings of SPIE, 2006. – Vol. 6284. – P. 62840J.
9. Provorov A.S., Kozhevnikova T.A., Salmin V.V. Influence of UV Laser Radiation on the Main Subpopulations of the T-Lymphocytes // Laser Physics. – 2001. – Vol. 11, № 11. – P. 1212-1216.
10. Provorov A.S., Salmin V.V. Compact N2 laser with magnetic pulse compression // Quantum Electronics. – 1993. – Vol. 23, № 6. – P. 527-529.
11. Provorov A.S., Salmin V.V., Salmina A.B., Fursov A.A., Stepanenko A.V., Sokolovich A.G., Lazarenko V.I., Rebenkova

A.A., Popov A.Y., Testov A.A., Trusova E.Y., Mikhutkina S.V., Lopatina O.L., Olovyannikova R.Y. Pulsed Gas Lasers with Longitudinal Discharge and Their Application in Medicine // *Laser Physics*. – 2005. – Vol. 15, № 9. – P. 1299-1302.

12. Pukhova I.I., Salmin V.V. The effect of N₂-laser radiation on the kinetics of the generation of active forms of oxygen by the granulocytic-macrophagal cells in a whole-blood system // *Radiatsionnaia biologiiia, radioecologiiia / Rossiiskaia akademiia nauk* – 1995. – Vol. 35, № 2. – P. 286-291.

13. Salmin V., Lazarenko V., Salmina A., Hovalyg M., Vladimirova E. Diagnosis of corneal pathology by laser fluorescence spectroscopy // *Journal Of Applied Spectroscopy*. – 2012. – Vol. 79, № 4. – P. 646-650.

14. Setlow R.B. The Wavelengths in Sunlight Effective in Producing Skin Cancer: A Theoretical Analysis // *PNAS*. – 1974. – Vol. 71, № 9. – P. 3363-3366.

15. Vladimirova E., Salmin V., Salmina A., Oskirko S., Lazarenko V., Provorov A. Fluorescence diagnosis of the status of the human lens in vivo // *Journal Of Applied Spectroscopy*. – 2012. – Vol 79, № 1. – P 126-130.

References

1. Arutyunyan A.V., Cherdantsev D.V., Salmin V.V., Skomorokha D.P., Salmina A.B. Intraoperative laser-induced fluorescence spectroscopy in experimental pancreatitis // *Siberian medical review*. – 2012. – № 5. – P. 20-24.

2. Ilyinskikh N.N., Novitskiy V.V., Vanchugova N.N., Ilyinskikh I.N. Micronucleus analysis and cytogenetic instability. - Tomsk: Publishing House of Tomsk University, 1991. – P. 272.

3. Tuchin V.V. Lasers and fiber optics in biomedical research. - M.: FIZMATLIT, 2010. – P. 488.

4. Ambach W., Blumthaler M. Biological effectiveness of solar UV radiation in humans // *Cellular and Molecular Life Sciences*. – 1993. – Vol. 49, № 9. – P. 747-753.

5. Bigio I.J., Mourant J.R. Optical Biopsy // *Encyclopedia of Optical Engineering / London: Taylor & Francis, 2007*. – P. 1577-1593.

6. Koenig K., Schneckenburger H. Laser-induced autofluorescence for medical diagnosis // *Journal of Fluorescence*. – 1994. – Vol 4, № 1. – P. 17-40.

7. Oriowo O.M., Cullen A.P., Chou B.R., Sivak J.G. Action Spectrum and Recovery for In Vitro UV-Induced Cataract Using Whole Lenses // *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci*. – 2001. – Vol. 42, № 11. – P. 2596-2602.

8. Popov A.Y., Salmin V.V., Fursov A.A., Stepanenko A.V., Sokolovich A.G., Salmina A.B., Rebenkova A.A., Makarov R.A., Provorov A.S. Automated laser spectrofluorimeter for monitoring of myocardial metabolism // *International Conference on Lasers, Applications, and Technologies 2005: Laser Technologies for Environmental Monitoring and Ecological Applications, and Laser Technologies for Medicine / Proceedings of SPIE, 2006*. – Vol. 6284. – P. 62840J.

9. Provorov A.S., Kozhevnikova T.A., Salmin V.V. Influence of UV Laser Radiation on the Main Subpopulations of the T-Lymphocytes // *Laser Physics*. – 2001. – Vol. 11, № 11. – P. 1212-1216.

10. Provorov A.S., Salmin V.V. Compact N₂ laser with magnetic pulse compression // *Quantum Electronics*. – 1993. – Vol. 23, № 6. – P. 527-529.

11. Provorov A.S., Salmin V.V., Salmina A.B., Fursov A.A., Stepanenko A.V., Sokolovich A.G., Lazarenko V.I., Rebenkova A.A., Popov A.Y., Testov A.A., Trusova E.Y., Mikhutkina S.V., Lopatina O.L., Olovyannikova R.Y. Pulsed Gas Lasers with Longitudinal Discharge and Their Application in Medicine // *Laser Physics*. – 2005. – Vol. 15, № 9. – P. 1299-1302.

12. Pukhova I.I., Salmin V.V. The effect of N₂-laser radiation on the kinetics of the generation of active forms of oxygen by the granulocytic-macrophagal cells in a whole-blood system // *Radiatsionnaia biologiiia, radioecologiiia / Rossiiskaia akademiia nauk* – 1995. – Vol. 35, № 2. – P. 286-291.

13. Salmin V., Lazarenko V., Salmina A., Hovalyg M., Vladimirova E. Diagnosis of corneal pathology by laser fluorescence spectroscopy // *Journal Of Applied Spectroscopy*. – 2012. – Vol. 79, № 4. – P. 646-650.

14. Setlow R.B. The Wavelengths in Sunlight Effective in Producing Skin Cancer: A Theoretical Analysis // *PNAS*. – 1974. – Vol. 71, № 9. – P. 3363-3366.

15. Vladimirova E., Salmin V., Salmina A., Oskirko S., Lazarenko V., Provorov A. Fluorescence diagnosis of the status of the human lens in vivo // *Journal Of Applied Spectroscopy*. – 2012. – Vol 79, № 1. – P. 126-130.

Сведения об авторах

Салмин Владимир Валерьевич – доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой медицинской и биологической физики ГБОУ ВПО Красноярский государственный медицинский университет имени проф. В. Ф. Войно-Ясенецкого МЗ РФ.

Адрес: 660022, г. Красноярск, ул. Партизана Железняка, г. 1; тел. 8(391) 2217274; e-mail: vsalmin@gmail.ru.

Скомороха Диана Павловна – преподаватель кафедры медицинской и биологической физики ГБОУ ВПО Красноярский государственный медицинский университет имени проф. В. Ф. Войно-Ясенецкого МЗ РФ.

Адрес: 660022, г. Красноярск, ул. Партизана Железняка, г. 1; тел. 8(391) 2217274; e-mail: silverselela@list.ru.

Реушев Михаил Юрьевич – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры медицинской и биологической физики ГБОУ ВПО Красноярский государственный медицинский университет имени проф. В. Ф. Войно-Ясенецкого МЗ РФ.

Адрес: 660022, г. Красноярск, ул. Партизана Железняка, г. 1; тел. 8(391) 2217274; e-mail: reuqet@mail.ru.

Фролова Ольга Васильевна – научный сотрудник НИИ медицинской и биологической физики ГБОУ ВПО Красноярский государственный медицинский университет имени проф. В. Ф. Войно-Ясенецкого МЗ РФ.

Адрес: 660022, г. Красноярск, ул. Партизана Железняка, г. 1; тел. 8(391) 2280769; e-mail: frolova_olga86@mail.ru.

Пигарева Юлия Николаевна – аспирант кафедры биохимии с курсами медицинской, фармацевтической и токсикологической химии ГБОУ ВПО Красноярский государственный медицинский университет имени проф. В. Ф. Войно-Ясенецкого МЗ РФ.

Адрес: 660022, г. Красноярск, ул. Партизана Железняка, г. 1; тел. 8(391) 2280769; e-mail: Ynik_777@mail.ru.

Кожевникова Татьяна Альбертовна – доктор медицинских наук, профессор кафедры специальной психологии ФГБОУ ВПО Красноярский государственный педагогический университет имени В. П. Астафьева Минобрнауки РФ.

Адрес: 660049, г. Красноярск, ул. Ады Лебедевой, 89, тел. 8(391) 2639574; e-mail: kogechnikova52@bk.ru.