

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «САРАТОВСКИЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра оптики и биофотоники

**Оптическое просветление тканей кожи ex vivo под действием
полиэтиленгликоля-600**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ ДИПЛОМНОЙ РАБОТЫ

студентки 4 курса 435 группы

направление 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии»

Физического факультета СНИГУ имени Н. Г. Чернышевского

Теслиной Натальи Владимировны
(ФИО студента)

Научный руководитель

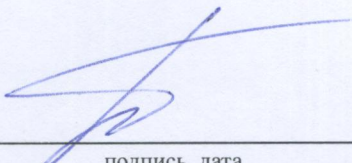
Доцент, к.ф.-м.н.
должность, уч. степень, уч. звание

22.06.2017. 
подпись, дата

А.Н. Башкатов
инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

д.ф.-м.н., профессор
должность, уч. степень, уч. звание


подпись, дата

В.В. Тучин
инициалы, фамилия

Саратов 2017 год

Содержание

Введение	3
Структура и объем работы.	3
Содержание работы	3
Список используемой литературы	7

Введение

Существенный прогресс в разработке неинвазивных методов клинического мониторинга различных заболеваний, связан с развитием оптических методов диагностики. Одна из основных проблем применения оптических методов в медицине связана со сложным характером взаимодействия оптического излучения с биологическими тканями, который обусловлен оптической неоднородностью биотканей, вызывающая сильное рассеяние излучения видимого и ближнего инфракрасного (ИК) спектральных диапазонов, что ограничивает глубину зондирования и пространственное разрешение многих оптических методов. Одним из перспективных путей решения данной проблемы является управление оптическими характеристиками биотканей.

Основной **целью** выпускной квалификационной работы является изучение оптических и диффузионных явлений в тканях кожи под действием полиэтиленгликоля с молекулярной массой 600 дальтон.

Объектом исследований является кожа белых лабораторных крыс.

Задачи дипломной работы:

- △ Исследование временной зависимости изменения оптических, весовых и структурных параметров кожи при воздействии на нее ПЭГ-600;
- △ Измерение коэффициента диффузии ПЭГ-600 в коже.

Структура и объем работы.

Дипломная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка используемой литературы. Общий объем работы составляет 49 страниц.

Содержание работы

Во **введении** сформулированы цели и задачи выполняемой работы, обсуждается практическая значимость полученных результатов.

В первой главе описывается структура и оптические свойства тканей кожи. **Во второй главе** описываются методы управления оптическими

параметрами биотканей.

В третьей главе представлены материалы и методы, используемые в работе. Исследования были выполнены *ex vivo* на 30 образцах кожи белых лабораторных крыс (для исследования кинетики изменения каждого параметра: коллимированного пропускания, веса, толщины и площади для исследуемого агента).

Измерение спектров коллимированного пропускания образцов кожи проводилось с помощью спектрометра USB4000-Vis-NIR (Ocean Optics, США).

Кинетика изменения коллимированного пропускания регистрировалась путем последовательной записи спектров коллимированного пропускания в диапазоне 400-1000 нм. Все измерения проводились при комнатной температуре (~20°C).

Для измерения кинетики изменения толщины, площади и веса образцы кожи помещались в чашку Петри с ПА. Измерения каждого параметра проводились до помещения образцов в ПА, а затем каждые 5–10 мин после помещения их в ПА в течение 2–3 ч иммерсирования. Весовые измерения проводились на электронных весах (Scientech, SA210, США) с точностью ± 1 мг. Показатели преломления ПА измерялись на многоволновом рефрактометре Аббе DR-M2/1550 (ATAGO, Япония) на 12 длинах волн с использованием специальных интерференционных фильтров.

В четвертой главе были представлены результаты измерений. На рисунке 1 представлена кинетика изменения веса, толщины и площади образцов кожи, помещенных в ПЭГ-600. Экспериментальные данные нормировались на значения, измеренные в начальный момент времени, и усреднялись по всем образцам, после чего аппроксимировались.

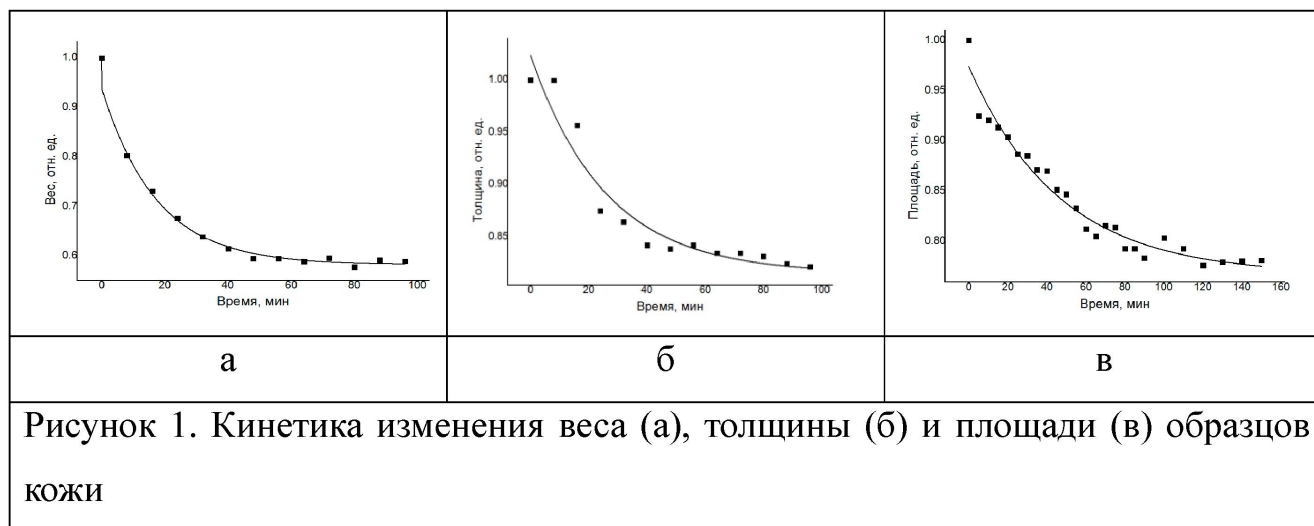


Таблица 1. Параметры дегидратации кожи под действием ПЭГ-600

Параметр дегидратации		
Вес/Дегидратация	B^W	0.406 ± 0.009
	τ^W , мин	14.822 ± 0.754
	B_0^W	0.58697 ± 0.003
Толщина/ 'Поперечное сжатие'	B^l	0.207 ± 0.017
	τ^l , мин	25.875 ± 5.926
	B_0^l	0.815 ± 0.013
Площадь/ Продольное сжатие	B^S	0.206 ± 0.009
	τ^S , мин	46.623 ± 5.768
	B_0^S	0.767 ± 0.008

На рисунках 2 и 3 представлены типичные спектры и кинетика изменения коллимированного пропускания образцов кожи под действием ПЭГ-600 в диапазоне 400–1000 нм в течение 2-3 ч. По мере проникновения ПА во внутритканевую жидкость и одновременной дегидратации кожи наблюдается уменьшение рассеяния и соответственно увеличение коллимированного

пропускания образцов.

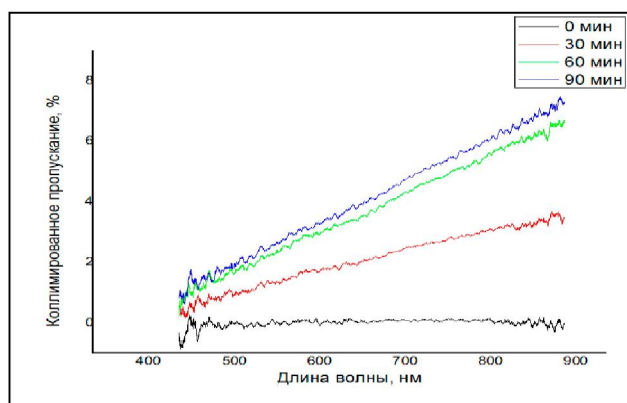


Рисунок 2. Типичные спектры коллимированного пропускания кожи крысы ex vivo, измеренные в различные моменты времени после их помещения в ПЭГ-600

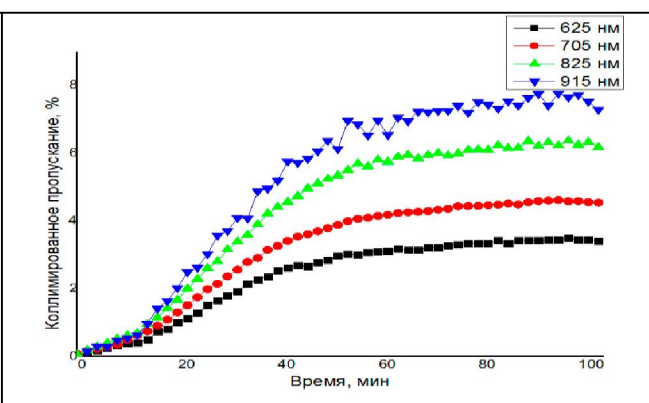


Рисунок 3. Типичная кинетика изменения коэффициента коллимированного пропускания кожи крысы ex vivo под действием ПЭГ-600, измеренная на нескольких длинах волн

Степень оптического просветления является одним из важнейших параметров, характеризующих сравнительную эффективность и практическую ценность различных просветляющих агентов. Степень (эффективность) оптического просветления кожи оценивалась в трех спектральных диапазонах. Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2. Эффективность просветления в диапазоне от 400 до 1000 нм. *D* –

Эффективность просветления				Коэффициент диффузии, см ² /сек
	Диапазон, нм			
	500-600	600-700	700-900	
Среднее значение	0.102±0.072	0.14±0.107	0.214±0.205	(5.85±2.06)×10 ⁻⁷

Из таблицы хорошо видно, что эффективность оптического просветления растет с увеличением длины волны. Такое поведение объясняется тем, что с ростом длины волны уменьшается различие между значениями показателя преломления рассеивателей кожи и значениями показателя преломления внутритканевой жидкости. Оценка коэффициента диффузии ПЭГ в коже была выполнена на основе анализа кинетики изменения коллимированного пропускания кожи крысы *ex vivo* с учетом кинетики изменения структурных и геометрических параметров кожи. Среднее значение коэффициента диффузии для ПЭГ-600 составило $(5.85 \pm 2.06) \times 10^{-7} \text{ см}^2/\text{с}$.

В заключении приводится перечень основных выводов, полученных в результате проведенных исследований, и кратко суммируются основные результаты, полученные при выполнении данной работы.

Список используемой литературы

1. Приезжев А.В., Тучин В.В., Шубочкин Л.П. Лазерная диагностика в биологии и медицине. М.: Наука, 1989, 240 с.
2. Duck F.A. Physical Properties of tissue: a comprehensive reference book. London: Academic Press, 1990.
3. Shepherd A.P., Oberg P.A. Laser Doppler blood flowmetry. Boston: Kluwer, 1990.
4. Pawley J.B. (Ed.). Handbook of biological confocal microscopy. New York: Plenum Press, 1990.
5. Wilson T. (Ed.). Confocal microscopy. London: Academic Press, 1990.
6. Mueller G., Chance B., Alfano R. et al. (Eds.). Medical optical tomography: functional imaging and monitoring. Bellingham: SPIE Press, Institute Series, Vol. 11, 1993.
7. Welch A.J., van Gemert M.J.C. (Eds.). Optical-thermal response of laser-irradiated tissue. New York: Plenum Press, 1995.
8. Niemz M.H. Laser-tissue interactions: fundamentals and applications. Berlin: Springer Verlag, 1996.
9. Тучин В.В. Исследование биотканей методами светорассеяния // УФН. 1997.

T. 167. С. 517-539.

10. Тучин В.В. Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1998. 384 с.
11. Minet O., Mueller G., Beuthan J. (Eds.). Selected papers on optical tomography, fundamentals and applications in medicine. Bellingham: SPIE Press, Milestones Series, Vol. 147, 1998.
12. Tuchin V.V. Tissue Optics: Light scattering methods and instruments for medical diagnosis, SPIE Tutorial Texts in Optical Engineering. Bellingham: SPIE Press, Vol. 38, 2000. 352 p.
13. Masters B.R. (Ed.). Selected papers on optical low-coherence reflectometry and tomography. Bellingham: SPIE Press, Milestones Series, Vol. 165, 2001.
14. Tuchin V.V. (Ed.). Handbook of optical biomedical diagnostics. Bellingham: SPIE Press, Vol. PM107, 2002. 1093 p.
15. Зимняков Д.А., Тучин В.В. Оптическая томография тканей // Квант. Электр. 2002. Т. 32. № 10. С. 849-867.
16. Heusmann H., Kolzer J., Mitic G. Characterization of female breasts in vivo by time resolved and spectroscopic measurements in near infrared spectroscopy // J. Biomed. Opt. 1996. Vol. 1. N. 4. P. 425-434.
17. Troy T.L., Page D.L., Sevick-Muraca E.M. Optical properties of normal and diseased breast tissue: prognosis for optical mammography // J. Biomed. Opt. 1996. Vol. 1. N. 3. P. 342-355.
18. Demos S.G., Radousky H.R., Alfano R.R. Deep subsurface imaging in tissues using spectral and polarization filtering // Optics Express. 2000. Vol. 7. N. 1. P. 23-28.
19. Bigio I.J., Bown S.G., Briggs G., Kelley C., Lakhani S., Pickard D., Ripley P.M., Rose I.G., Saunders C. Diagnosis of breast cancer using elastic-scattering spectroscopy: preliminary clinical results // J. Biomed. Opt. 2000. Vol. 5. N. 2. P. 221-228.
20. Ntziachristos V., Hielscher A.H., Yodanis C.L., Chance B. Diffuse optical

- tomography of highly heterogeneous media // IEEE Transactions on Medical Imaging. 2001. Vol. 20. N. 6. P. 470-478.
21. Utzinger U., Brewer M., Silva E., Gershenson D., Blast R.C., Follen M., Richards-Kortum R. Reflectance spectroscopy for in vivo characterization of ovarian tissue // Lasers Surg. Med. 2001. Vol. 28. P. 56-66.
22. Zellweger M., Grosjean P., Goujon D., Monnier Ph., van den Berg H., Wagnieres G. In vivo autofluorescence spectroscopy of human bronchial tissue to optimize the detection and imaging of early cancers // J. Biomed. Opt. 2001. Vol. 6. N. 1. P. 41-51.
23. Jacques S.L., Ramella-Roman J.C., Lee K. Imaging skin pathology with polarized light // J. Biomed. Opt. 2002. Vol. 7. N. 3. P. 329-340.
24. Zuluaga A.F., Drezek R., Collier T., Lotan R., Follen M., Richards-Kortum R. Contrast agents for confocal microscopy: how simple chemicals affect confocal images of normal and cancer cells in suspension // J. Biomed. Opt. 2002. Vol. 7. N. 3. P. 398-403.
25. Sliney D., Wolbarsht M. Safety with lasers and others optical sources. A comprehensive handbook. New York: Plenum Press, 1980.
26. Liu H., Beauvoit B., Kimura M., Chance B. Dependence of tissue optical properties on solute-induced changes in refractive index and osmolarity // J. Biomed. Opt. 1996. Vol. 1. 62 N. 2. P. 200-211.
27. Dunn A.K., Smithpeter C., Welch A.J., Richards-Kortum R. Sources of contrast in confocal reflectance imaging // Appl. Opt. 1996. Vol. 35. N. 19. P. 3441-3446.
28. Tuchin V.V., Maksimova I.L., Zimnyakov D.A., Kon I.L., Mavlutov A.H., Mishin A.A. Light propagation in tissues with controlled optical properties // J. Biomed. Opt. 1997. Vol. 2. N. 4. P. 401-417.
29. Boas D.A., O'Leary M.A., Chance B., Yodh A.G. Detection and characterization of optical inhomogeneities with diffuse photon density waves: a signal-to-noise analysis // Appl. Opt. 1997. Vol. 36. N. 1. P. 75-92.
30. Воробьев Н.С., Подгаецкий В.М., Смирнов А.В., Терещенко С.А., Томилова

Л.Г. Улучшение оптического изображения объектов в сильнорассеивающей среде с помощью контрастирующих красителей // Квант. Электр. 1999. Т. 29. № 3. С. 261- 264.

31. Vargas G., Chan E.K., Barton J.K., Rylander III H.G., Welch A.J. Use of an agent to reduce scattering in skin // Lasers Surg. Med. 1999. Vol. 24. P. 133-141.
32. Vargas G., Chan K.F., Thomsen S.L., Welch A.J. Use of osmotically active agents to alter optical properties of tissue: effects on the detected fluorescence signal measured through skin // Lasers Surg. Med. 2001. Vol. 29. P. 213-220.
33. Bornhop D.J., Contag C.H., Licha K., Murphy C.J. Advances in contrast agents, reporters, and detection // J. Biomed. Opt. 2001. Vol. 6. N. 2. P. 106-110.
34. Chen Y., Mu C., Intes X., Chance B. Signal-to-noise analysis for detection sensitivity of small absorbing heterogeneity in turbid media with single-source and dual-interferingsource // Optics Express. 2001. Vol. 9. N. 4. P. 212-224.
35. Wang R.K., Elder J.B. Propylene glycol as a contrasting agent for optical coherence tomography to image gastrointestinal tissues // Lasers Surg. Med. 2002. Vol. 30. P. 201- 208.
36. Komai Y., Ushiki T. The three-dimensional organization of collagen fibrils in the human cornea and sclera // Invest. Ophthalmol. & Vis. Sci. 1991. Vol. 32. N. 8. P. 2244- 2258.
37. Maurice D. The cornea and sclera // The Eye / Ed. by H. Devision. New York: Marcel Dekker, 1969. P. 489-600.
38. Spitznas M. The fine structure of human scleral collagen // Am. J. Ophthalmol. 1971. Vol. 71. N. 1. P. 68-75.
39. Trier K., Olsen S.B., Ammifabll T. Regional glycosaminoglycans of the human sclera // Acta Ophthalmol. 1990. Vol. 69. N. 3. P. 304-306.
40. Culav E.M., Clark C.H., Merrilees M.J. Connective tissue: matrix composition and its relevance to physical therapy // Phys. Therapy. 1999. Vol. 79. P. 308-319.
41. Legeza S.G., Privalov A.I. The optimal spatial-temporal characteristics of laser irradiation and experimental application // Ophthal. J. 1985. Vol. 3. P. 170-173.

42. Rol P.O. Optics for transscleral laser applications: Ph.D. Thesis / Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, Switzerland, 1992.
43. Lipgens S. Sol-Gel Transition in Water-in-Oil Microemulsions. Investigation on the Dynamics of Gelatin-Containing Systems: Ph.D. Thesis, Cologne, 1997.
44. Березов Т.Т., Коровкин Б.Ф. Биологическая химия. М.: Медицина, 1990. 543 с.
45. Кожа (строение, функция, общая патология, терапия) / Под ред. А.М. Чернуха, Е.П. Фролова. М.: Медицина, 1982, 336 с.
46. Schaefer H., Redelmeier T.E. Skin barrier. Basel: Karger, 1996. 310 p.
47. Marks R., Barton S.P. The significance of size and shape of corneocytes // Stratum corneum / Ed. by R. Marks, G. Plewig. Berlin: Springer Verlag, 1983. P. 175-180.
48. Wester R.C., Maibach H.I. Regional variations in percutaneous absorption // Percutaneous Absorption / Ed. by R.L. Bronaugh, H.I. Maibach. Basel, Switzerland: Decker, 1989. P. 111-120.
49. Меглинский И.В. Моделирование спектров отражения оптического излучения от случайно-неоднородных многослойных сильно рассеивающих и поглощающих свет сред методом Монте-Карло // Квантов. электр. 2001. Т. 31. № 12. С. 1101-1107.
50. Jacques S.L. The role of skin optics in diagnostic and therapeutic uses of lasers // Lasers in dermatology / Ed. by R. Steiner, Berlin: Springer Verlag, 1991. P. 1-21.
51. Bornstein P., Traub W. The chemistry and biology of collagen // The proteins / Ed. by H. Neurath, R.L. Hill, G.-L. Boeder. New York: Academic Press, 1979. P. 411-632.
52. Gurr M.I., Jung R.T., Robinson M.P., James W.P.T. Adipose tissue cellularity in man: the relationship between fat cell size and number, the mass and distribution of body fat and history of weight gain and loss // Int. J. Obesity. 1982. Vol. 6. P. 419-436.
53. Синичкин Ю.П., Утц С.Р. In vivo отражательная и флуоресцентная спектроскопия кожи человека. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2001. 92 с.

54. Menon I.A., Haerman H.F. Mechanisms of action of melanin // Br. J. Dermatol. 1977. P. 109-112.
55. Abels C., Fickweiler S., Weiderer P., Baumler W., Hofstadter F., Landthaler M., Szeimies R.-M. Indocyanine green (ICG) and laser irradiation induce photooxidation // Arch. Dermatol. Res. 2000. Vol. 292. P. 404-411.
56. Бакуткин В.В., Шубочкин Л.П. Увеличение светопропускания склеры и патологически измененной роговицы // Офтальмол. журн. 1991. Т. 2. С. 105-107.
57. Chance B., Mayevsky A., Guan B., Zhang Y. Hypoxia/ischemia triggers a light scattering event in rat brain // Oxygen transport to tissue XIX / Ed. by D.K. Harrison, D.T. Delpy. New York: Plenum Press., 1997. P. 457-467.
58. Башкатов А.Н., Генина Э.А., Тучин В.В. Исследование оптических и диффузионных явлений в биотканях при воздействии осмотрически активных иммерсионных жидкостей, 2004.
59. Huang Y., Meek K.M. Swelling studies on the cornea and sclera: the effects of pH and ionic strength // Biophys. J. 1999. Vol. 77. P. 1655-1665.
60. Schmitt J.M., Kumar G. Optical scattering properties of soft tissue: a discrete particle model // Appl. Opt. 1998. Vol. 37. N. 13. P. 2788-2797.
61. Maier J.S., Walker S.A., Fantini S., Franceschini M.A., Gratton E. Possible correlation between blood glucose concentration and the reduced scattering coefficient of tissues in the near infrared // Opt. Lett. 1994. Vol. 19. N. 24. P. 2062-2064.
62. Beauvoit B., Kitai T., Chance B. Contribution of the mitochondrial compartment to the optical properties of rat liver: a theoretical and practical approach // Biophys. J. 1994. Vol. 67. P. 2501-2510.
63. Chance B., Liu H., Kitai T., Zhang Y. Effects of solutes on optical properties of biological materials: models, cells, and tissues // Anal. Biochem. 1995. Vol. 227. P. 351-362.
64. Kohl M., Esseupreis M., Cope M. The influence of glucose concentration upon

- the transport of light in tissue-simulating phantoms // *Phys. Med. Biol.* 1995. Vol. 40. P. 1267-1287.
65. Bruulsema J.T., Hayward J.E., Farrell T.J., Patterson M.S., Heinemann L., Berger M., Koschinsky T., Sandahl-Christiansen J., Orskov H., Essenpreis M., Schmelzeisen-Redeker G., Bocker D. Correlation between blood glucose concentration in diabetics and noninvasively measured tissue optical scattering coefficient // *Opt. Lett.* 1997. Vol. 22. N. 3. P. 190-192.
 66. Qu J., Wilson B.C. Monte Carlo modeling studies of the effect of physiological factors and other analytes on the determination of glucose concentration in vivo by near infrared optical absorption and scattering measurements // *J. Biomed. Opt.* 1997. Vol. 2. N. 3. P. 319-325.
 67. Tuchin V.V., Bashkatov A.N., Genina E.A., Kochubey V.I., Lakodina N.A., Simonenko G.V., Sinichkin Yu.P., Proshina Yu.M., Razumikhina N.A. Optics of living tissues with controlled scattering properties // *Proc. SPIE.* 1999. Vol. 3863. P. 10-21.
 68. Bashkatov A.N., Genina E.A., Kochubey V.I., Lakodina N.A., Tuchin V.V. Osmotical liquid diffusion within sclera // *Proc. SPIE.* 2000. Vol. 3908. P. 266-276.
 69. Генина Э.А., Башкатов А.Н., Кочубей В.И., Тучин В.В. Оптическое просветление твердой мозговой оболочки человека // *Опт. спектр.*, 2005. Т. 98, № 3, С. 512-518.
 70. Genina E.A., Bashkatov A.N., Lakodina N.A., Murikhina S.A., Sinichkin Yu.P., Tuchin V.V. Diffusion of glucose solution through fibrous tissues: in vitro optical and weight measurements // *Proc. SPIE.* 2000. Vol. 4001. P. 255-261.
 71. Тучин В.В., Башкатов А.Н., Генина Э.А., Синичкин Ю.П., Лакодина Н.А. In vivo исследование динамики иммерсионного просветления кожи человека // *Письма в ЖТФ.* 2001. Т. 27. № 12. С. 10-14.
 72. Bashkatov A.N., Genina E.A., Korovina I.V., Sinichkin Yu.P., Novikova O.V., Tuchin V.V. 64 In vivo and in vitro study of control of rat skin optical properties

- by action of 40%-glucose solution // Proc. SPIE. 2001. Vol. 4241. P. 223-230.
73. Tuchin V.V., Bashkatov A.N., Maksimova I.L., Sinichkin Yu.P., Simonenko G.V., Genina E.A., Lakodina N.A. Eye tissues study // Proc. SPIE. 2001. Vol. 4427. P. 41-46.
 74. Genina E.A., Bashkatov A.N., Sinichkin Yu.P., Lakodina N.A., Korovina I.V., Simonenko G.V., Tuchin V.V. In vivo and in vitro study of immersion clearing dynamics of the skin // Proc. SPIE. 2001. Vol. 4432. P. 97-102.
 75. Башкатов А.Н. Управление оптическими свойствами биотканей при воздействии на них осмотически активными иммерсионными жидкостями: Дисс. канд. физ.-мат. наук / Саратов. ун-т, Саратов, 2002
 76. Генина Э.А. Исследование оптической иммерсии и окрашивания биологических тканей *in vivo* для целей оптической диагностики и лазерной терапии: Дисс. канд. физ.-мат. наук / Саратов. ун-т, Саратов, 2002
 77. Tuchin V.V., Bashkatov A.N., Genina E.A., Sinichkin Yu.P. Scleral tissue clearing effects // Proc. SPIE. 2002. Vol. 4611. P. 54-58.
 78. Tuchin V.V., Xu X., Wang R.K. Dynamic optical coherence tomography in studies of optical clearing, sedimentation, and aggregation of immersed blood // Appl. Opt. 2002. Vol. 41. N. 1. P. 258-271.
 79. Tuchin V.V. Optics and spectroscopy of immersed tissue and blood // Proc. SPIE. 2002. Vol. 4536. P. 273-284.
 80. Yao L., Cheng H., Luo Q., Zhang W., Zeng S., Tuchin V.V. Control of rabbit dura mater optical properties with osmotical liquids // Proc. SPIE. 2002. Vol. 4536. P. 147- 152.
 81. Galanzha E.I., Tuchin V.V., Solovieva A.V., Stepanova T.V., Luo Q., Cheng H. Skin backreflectance and microvascular system functioning at the action of osmotic agents // Appl. Phys. D. 2003. Vol. 36, P. 1739-1746.
 82. Меглинский И.В., Башкатов А.Н., Генина Э.А., Чурмаков Д.Ю., Тучин В.В. Исследование возможности увеличения глубины зондирования методом отражательной конфокальной микроскопии при иммерсионном

- просветлении приповерхностных слоев кожи человека // Квант. электр. 2002. Т. 32. № 10. С. 875- 882.
83. Башкатов А.Н., Генина Э.А., Синичкин Ю.П., Кочубей В.И., Лакодина Н.А., Тучин В.В. Определение коэффициента диффузии глюкозы в склере глаза человека // Биофизика. 2003. Т. 48. № 2. С. 309-313. 65
84. Bashkatov A.N., Genina E.A., Tuchin V.V. Optical immersion as a tool for tissue scattering properties control // Perspectives in Engineering Optics / Ed. by K. Singh, V.K. Rastogi. B-28 II Floor, Sarvodaya Enclave, New Delhi, India: Anita Publications, 2002. P. 313-334.
85. Bashkatov A.N., Genina E.A., Sinichkin Yu.P., Kochubey V.I., Lakodina N.A., Tuchin V.V. Glucose and mannitol diffusion in human dura mater // Biophys. J. 2003. Vol. 85. N. 5. P. 3310-3318.
86. Chance B., Mayevsky A., Guan B., Zhang Y. Hypoxia/ischemia triggers a light scattering event in rat brain // Oxygen transport to tissue XIX / Ed. by D.K. Harrison, D.T. Delpy. New York: Plenum Press., 1997. P. 457-467.
87. Bashkatov A.N., Genina E.A., Kochubey V.I., Tuchin V.V., Sinichkin Yu.P. The influence of osmotically active chemical agents on the transport of light in the scleral tissue // Proc. SPIE. 1999. Vol. 3726. P. 403-409.
88. Bashkatov A.N., Tuchin V.V., Genina E.A., Sinichkin Yu.P., Lakodina N.A., Kochubey V.I. The human sclera dynamic spectra: in-vitro and in-vivo measurements // Proc. SPIE. 1999. Vol. 3591. P. 311-319.
89. Wang R.K., Xu X., Tuchin V.V., Elder J.B. Concurrent enhancement of imaging depth and contrast for optical coherence tomography by hyperosmotic agents // J. Opt. Soc. Am. B. 2001. Vol. 18. N. 7. P. 948-953.
90. Bashkatov A.N., Genina E.A., Korovina I.V., Kochubey V.I., Sinichkin Yu.P., Tuchin V.V. In vivo and in vitro study of control of rat skin optical properties by acting of osmotical liquid // Proc. SPIE. 2000. Vol. 4224. P. 300-311.
91. Beck R.E., Schultz J.S. Hindrance of solute diffusion within membranes as measured with microporous membranes of known pore geometry // Biochem.

- Biophys. Acta. 1972. Vol. 255. P. 272-303.
92. Котык А., Яначек К. Мембранный транспорт. М.: Мир, 1980. 341 с.
93. Blank I.H., Moloney J., Emslie A.G., Simon I., Apt C. The diffusion of water across the stratum corneum as a function of its water content // J. Invest. Dermatol. 1984. Vol. 82. P. 188-194. 66
94. Sennhenn B., Giese K., Plamann K., Harendt N., Kolmel K. In vivo evaluation of the penetration of topically applied drugs into human skin by spectroscopic methods // Skin Pharmacol. 1993. Vol. 6. P. 152-160.
95. Peck K.D., Ghanem Abdel-Halim, Higuchi W.I. Hindered diffusion of polar molecules through and effective pore radii estimates of intact and ethanol treated human epidermal membrane // Pharmaceutical Research. 1994. Vol. 11. N. 9. P. 1306-1314.
96. Inamori T., Ghanem A.-H., Higuchi W.I., Srinivasan V. Macromolecule transport in and effective pore size of ethanol pretreated human epidermal membrane // Int. J. Pharmaceutics. 1994. Vol. 105. P. 113-123.
97. Bertram R., Pernarowski M. Glucose diffusion in pancreatic islets of langerhans // Biophys. J. 1998. Vol. 74. P. 1722-1731.
98. Gribbon P., Hardingham T.E. Macromolecular diffusion of biological polymers measured by confocal fluorescence recovery after photobleaching // Biophys. J. 1998. Vol. 75. P. 1032-1039.
99. Ярославская А.Н., Ярославский И.В., Отто К., Пуппелс Х.Ж., Дуиндам Х., Френсен Г.Ф.Ж.М., Хреве Я., Тучин В.В. Исследование водного обмена хрусталика глаза человека с помощью конфокальной микроспектроскопии комбинационного рассеяния // Биофизика. 1998. Т. 43. № 1. С. 125-130
100. Alanis E.E., Romero G.G., Martinez C.C. Interferometric measurement of diffusion coefficients through a scanning laser beam // Opt. Eng. 2000. Vol. 39. N. 3. P. 744-750.
101. Papadopoulos S., Jurgens K.D., Gros G. Protein diffusion in living skeletal muscle fibers: dependence on protein size, fiber type, and contraction // Biophys.

- J. 2000. Vol. 79. P. 2084-2094.
102. Kamholz A.E., Schilling E.A., Yager P. Optical measurement of transverse molecular diffusion in a microchannel // Biophys. J. 2001. Vol. 80. P. 1967-1972.
103. Olmsted S.S., Padgett J.L., Yudin A.I., Whaley K.J., Moench T.R., Cone R.A. Diffusion of macromolecules and virus-like particles in human cervical mucus // Biophys. J. 2001. Vol. 81. P. 1930-1937.
104. Kusba J., Li L., Gryczynski I., Piszczek G., Johnson M., Lakowicz J.R. Lateral diffusion coefficients in membranes measured by resonance energy transfer and a new algorithm for diffusion in two dimensions // Biophys. J. 2002. Vol. 82. P. 1358-1372.
105. Аскаръян Г.А. Увеличение прохождения лазерного и другого излучения через мягкие мутные физические и биологические среды // Квант. Электр. 1982. Т. 9. № 7. С. 1379-1383.
106. Rol P.O. Optics for transscleral laser applications: Ph.D. Thesis / Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, Switzerland, 1992.
107. Иоффе Б.В. Рефрактометрические методы химии. Л.: Химия, 1974. 400 с
108. Tuchina D.K., Shi R., Bashkatov A.N., Genina E.A., Zhu D., Luo Q., Tuchin V.V. Ex vivo optical measurements of glucose diffusion kinetics in native and diabetic mouse skin // J. Biophotonics, Vol. 8(4), P. 332-346, 2015
109. Тучина Д.К., Генин В.Д., Башкатов А.Н., Генина Э.А., Тучин В.В. Оптическое просветление тканей кожи *ex vivo* под действием полиэтиленгликоля // Оптика и спектроскопия, Т. 120, № 1, С. 36-45, 2016
110. Linares H.A., Kischer C.W., Dobrkovsky M., Larson D.L. The histiotypic organization of the hypertrophic scar in humans // J. Invest. Dermatol., Vol. 59(4), P. 323-331, 1972
111. Press W.H., Teukolsky S.A., Vetterling W.T., Flannery B.P. Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing. Cambridge, New York: Cambridge University Press, 1992. 994 p.
112. Schiebener P., Straub J., Sengers J.M.H.L., Gallagher J.S. Refractive index of

water and steam as function of wavelength, temperature and density // J. Phys.
Chem. Ref. Data, Vol. 19(3), P. 677-717, 1990