

# Метод поляризационной визуализации для анализа состояния кожи

Э.К. Непомнящая<sup>1</sup>, О.А. Пономарева<sup>1</sup>, М.А. Баранов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Политехническая 29, Санкт-Петербург, Россия, 195251

**Аннотация.** Работа направлена на развитие метода поляризационной визуализации для неинвазивного исследования здоровья кожи. В рамках данного исследования было показано, что анализ поляризационных характеристик рассеянного излучения позволяет выявить тип тканей, находящихся в верхних слоях кожи на глубине до 10 мм. Таким образом можно проводить визуализацию площади подкожных поражений без необходимости дополнительной травматизации исследуемого участка кожи. В работе приводится схема устройства и описываются методы обработки экспериментальных данных, а также приводятся результаты визуализации подкожной ткани, иллюстрирующие наличие в ней неоднородностей.

## 1. Введение

Обнаружение кожных патологий на ранней стадии в настоящее время приобретает всё большую актуальность в связи с растущим процентом населения, подверженного патогенному влиянию окружающей среды, провоцирующему развитие онкологических и других заболеваний кожных покровов. Традиционные инвазивные методы имеют ряд недостатков: трудности при изготовлении образца, сложность поддержания его структурно-динамических параметров, а также получение недостоверной информации [1]. В связи с этим появилась необходимость в исследовании биоткани *in vivo*.

Для проведения подобной диагностики перспективно применение оптических методов, среди которых развитие получили оптическая когерентная томография, многоспектральная дерматоскопия, флуоресцентная спектроскопия, конфокальная микроскопия, поляриметрия и др. [2, 3]. Данные методы являются неинвазивными, что позволяет производить диагностику поражений кожи без дополнительной травматизации в рамках скрининговых исследований и диспансеризации населения [4]. В данной работе рассматриваются перспективы применения поляризационных методов для детектирования структуры подкожных слоев тканей и поиска дефектов.

## 2. Теория и метод

### 2.1. Принципы поляризационного рассеяния света биотканью

Свет произвольной поляризации [5] можно представить с помощью вектора числовых значений, известных как параметры Стокса:  $I$ ,  $Q$ ,  $U$  и  $V$ . Здесь  $I$  отвечает за интенсивность

излучения, параметры  $Q$  – степень горизонтальной линейной поляризации,  $U$  – степень линейной поляризации, повернутой на  $45^\circ$  и  $V$  – степень круговой поляризации [1].

В поляриметрии вектор Стокса  $S$  светового пучка строится на основании шести измерений светового потока, полученных при различных положениях поляризационных фильтров – анализаторов, расположенных перед приемником [6, 7]:

$$S = \begin{pmatrix} I \\ Q \\ U \\ V \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_H + I_V \\ I_H - I_V \\ I_{+45^\circ} - I_{-45^\circ} \\ I_R - I_L \end{pmatrix}. \quad (1)$$

В данном выражении  $I$  с различными индексами – это интенсивность света, измеренная: для индекса  $H$  – при горизонтальном положении оси линейного поляризатора,  $V$  – при вертикальном положении оси линейного поляризатора,  $\pm 45^\circ$  при оси линейного поляризатора, повернутой на угол  $+45^\circ$  или  $-45^\circ$  соответственно, индексы  $R$  и  $L$  отвечают за интенсивность, измеренную при размещении правовращающего и левовращающего кругового анализатора соответственно [1].

Таким образом, вычисляя вектор Стокса можно рассчитать поляризационные свойства ткани, через которую прошло излучение. При этом отраженный от поверхности кожи свет и свет, рассеянный в её глубине, будут иметь разные параметры Стокса.

На начальном этапе работы было решено использовать параметр степени деполяризации излучения [8], рассеянного исследуемым образцом ( $P_D$ ), вычисляемого, при условии вертикальной линейной поляризации падающего излучения, по формуле:

$$P_D = \frac{Q}{I} = \frac{I_V - I_H}{I_V + I_H}$$

Данный параметр позволяет определить основные поляризационные характеристики исследуемого объекта при помощи измерения всего двух параметров рассеянного излучения.

Для регистрации данного параметра в работе была разработана схема экспериментальной установки.

### 2.2. Схема детектирования поляризационных свойств тканей

В качестве источника излучения в разработанной схеме использовался суперлюминесцентный диод L11607-04 с мощностью излучения 35 мВт. Длина волны излучения диода лежит в диапазоне 855–895 нм. Выбор данного спектра излучения обосновывается тем, что свет ближнего инфракрасного диапазона длин волн безопасен для человеческой кожи и имеет глубину проникновения от 150 мкм до 5 мм [9].

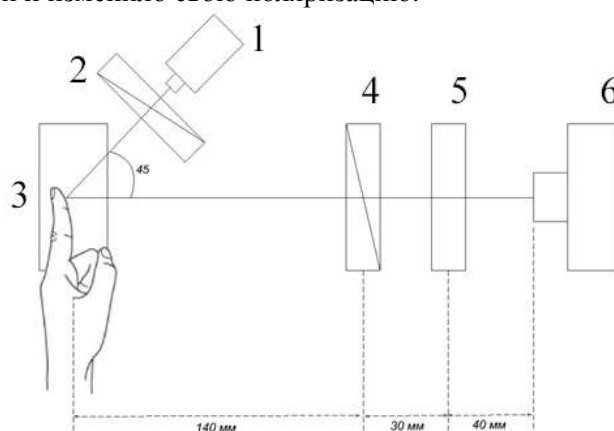
В качестве поляризационных фильтров были выбраны пленочные ИК-поляризаторы диаметром 25 мм, работающие в диапазоне 650-1700 нм [10]. В качестве фильтра использовался ИК-светофильтр с максимумом пропускания на длине волны 900 нм. Для регистрации рассеянного излучения использовалась ПЗС-камера, с максимумом чувствительности в ИК диапазоне длин волн. Реализация разработанной схемы установки приведена на рисунке 1.

### 2.3. Обработка полученных изображений

В процессе проведения эксперимента последовательно регистрируются два изображения: при вертикальном положении оси поляризатора-анализатора и при горизонтальном положении оси. Далее производится компьютерная обработка и попиксельное вычисление степени деполяризации излучения в программе Wolfram Mathematica [11]. Затем строится новое изображение, в котором каждый пиксель является значением степени деполяризации на участке кожи.

При этом изображение, полученное при вертикальном положении оси поляризатора-анализатора, содержит главным образом информацию об отраженном от поверхности кожи излучении, тогда как при ортогональном повороте оси поляризатора-анализатора зарегистрированное изображение будет содержать информацию о подкожных структурах

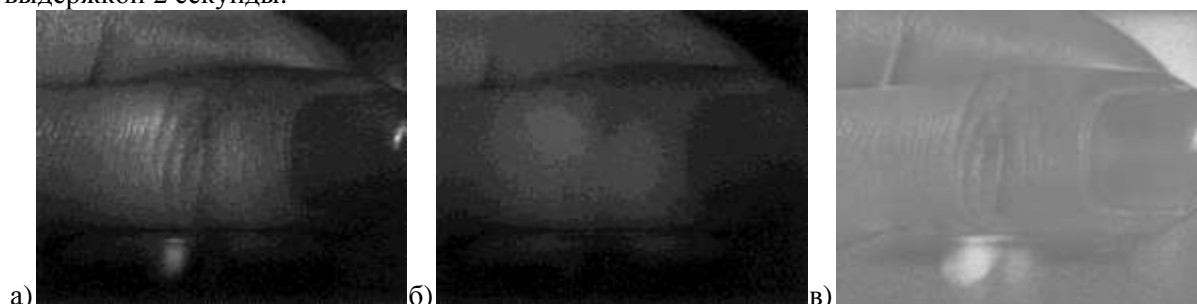
тканей, поскольку формирующее его излучение претерпело несколько актов рассеяния на глубинных слоях тканей и изменило свою поляризацию.



**Рисунок 1.** Схематичное изображение установки поляризационной визуализации:  
1 – суперлюминесцентный диод, 2 – поляризационный фильтр, 3 – исследуемый участок  
кожи, 4 – поляризационный фильтр-анализатор, 5 – светофильтр, 6 – камера.

### 3. Результаты исследования

На рисунке 2 представлены изображения кожной поверхности пальца руки, полученные с выдержкой 2 секунды.



**Рисунок 2.** Изображение пальцев руки при параллельной ориентации поляризаторов (а), перпендикулярной (б), комбинированное (в).

Изображения, полученные при параллельной ориентации осей поляризатора и анализатора (рис. 2. а), более четкие: на них можно рассмотреть структуру кожи, папиллярные линии, дефекты, т.е. такое изображение, как и заявлено, несёт информацию о поверхностной структуре кожи. Фотографии, полученные при ортогональной ориентации (рис. 2. б), избавлены от поверхностной структуры кожи, они содержат информацию о подповерхностных слоях кожи. Благодаря этому мы можем судить, например, о глубине поражения кожи.

Поляризационные изображения (рис. 2. в), где в качестве характеристики используется степень деполяризации, имеют повышенный контраст, что облегчает анализ кожных поверхностей и позволяет усилить отличия участков тканей, которые значительно деполяризуют излучение.

### 4. Заключение и выводы

В работе изложена теоретическая сторона метода поляриметрии, основанного на детектировании параметров Стокса. На начальном этапе работы было принято решение использовать для анализа два параметра Стокса, отражающих степень деполяризации излучения биотканью. Для их измерения была собрана установка и подобраны подходящие комплектующие. С её помощью был проведен ряд экспериментов и получены результаты (фотографии кожной поверхности при параллельной и ортогональной ориентации осей

поляризационных фильтров), впоследствии обработанные с помощью подходящего программного обеспечения.

Таким образом, в работе было продемонстрировано, что метод поляризационной визуализации имеет ряд преимуществ, такие как простота эксплуатации, безопасность для объекта исследования, простота получения результатов эксперимента (так как метод не требует дорогостоящего оборудования для проведения исследования), что доказывает перспективность метода для дерматологических исследований кожи.

## 5. Благодарности

Данная статья подготовлена при финансовой поддержке Фонда РФФИ, грант № 19-32-90130.

## 6. Литература

- [1] Тучин, В.В. Оптика биологических тканей. Методы рассеяния света в медицинской диагностике – М.: Физматлит, 2013. – 812 с.
- [2] Макаренко, Л.А. Неинвазивная диагностика в дерматологии // Российский журнал кожных и венерических болезней, 2013. – № 2.
- [3] Потеев, Н.Н. Современные диагностические технологии в дерматовенерологии (клиническая лекция) // Клиническая дерматология и венерология. – 2018. – Т. 17, № 1.
- [4] Тучин, В.В. Оптическая биомедицинская диагностика: в 2 т. – М.: Физматлит, 2007. – Т. 2. – 368 с.
- [5] Varlamov, A.V. Optimal configuration of the waveguide acousto-optic TE-TM polarization mode convertor on X-cut lithium niobate substrate // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1236(1). – P. 012034.
- [6] Trubin, P. Development of Polarimetric Sensor for Identification System / P. Trubin, E. Savchenko, E. Velichko // IEEE International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EEExPolytech), 2018. – P. 279-282.
- [7] Louie, D.C. One-shot Stokes polarimetry for low-cost skin cancer detection // Optics and Biophotonics in Low-Resource Settings V. – International Society for Optics and Photonics. – 2019. – Vol. 10869. – P. 1086904.
- [8] Putintseva, M.V. Non-invasive research of biological objects by the method of laser polarimetry // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – Vol. 1124(3). – P. 031021.
- [9] Putintseva, M.V. Infrared versus white light sources for polarimetric imaging setup / M.V. Putintseva, E.K. Nepomnyashchaya // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1236(1). – P. 012040.
- [10] Shercliff, W. Polarized Light – Moscow, 1965. – P. 46.
- [11] Putintseva, M. New approach to detect skin pathologies with polarimetric detection and processing / M. Putintseva, E. Korneeva, E. Velichko // Saratov Fall Meeting: Optical and Nano-Technologies for Biology and Medicine. – International Society for Optics and Photonics. – 2019. – Vol. 11065. – P. 1106511.

# Method of polarization-based visualization for skin health analysis

**Е.К. Nepomnyashchaya<sup>1</sup>, О.А. Ponomareva<sup>1</sup>, М.А. Baranov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, Polytechnicheskaya 29, St. Petersburg, Russia, 195251

**Abstract.** The work is aimed at developing the method of polarization imaging for non-invasive study of human skin health. In this study, it was shown that the analysis of polarization characteristics of scattered radiation allows us to identify the type of tissue located in the upper layers of the skin at an approximate depth of 10 mm. Thus, it is possible to visualize the area of subcutaneous lesions without the need for additional trauma to the studied area of the skin. In this work, we present a diagram of the device and describes methods for processing experimental data, as well as results of subcutaneous tissue imaging that illustrate the presence of heterogeneities in it.