

Южно-Уральский государственный университет  
Кафедра Оптоинформатики

БЕРИНА Екатерина Вячеславовна

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
ГИДРОЛИЗОВАННОГО КОЛЛАГЕНА С АМИНОКИСЛОТАМИ  
ОПТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ**

Выпускная квалификационная работа

Научный руководитель:  
зав. кафедрой ОИ, профессор  
д.ф.-м.н. Н.Д. Кундикова

# ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. Структура и оптические свойства коллагена.....	6
1.1. Коллаген: типы, химический состав, основные свойства коллагена и аминокислот.....	6
1. 1. 1. Типы коллагена.....	9
1. 1. 2. Синтез коллагена.....	13
1.2. Аминокислоты: типы, химический состав, основные свойства.....	27
1.3. Методики получения коллагена и аминокислот.....	29
1.4. Оптические свойства коллагена и аминокислот.....	30
ГЛАВА 2. Поляриметрия гидролизованного коллагена и аминокислот.....	38
2.1. Поляриметрия гидрализованного коллагена.....	39
2.2. Сахарометрия. Проверка на ошибку.....	42
2.3. Поляриметрия аминокислот.....	44
2.4. Поляриметрия гидролизированного коллагена и аминокислот в водном растворе.....	45
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	47
Библиографический список.....	48

## ВВЕДЕНИЕ

С древних времен, как только был изобретён первый микроскоп, физика, а особенно её раздел – оптика, прочно вошли в медицинские и биологические исследования. На сегодняшний день, мы не можем представить себе ни одно медицинское учреждение, ни одно медицинское исследование без современной техники. Существующие медицинские технологии основываются на фундаментальных исследованиях в физике, математике, химии и биологии. Благодаря физическим методам становится возможным не только определять качественный и количественный состав биологических объектов, но и наблюдать в целом макроструктуру этих объектов, определять положение в пространстве каждого атома в молекулах глобулярных и фибриллярных белков, исследовать изменения формы биополимеров в растворе и т.д.

Среди физических методов исследований наиболее развитыми являются оптические методы, основанные на взаимодействии электромагнитного излучения с веществом. Это взаимодействие приводит к различным энергетическим переходам, которые регистрируются экспериментально в виде поглощения излучения, отражения и рассеяния электромагнитного излучения [58]. Быстрое развитие новых оптических методов, которые могут применяться в биологии и медицине для исследования фотодинамической и фототермической деструкции клеток и тканей, проницаемости клеточных мембран, диффузии веществ в клеточных структурах, а также для разработки новых подходов в фотодинамической терапии, оптической томографии, оптической биопсии и т.д., вызывает необходимость определения оптических характеристик клеточных структур и биотканей.

Огромную роль в организме человека играют белки, которые выполняют важнейшие функции: каталитическую, структурную, защитную,

регуляторную, сигнальную, транспортную, запасную, рецепторную, моторную. Наиболее распространённым видом белка в организме является фибриллярный белок:  $\alpha$ -структурные фибриллярные белки,  $\beta$ -структурные фибриллярные белки, коллаген и эластин. В свою очередь коллаген составляет практически 30% от общего количества белка в организме.

Доказано, что пространственная и структурная организация коллагеновых волокон, преобладающего компонента внеклеточного матрикса соединительной ткани, неизбежно повреждается в ходе различных патологических процессов – воспаления, неоплазии, а также при воздействии ряда внешних факторов: ионизирующего излучения при лучевой терапии, интенсивного лазерного излучения при проведении операций и лазерной коррекции [57]. Также известно, что все биологические ткани обладают оптическими свойствами. Предположительно, эти свойства могут возникать из-за уникального состава коллагена и, входящих в его состав, аминокислот.

**Целью работы является:** определение поворота плоскости поляризации в зависимости от концентрации гидролизованного коллагена и добавления в раствор аминокислот (карнитин, лизин, аргинин, таурин).

**Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:**

1. определение поворота плоскости поляризации от концентрации гидролизованного коллагена в водном растворе;
2. определение поворота плоскости поляризации от концентрации карнитина в водном растворе;
3. определение поворота плоскости поляризации от концентрации таурина в водном растворе;
4. определение поворота плоскости поляризации от концентрации аргинина в водном растворе;
5. определение поворота плоскости поляризации от концентрации лизина в водном растворе;

6. определение поворота плоскости поляризации смеси гидролизованного коллагена и аргинина в зависимости от аргинина;
7. определение поворота плоскости поляризации смеси гидролизованного коллагена и лизина в зависимости от лизина;
8. определение поворота плоскости поляризации смеси гидролизованного коллагена и таурина в зависимости от таурина;
9. определение поворота плоскости поляризации смеси гидролизованного коллагена и карнитина в зависимости от концентрации карнитина;
10. определение поворота плоскости поляризации смеси гидролизованного коллагена и 4<sup>x</sup> аминокислот вместе в зависимости от концентрации аминокислот;
11. определение поворота плоскости поляризации смеси гидролизованного коллагена и 4<sup>x</sup> аминокислот в зависимости от времени.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ.**

Значимость аминокислот в человеческом организме бесспорна. Многие жизненно важные процессы, проходящие в организме, зависят от концентрации аминокислот, вообще от их присутствия. Аминокислоты как сами по себе, являются кирпичиками, для построения белков, в том числе коллагена. Научиться исследовать их, определять их содержание и качество или наличие, их структуру необходимо для диагностических целей. К сожалению на сегодняшний день это можно сделать в лабораторных условиях. Однако было бы замечательно, если бы диагностику возможно было проводить и в домашних условиях, и при всём при этом неинвазивно. Оптические методы, основанные на изменении поляризации, т.е. поляриметрические методы как раз могут в этом помочь.

В заключении можно сказать, что поворот плоскости поляризации от концентрации не зависит. Однако наблюдается изменение поворота плоскости поляризации гидролизованного коллагена от добавления в водный раствор аминокислот. Таким образом, видно, что происходит некое взаимодействие между гидролизированным коллагеном и аминокислотами. Данная работа продолжается.

## Библиографический список

1. Киселева Е.Б. (2014). Метод кросс-поляризационной оптической когерентной томографии для прижизненной оценки состояния коллагеновых волокон. *Нижегородская государственная медицинская академия*, 148, 1–148.
2. Junqueira L. C., Montes G. S., Sanchez E. M. (1982). The influence of tissue section thickness on the study of collagen by the Picrosirius-polarization method. *Histochemistry*, 74(1), 153–156.
3. Maitland D. J., Walsh J. T. (1997). Quantitative measurements of linear birefringence during heating of native collagen. *Lasers in Surgery and Medicine*, 20(3), 310–318.
4. Ушенко В. А., Сидор М. И., Марчук Ю. Ф., Пашковская Н. В., Андрейчук Д. Р. (2017). Мюллер-матричное картографирование биологических тканей при дифференциальной диагностике механизмов оптической анизотропии протеиновых сетей. *Квантовая электроника*, 45(3), 265–269.
5. Щелоков Р.В. (2007). Эллипсометрическое исследование оптических свойств органических соединений. *Физика волновых процессов и радиотехнические системы*, 10(3), 0–4.
6. Vaheri A., Kurkinen M., Lehto V. P., Linde, E., Timpl R. (1978). Codistribution of pericellular matrix proteins in cultured fibroblasts and loss in transformation: fibronectin and procollagen. *Proceedings of the national academy of sciences of the united states of america*, 75(10), 4944–8.
7. Gelse K., Pöschl E., Aigner T. (2003). Collagens - structure, function, and biosynthesis. *Advanced drug delivery reviews*, 55(12), 1531–1546.
8. Campos V.B. (2014). Are non-linear birefringent biological structures able to generate optical vortices. *Journal of physical chemistry & biophysics*, 4(3).

9. Vidal B. (1995). The part played by the mucopolysaccharides in the form birefringence of the Collagen. *Protoplasma*, 59(34), 472–479.
10. Guido S., Tranquillo R. T. (1993). A methodology for the systematic and quantitative study of cell contact guidance in oriented collagen gels. Correlation of fibroblast orientation and gel birefringence. *Journal of cell science*, 105 (2), 317–331.
11. Игнатъева Н.Ю., Захаркина О.Л., Кочуева М.В. (2012). Радиационно-индуцированные повреждения коллагена в сухожилиях in vitro. *Биомедицина*, 1(193), 37–42.
12. Pimentel E. R. (1981). From birefringence of collagen bundles. *Acta histochem*, 14(1), 35–40.
13. Speer D. P., Chvapil M., Eskelson C. D., Ulreich J. (1980). Biological effects of residual glutaraldehyde in glutaraldehyde-tanned collagen biomaterials. *Journal of biomedical materials research*, 14(6), 753–764.
14. Nakagawa K., Harper-Lovelady H., Tanaka Y., Tanaka M., Yamato M., Asahi T. (2014). A high-accuracy universal polarimeter study of optical anisotropy and optical activity in laminated collagen membranes. *The royal of chemistry*, 50(95), 15086–15089.
15. Gross J., Nagai Y. (1965). Specific degradation of the collagen molecule by tadpole collagenolytic enzyme. *Proceedings of the national academy of sciences of the united states of america*, 54, 1197–1204.
16. Фадеев А. С., Левачев С. М. (1999). Мономолекулярные слои коллагена. *Химия*, 40(4), 270–275.
17. Чухно А. С., Дмитриева И. Б., Колодеева С. С. (2011). Адсорбция ионов  $H^+$  и  $OH^-$  на коллагене. *Вестник СПбГУ*, 4(3), 87–95.
18. Смирнова О. В. (2015). Выявление аутоантител к эластину , коллагену I типа , коллагену IV типа при хронической обструктивной болезни легких и эмфиземе. *Иммунология*, 2, 84–93.
19. Лукашева Е.В. (2010). Биохимия соединительной ткани. *Биомедицина*, 40.



20. Federation R. (2015). Skin and sun: clinical manifestations and modern prevention photodermatoses. *Практическая дерматология*, (2), 12–17.
21. Murashev S. V. (2013). Influence of destruction of the collagen structure on the hydrophilic properties of this process ' products. *Processes and devices of food production*, 3, 4.
22. Fratzl, P. (2008). Collagen: Structure and mechanics, an introduction. *Springer*, 1-13.
23. Крылова Ю. С., Дробинцева А. О., Полякова В. О., Кветной И. М., Пантелеев Л. Н., Мусихин С. Ф. (2015). Нелинейная оптическая микроскопия в применении к биомедицинским исследованиям Нелинейная оптическая микроскопия в применении к биомедицинским исследованиям. *Теория и практика биоинженерии*, 16 (9), 1–7.
24. Hoppe H. J., Reid, K. M. (1994). Collectins – soluble proteins containing collagenous regions and lectin domains and their roles in innate immunity. *Protein science*, 3(8), 43–58.
25. Franzke C. W., Bruckner P., Bruckner–Tuderman L. (2005). Collagenous transmembrane proteins: Recent insights into biology and pathology. *Journal of biological chemistry*, 280(6), 405–408.
26. Kiseleva E., Kirillin M., Feldchtein F., Vitkin A., Sergeeva E., Zagaynova E., Gladkova N. (2015). Differential diagnosis of human bladder mucosa pathologies in vivo with cross-polarization optical coherence tomography. *Biomedical optics express*, 6(4), 14-64.
27. Солодкова Е. Г., Фокин В. П., Брель А. К., Блинцова Н. В., Solodkova E. G., Fokin V. P., Blintsova, N. V. (2016). При проведении модифицированной методики кросслинкинга роговичного коллагена для лечения прогрессирующего кератоконуса. *Вестник ВолГМУ*, 2(58), 2014–2017.
28. Yamanari M., Nagase S., Fukuda S., Ishii K., Tanaka R., Yasui T., Yasuno Y. (2014). Sclera birefringence as measured by polarization-sensitive

optical coherence tomography and ocular biometric parameters of human eyes in vivo. *Biomedical optics express*, 5(5), 13-91.

29. Chus M., Wetp, W. De, Bernardt M., Ramirezst F. (1985). Fine structural analysis of the human pro- $\alpha$ (1) collagen gene. *The journal of biological chemistry*, 4(I).

30. Golaraei A., Cisek, R., Krouglov S., Navab R., Niu C., Sakashita S., Barzda V. (2014). Characterization of collagen in non-small cell lung carcinoma with second harmonic polarization microscopy. *Biomedical optics express*, 5(10), 35-62.

31. Ushenko Y. A., Trifonyuk L. Y., Dubolazov A. V., Karachevtsev A. O. (2014). Fourier-domain Jones-matrix mapping of a complex degree of mutual anisotropy in differentiation of biological tissues' pathological states. *Applied optics*, 53(10).

32. Aknoun S., Bon P., Savatier J., Wattellier B., Monneret S. (2015). Quantitative retardance imaging of biological samples using quadriwave lateral shearing interferometry. *Optics express*, 23(12).

33. Jiao S., Yu. W., Stoica G., Wang L. V. (2003). Contrast mechanisms in polarization-sensitive Mueller-matrix optical coherence tomography and application in burn imaging. *Applied Optics*, 42(25), 5191–5197.

34. Канунго М.С. (1982). Биохимия старения. *Мур*, 5536- 5542

35. Quarto G., Pifferi A., Cubeddu R., Ieva, F., Paganoni A. M., Abbate F., Taroni, P. (2015). Optical discrimination between malignant and benign breast lesions. *Proc. SPIE*, 95(38), 3-14.

36. Алонова М.В., Исаева Е.А., Исаева А.А., Зимняков Д.А., Ангельский О.В., Ермоленко С.Б. (2014). Поляризационный анализ in-vitro образцов эпидермиса человека: основные особенности и диагностические возможности. *Современные биоинженерные и ядерно-физические технологии в медицине*, 244–248.

37. Le V.-H., Lee S., Kim B., Yoon Y., Yoon C. J., Chung W. K., Kim K. H. (2015). Correlation between polarization sensitive optical coherence

tomography and second harmonic generation microscopy in skin. *Biomedical optics express*, 6(7), 25–42.

38. Гираев И.Н., Ашурбеков К. М, Кобзев Н. А.(2003). Оптические исследования биотканей : определение показателей поглощения и рассеяния. *Письма в ЖТФ*, 29(21), 48–54.

39. Junqueira L. C. U., Bignolas G., Brentani R. R. (1979). Picrosirius staining plus polarization microscopy, a specific method for collagen detection in tissue sections. *The histochemical journal*, 11(4), 447–455.

40. South F. A., Chaney E. J., Marjanovic M., Adie S. G., Voppart S. A. (2014). Differentiation of ex vivo human breast tissue using polarization-sensitive optical coherence tomography. *Biomedical optics express*, 5(10), 3417.

41. Сушков С.А., Самсонова И.В. (2014). Экспрессия коллагенов IV и VI типов в стенке поверхностных и глубоких вен голени при варикозной болезни. *Флебология*, 4, 4–10.

42. Kreig T., Aumailley M., Dessau W., Wiester M., M. P. (1980). Synthesis of collagen by human fibroblasts and their SV40 transformants. *Experimental cell research*, 125, 23–30.

43. Симонов Э. Р. (2014). Пролиферация клеток фибробластического дифферона и жизнеспособность межклеточного вещества в регенерационном гистогенезе кожи. *Гистогенез и регенерация тканей*, 171–179.

44. Busseron E., Ruff Y., Moulin, E., Giuseppone N. (2013). Supramolecular self-assemblies as functional nanomaterials. *Nanoscale*, 5(16), 7098.

45. Leon A. D., Maurizio D. L. (2017). Analysis of the promoter region and the N-propeptide domain of the human pro- $\alpha 2(I)$  collagen gene. *Nucleic acids research*, 13(10), 3427–3438.

46. Новикова Д. В., Шорманов Л. С., Беляева В. К., Полонская Г. В., Беляева М. В. (2011). Получение коллагена и некоторых лекарственных препаратов на его основе. *Человек и здоровье*, 1, 0–6.

47. Bozkurt O., Bilgin M. D., Evis Z., Pleshko N., Severcan F. (2016). Early alterations in bone characteristics of type i diabetic rat femur: a fourier transform infrared (ft-ir) imaging study. *Applied spectroscopy*, 70(12).
48. O’Leary L. E., Fallas J. A., Bakota E. L., Kang M. K., Hartgerink J. D. (2011). Multi-hierarchical self-assembly of a collagen mimetic peptide from triple helix to nanofibre and hydrogel. *Nature chemistry*, 3(10), 821–828.
49. Антипова Л.В. (2000). Получение коллагеновых субстанций на основе ферментного сырья мясной промышленности. *Человек и здоровье*, 12(5), 23–30
50. Кухарева Л.В., Шамолина И.И. (2010). Метод получения коллагена из телячьей шкуры для тканевой инженерии и клеточного культивирования. *Цитология*, 52(7), 597–602.
51. Башкатов А. Н., Генина Э.А., Козинцева М.Д., Кочубей В.И., Городков С. Ю., Тучин В. В. (2016). Оптические свойства биологических тканей брюшины в спектральном диапазоне 350–2500 Нм. *Оптика и спектроскопия*, 120(1), 6–14.
52. Щелоков, Р. В. (2008). Новые возможности эллипсометрической диагностики заболеваний, связанных с изменением структуры коллагена. *Технические инновации*, 10(3), 95–99.
53. Реброва В.К., Василевский Л.Б., Ребров Л.А., Осипова В. А. (2007). Биохимическое и фотометрическое исследование модификации структуры коллагена при УФ-облучении. *Биомедицинская химия*, 53(4), 442–453.
54. Конькова Т. Н., Миронов С. Ю., Даниленко В. Н., Корзников А. В. (2010). Дисперсионная зависимость оптической анизотропии и степени деполяризации фиброзных тканей. *Оптический журнал*, 110, 336–348.
55. Кленин В.И., Щеголев С.Ю., Лаврушин В.И. (2015). Характеристические функции светорассеяния дисперсных систем. *Издательство СГУ. 1-77.*

56. Бубнова И. А. (2017). Исследования люминесценции и структуры тканей глаза при механических нагрузках. *Медицина*, 3, 38–57.
57. Kiseleva E. B., Gubarkova E. V., Dudenkova V. V., Timashev P. S., Kotova S. L., Timofeeva L. B., Gladkova N. D. (2017). Complementary study of collagen state in bladder diseases using cross-polarization optical coherence tomography, nonlinear and atomic force microscopy. *Современные технологии в медицине*, 9(1), 7.
58. Истранова Л.П., Истранова Е. А. (2006). Модификация коллагена: физико-химические и фармацевтические свойства, применение. *Химико-фармацевтический журнал*, 40(2).
59. Поливанова Т.В., Манчук В.Т. (2007). Морфо-функциональные параметры коллагена в норме и при патологии. *Медицинские науки*, 6(16) 26-31.
60. Voigt F. (2009). Teoretisches und experimentelles zur Aufklärung des optischen Verhaltens aktiver Kristalle. *Annal. Physik.*, 29, 809—812.
61. Прокопенко Д.В., Глотова И. А. (2015). Биотехнологические аспекты получения коллагенсодержащих основ для функционального питания в составе различных пищевых форм. *Биологические Науки*, 8(2).
62. Якубе Х. Д. (1985). Аминокислоты. Пептиды. Белки, 1(10), 336–348
63. Ниедервайзер А., Патаки Д.(1974). Новые методы анализа аминокислот, пептидов и белков. *Мир*, 20-73.
64. Prescan E., Ivanof A., Mocanu A., Palibroda N., Bologna M., Gorun V., Barzu O. (1987). *Microbiological. technology*, 9(1). 663-665.
65. Prahl S.A., van Gemert M.J.C., Welch A.J. (2003). Determining the optical properties of turbid media by using the adding-doubling method. *Applied optics*, 32 (4). 559-568.
66. Храпцов А. Г., Нестеренко П. Г., Евдокимов И. А. (2014). Альтернативные варианты переработки молочной сыворотки. *Молочная промышленность*. 11(1). 44–48.

67. Antipova L.V. (2014). Prospects of obtaining and applying wound healing materials based on fish collagen. *Chemical and food fields*, 6(11), 116-120.
68. Антипова Л.В., Сторублевцев С.А. (2016). Сравнительные свойства коллагеновых белков рыбного и животного происхождения. *Биология*, 4(1), 37-41.
69. Pierscionek B.K. (1996) Aging changes in the optical elements of the eye. *Optica*, 2(1), 147-156.
70. Prahl S.A. (1998). Light transport in tissue. *Univ. Texas at austin*, 221-236.
71. Prahl S.A. (2005) The adding-doubling method. Optical-thermal response of laserirradiated tissue. *New york: plenum press*, 101-129.
72. Prahl S.A., van Gemert M.J., Welch A.J. (1993). Determining the optical properties of turbid media by using the adding-doubling method. *Appl. opt. - Vol. 32(4)*, 559-568.
73. Proshina Yu.M, Razumikhina N.A., Maksimova I.L., Tuchin V.V. (2008). Reflectance of immersed human skin. In vivo measurements. *Proc. spie. 37(26)*, 350-357.
74. Qu J., Wilson B.C. (2007) Monte Carlo modeling studies of the effect of physiological factors and other analyses on the determination of glucose concentration in vivo by near infrared optical absorption and scattering measurements. *J. biomed optica. 2(3)*. 319-325.
75. Roggan A., Friebel M., Dorschel K., Hahn A., Muller G. (1999). Optical properties of circulating human blood in the wavelength range 400-2500 nm. *J. Biomed. Optica. 4(1)*. 36-46.
76. Реушева С.В., Реушев М.Ю., Пастухова С.Ю., Паничева Е.С. (2013). Современные методы физических исследований коллагена при недифференцированной дисплазии соединительной ткани. *Успехи современного естествознания. 11*, 24-26.
77. Башкатов А. Н., Генина Э. А., Козинцева М. Д., Кочубей В. И., Городков С. Ю., Тучин В. В. (2016). Оптические свойства биологических

тканей брюшины в спектральном диапазоне 350-2500 нм. *Оптика и спектроскопия*, 120(1), 6–14.

78. Zhou C., Tsai T.H., Lee H.C., Kirtane T., Figueiredo M., Tao Y.K., Ahsen O.O., Adler D.C., Schmitt J.M., Huang Q., Fujimoto J.G., Mashimo H. (2012). Characterization of buried glands before and after radiofrequency ablation by using 3-dimensional optical coherence tomography (with videos). *Gastrointest endosc* 76(1): 32–40.

79. Егоров В.Л., Сауткин В.А. (2014). Пространственная поляриметрия неоднородных поверхностей при лазерной подсветке. *Труды института общей физики им Прохорова А.М.* 70,40–46.

80. Pande P., Shrestha S., Park J., Gimenez-Conti I., Brandon J., Applegate B.E., Jo J.A.(2016). Automated analysis of multimodal fluorescence lifetime imaging and optical coherence tomography data for the diagnosis of oral cancer in the hamster cheek pouch model. *Biomed opt. express*, 7(5): 2000–2015.

81. Ren H., Yuan Z., Waltzer W., Shroyer K., Pan Y.(2010). Enhancing detection of bladder carcinoma in situ by 3-dimensional optical coherence tomography. *J Urol* 184(4): 1499–1506.

82. Киселева Е.Б., Губарькова Е.В., Дуденкова В.В.(2017). Комплементарное исследование состояния коллагена при заболеваниях мочевого пузыря методами кросс-поляризационной оптической когерентной томографии, нелинейной и атомно-силовой микроскопии. *СТМ*, 9, (17).

83. Басов В.З., Сигарев А.М. (2004). Профилактика рубцово-спаечного процесса у больных с тяжелыми повреждениями сухожилий. *Медицина в кузбассе*. 9,104-112.

84. Золотов А.С.(2003). Анализ исходов комплексного хирургического лечения повреждений сухожилий сгибателей пальцев кисти с применением петлевого шва. *Тихоокеанский медицинский журнал*,3, 28-31.

85. Мигулева И.Ю. (1995). Лечение повреждений сухожилий сгибателей пальцев кисти в поздние сроки после травмы методом двухэтапной тендопластики. *Анналы травматологии и ортопедии*, 4, 54-58.

86. Патрикеев Д.В. (2006). Использование сухожильного шва и эндопротеза синовиальной жидкости «NOLTREX» в лечении больных с повреждением сухожилий сгибателей пальцев кисти в зоне фиброно- синовиальных влагалищ. *Травматология и ортопедия России*, 4, 64-68.
87. Григорьянц А.В., Иванов В.Б., Дьяченко А.П., Фоминых Т.А. (2012). Результаты клинического применения шва Дьяченко. *Вестник ЛНУ имени Тараса Шевченка*, 8, 39-44.
88. Junqueira L.C., Cossermelli W., Brentani R.(1998). Differential staining of collagens type I, II and III by Sirius Red and polarization microscopy. *Arch histol jpn*, 41, 267-274
89. Li X.J., Lei T., Gao J.H.(2002). Detection of collagens in hypertrophic scars by picosirius polarization method. *Di Yi Jun Yi Da Xue Xue Bao*, 422,(3), 217-219.
90. Jin Yi-Tao, Guan Wen-Xiang, Shi Tao-Ming (1985). Reversed Island Forearm Fascial Flap in Hand Surgery. *Annals of plastic surgery*. 15(4), 3-7.
91. Tuchin V.V. (2000). Tissue optics: light scattering methods and instruments for medical diagnosis, *SPIE Press*, 38, 3-52 p.
92. Graaff R., Koelink M.H., de Mul F.F.M., Zijlstra W.G., Dassel A.C.M., Aarnoudse J.G.(1993). Condensed Monte Carlo simulations for the description of light transport. *Appl. opt.*, 32 (4), 426-434.
93. Graaff R., Aarnoudse J.G., Zijp J.R., Sloot M.A., de Mul F.F.M., Greve J., Koelink M.H. (1992). Reduced light-scattering properties for mixtures of spherical particles: a simple approximation derived from Mie calculations. *Appl. Opt.*, 31 (10),1370-1376.
94. Graaff R., Dassel A.C.M., Koelink M.H., de Mul F.F.M., Aarnoudse J.G., Zijlstra W.G. (1983). Optical properties of human dermis in vitro and in vivo. *Appl. Opt.*, 32 (4), 435-447.
95. Groenhuis R.A.J., Ferwerda H.A., Ten Bosch J.J. (1983).Scattering and absorption of turbid materials determined from reflection measurements. 1. Theory. *Appl. Opt.*, 22 (16), 2456-2462.



96. Liu F., Liub C., Lorenac D. (2012). Evaluation of the antioxidant activity of collagen peptide additive extracted from cod skin. *J. Environ. Protect. Ecology*, 13, 1836–1841.
97. Groenhuis R.A.J., Ten Bosch J.J., Ferwerda H.A.(1983). Scattering and absorption of turbid materials determined from reflection measurements. 2. Measuring method and calibration. *Appl. Opt.*, 22 (16), 2463-2467.
98. Никитин В.М., Гаранин С.Г., Фомин В.Н.(2011). Адаптивная помехозащита оптико-электронных датчиков для систем управления и навигации. *Оптика и спектроскопия*, 331-336.
99. Антипова Л.В., Сторублевцев С.А.(2014). Коллагены: источники, свойства, применение. Воронеж: ВГУИТ, 5-25.
100. Никитин В.М., Москвитин С.В., Фомин В.Н., Павлович Р.В. (1995).Измерение пространственных распределений энергетических и поляризационных характеристик рассеивающей поверхности при лазерном подсвете. *Известия ран. сер. физическая*.1995, 59 (1), 5–9.
101. Григорьянц А.В., Иванов В.Б., Дьяченко А.П., Фоминых Т.А. (2012). Результаты клинического применения шва Дьяченко. *Вісник ЛНУ імені Тараса Шевченка*, 8, 39-44.
102. Пастух В.В. (2014). Эффективность геля «Сингиал» в восстановлении сухожилий. *Украинский морфологический альманах*, 12 (1), 76–79.
103. Садовой В. В., Трубина И. А.,Селимов М. А., Нагдалян А. А. (2012). Использование в рецептуре пищевых продукто биологически активных добавок. *Ежеквартальный научно-практический журнал*. 4 (24), 28–32.
104. Резайкин А.В., Кубанова А.А. (2013). Неинвазивные методы исследования кожи. *Vestn dermatol venerol*, 5 (6), 28–32.
105. Алексеев Ю.В. Потекаев Н.Н., Макарова Ю.Б. Биометрический метод оценки оптической плотности структур в дерматокосметологии. *Экспертная и клиническая дерматокосметол*, 2, 29–32.

106. Васильевская Е.А., Кузьмина Т.С. Использование высокочастотной ультразвуковой аппаратуры для исследования кожи в норме и при патологии. *Экспертная и клиническая дерматокосметол*, 1, 33–37.
107. Николаева Т.И., Шеховцов П.В. (2014). Гидролизаты коллагена в профилактике и лечении заболеваний суставов. *Biological science*, 5 (12), 524–528.
108. Liu Z.-Y., D. Chen D., Su Y.-C., and Zeng M.-Y(2014). Optimization of hydrolysis conditions for the production of the angiotensin-I converting enzyme inhibitory peptides from sea cucumber collagen hydrolysates. *J. aquat. food prod. technol*, 20, 222–232.