

# МЕТОД ДВОХВИЛЬОВОГО ПОЛЯРИЗАЦІЙНОГО ВІДТВОРЕННЯ ТА АНАЛІЗУ АНІЗОТРОПНОЇ СТРУКТУРИ ГІСТОЛОГІЧНИХ ЗРІЗІВ

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

Запропоновано та експериментально досліджено метод поляризаційного відтворення та аналізу анізотропної структури гістологічних зрізів на довжинах хвиль 0.634 нм та 0.435 нм.

**Ключові слова:** гістологічний зріз, двохвильове поляризаційне відтворення, анізотропна структура, мюллер-матричне зображення, інформативні ознаки, статистичні оцінки, кореляційні оцінки

## Abstract

The method of polarization reproduction and analysis of anisotropic structure of histological section was suggested and experimentally investigated at the wavelengths of 0.634 nm and 0.435 nm.

**Keywords:** histological section, two-wave polarization reproduction, anisotropic structure, Muller-matrix image, informative features, statistical estimates, correlation estimates

## Вступ

Поляризаційні методи та системи дослідження оптико-анізотропних біологічних об'єктів, зокрема оптично тонких гістологічних зрізів біологічних тканин, є достатньо інформативними та ефективними для застосування в системах медичної діагностики та судової медичної експертизи. Для їх повноцінного застосування в медичних закладах необхідна висока достовірність діагностичних систем та експресивність.

Оцінки достовірності існуючих багатопараметричних поляризаційних систем, що працюють на одній довжині хвилі 0,632 нм, висвітлені в роботі [1], і сягають від 71 % до 95% при проведенні експериментальних досліджень на тестовій вибірці гістологічних зрізів печінки пацюків.

Проте при проведенні лабораторних та клінічних досліджень на інших типах гістологічних зрізів, які є замороженими, виникає потреба покращення достовірності оцінювання їх патологічних станів, що може бути досягнуто шляхом збільшення кількості інформативних параметрів діагностування при здійсненні вимірювань на двох довжинах хвиль.

Отже, метою роботи є розширення бази інформативних ознак для подальшого оцінювання фізіологічних станів біологічних шарів (БШ) в системі багатопараметричного відтворення та аналізу структури гістологічних зрізів.

## Результати дослідження

У відому лазерну систему мюллер-матричного картографування, відтворення та аналізу оптично анізотропного БШ, що працює на довжині хвилі лазера 0,634 мкм [2], введено другий лазер, який працює на довжині хвилі 0,435 мкм. Лазери вмикають по чергово, при цьому формуються відповідні світлові інтенсивності, які подаються на входи світлооб'єднувача, вихід якого оптично з'єднаний через коліматор із входом багатоканального поляризаційного опромінювача.

Враховуючи особливості побудови вищевказаної системи, метод двохвильового відтворення та аналізу полікристалічної структури оптично тонких БШ за розподілами значень елементів матриці Мюллера полягає в наступних діях.

1. На довжині хвилі лазера 0,634 мкм опромінюємо послідовно біологічний шар по черзі лазерним випромінюванням одного із чотирьох різних типів поляризації ( $\alpha_0 = 0^\circ; \alpha_0 = 90^\circ; \alpha_0 = 45^\circ; \beta = 45^\circ$ ), сформованих багатоканальним поляризаційним опромінювачем.

2. Здійснюємо по черзі поляризаційну фільтрацію ( $\theta = 0^\circ; \theta = 90^\circ; \theta = 45^\circ; \theta = 135^\circ; \theta = \otimes; \theta = \oplus$ ) утворених лазерних поляризованих зображень за допомогою багатоканального поляризаційного аналізатора.
3. Реєструємо в площині камери серію із 24 поляризаційно відфільтрованих зображень.
4. По черзі алгоритмічно визначаємо координатні розподіли параметрів вектора Стокса через інтенсивності відповідних поляризаційно відфільтрованих лазерних зображень. Невідомий елемент матриці Мюллера визначаємо у кожному з отриманих рівнянь на основі вищеписаних параметрів вектора Стокса та відомих елементів матриці Мюллера.
5. Обчислюємо статистичні оцінки координатного розподілу та автокореляційних функцій розподілів елементів матриці Мюллера на довжині хвилі 0,634 мкм.
6. Здійснюємо опромінення послідовно біологічного шару на довжині хвилі 0,435 мкм по черзі лазерним поляризаційним випромінюванням одного із чотирьох різних типів поляризації ( $\alpha_0 = 0^\circ; \alpha_0 = 90^\circ; \alpha_0 = 45^\circ; \beta_0 = 45^\circ$ ), сформованих багатоканальним поляризаційним опромінювачем.
7. Пункти 2-6 повторюємо, сформувавши статистичні оцінки координатного розподілу та автокореляційних функцій розподілів елементів матриці Мюллера на довжині хвилі 0,435 мкм.
8. На основі отриманих статистичних оцінок координатного розподілу та автокореляційних функцій розподілів елементів матриць Мюллера, отриманих на двох довжинах хвиль 0,635 мкм та 0,435 мкм, визначаємо інформативні ознаки диференціації змін оцінок, обумовлених патологічними станами БШ.

Були проведені експериментальні дослідження вищерозглянутого метода двохвильового відтворення структури БШ за елементами ММЗ на двох оптично тонких зразках з верифікованими діагнозами «норма» та «патологія», що являли собою гістологічні зрізи тканини шийки матки з геометричною товщиною 10 мкм. Нижче наведемо результати для фазового параметру ММЗ відповідних шарів.

Для експериментально одержаної серії фазових  $Z_{44}$  ММЗ біологічних шарів  $Z_{ik}$  ММЗ тканини шийки матки в стані «норма» та «патологія» обчислювались статистичні характеристики: статистичні моменти  $M_{j=1,2,3,4}$  – для координатного розподілу фазового елемента ММЗ; кроскореляційні моменти  $dQ_{j=1,2,3,4}$  – для автокореляційного розподілу (таблиця).

Таблиця – Статистичні характеристики координатного та автокореляційного розподілів елементів  $Z_{44}$  БШ тканини шийки матки при станах «норма» та «патологія» для  $\lambda_1 = 0,634$  мкм та для  $\lambda_2 = 0,435$  мкм

| $M_{i=1,2,3,4}$  | $M_1$ | $M_2$ | $M_3$ | $M_4$ | $dQ_1$ | $dQ_2$ | $dQ_3$ | $dQ_4$ |
|--|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| $Z_{44}^{НОРМА}(\lambda_1)$  | 0,49  | 0,5   | 1,02  | 0,25  | 0,1    | 0,23   | 13,2   | 8,45   |
| $Z_{44}^{ПАТОЛ}(\lambda_1)$  | 0,52  | 0,53  | 1,08  | 0,35  | 0,13   | 0,18   | 8,63   | 4,26   |
| $k_i(\lambda_1) = \frac{M_i^{норма}(dQ_i^{норма})}{M_i^{патол}(dQ_i^{патол})}$ | 1,06  | 1,06  | 1,05  | 1,04  | 1,3    | 1,27   | 1,52   | 1,98   |
| $Z_{44}^{НОРМА}(\lambda_2)$  | 0,37  | 0,39  | 1,11  | 0,2   | 0,87   | 0,88   | 1,24   | 1,18   |
| $Z_{44}^{ПАТОЛ}(\lambda_2)$  | 0,47  | 0,51  | 1,2   | 0,41  | 0,14   | 0,18   | 6,89   | 3,5    |
| $k_i(\lambda_2) = \frac{M_i^{норма}(dQ_i^{норма})}{M_i^{патол}(dQ_i^{патол})}$ | 1,27  | 1,31  | 1,08  | 2,05  | 6,21   | 4,89   | 5,55   | 2,97   |

Інформативними параметрами для диференціації зразків із станами «норма» та «патологія» є :  
 - кроскореляційні моменти 3-4 –го порядків автокореляційного розподілу фазового ММЗ  $Z_{44}$ , відмінності між якими в стані «норма» і «патологія» складають 1,52 рази та 1,98 раз для довжини хвилі  $\lambda_1 = 0,634$  мкм;

- статистичні моменти 4-го порядку координатного розподілу фазового ММЗ  $Z_{44}$ , відмінності між якими в стані «норма» і «патологія» складають 2,05 рази для довжини хвилі  $\lambda_2 = 0,435$  мкм;

- кроскореляційні моменти 1-4 –го порядків автокореляційного розподілу фазового ММЗ, відмінності між якими в стані «норма» і «патологія» складають від 4,89 разів до 6,21 раз для довжини хвилі  $\lambda_2 = 0,435$  мкм.

### Висновки

Запропоновано метод двохвильового відтворення розподілу елементів Мюллер-матричних зображень оптично тонких гістологічних зрізів на довжинах хвиль 0,632 нм та 0,435 нм. Проведений статистичний та кореляційний аналіз отриманих ММЗ дозволив збільшити кількість інформативних параметрів для проведення наступної діагностики та диференціації фізіологічних станів досліджуваних гістологічних зрізів, що може слугувати чинником для підвищення достовірності оцінювання патологічних станів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Methods and systems of polarization reproduction and analysis of the biological layers structure in the diagnosis of pathologies / Natalia I. Zabolotna, Vladyslava V. Sholota, Heorhii H. Okarskiy // Proc. SPIE.- 2020.- Vol. 11369.- 113691S.- P. 501-513.
2. Zabolotna N.I. A multifunctional automated system of 2D laser polarimetry of biological tissues / N.I. Zabolotna, K.O. Radchenko // Proc. SPIE. – 2014.- Vol. 9205.- P.92050V1 - P. 92050V9.

*Заболотна Наталія Іванівна* – д-р техн. наук, професор, завідувач. кафедри ЛОТ, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

*Окарський Георгій Геннадійович* — студент групи ЛТО-19м, факультет комп'ютерних систем і автоматики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: georgiy.okarskiy@gmail.com

*Zabolotna Natalia I.* – Dr.Sc. (Eng.), Professor, Head of Department of Laser and Optoelectronic technology, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

*Okarskiy Heorhii H.* — student group LTO-19m, Faculty of Computer Control Systems and Automatics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : georgiy.okarskiy @gmail.com