

УДК 681.784.7:615.849.19

Ю. О. УШЕНКО, В. М. СКЛЯРЧУК, О. В. ДУБОЛАЗОВ, І. В. СОЛТИС,  
О. В. ОЛАР, А. В. МОТРИЧ, М. П. ГОРСЬКИЙ, В. Г. ЖИТАРЮК

## ПОЛЯРИЗАЦІЙНО-ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНИЙ ЛАЗЕРНИЙ ЦИФРОВИЙ КОМПЛЕКС МАСШТАБНОГО СКЕЙЛІНГУ У ДІАГНОСТИЦІ РЕГЕНЕРАЦІЇ РАН

*Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, м. Чернівці, Україна*

**Анотація.** Представлено короткий теоретичний опис процесів формування поляризаційних мап азимута і еліптичності багатократно розсіяної складової об'єктного поля біопсії м'язової тканини колото-різаних ран шурів. Методом Мюллер-матричної Стоксполариметрії одержана серія поляризаційних мап еліптичності цифрових мікроскопічних зображень поля біопсії uszkodженої та регенерованої м'язової тканини колото-різаних ран шурів. Реалізовано вейвлет перетворення поляризаційних мап еліптичності цифрових мікроскопічних зображень поля біопсії uszkodженої та регенерованої м'язової тканини колото-різаних ран шурів. Визначено статистичні, кореляційні і фрактальні вейвлет-маркери детектування ступеня регенерації uszkodжених біологічних тканин. Наведено напрями подальших досліджень шляхом застосування принципів лазерно-індукованої автофлуоресцентної полариметрії.

**Ключові слова:** лазер, поляризація, азимут, еліптичність, оптична анізотропія, двопронемезаломлення, статистичний, кореляційний, фрактальний, вейвлет аналіз, колото-різана рана, регенерація

**Abstract.** A brief theoretical description of the processes of forming polarization maps of the azimuth and ellipticity of the multiple scattered component of the object field of the muscle tissue biopsy of rat stab wounds is presented. A series of polarization maps of ellipticity of digital microscopic images of the biopsy field of damaged and regenerated muscle tissue of rat stab wounds was obtained using the Muller-matrix Stokes polarimetry method. A wavelet transformation of polarization maps of ellipticity of digital microscopic images of the biopsy field of damaged and regenerated muscle tissue of rat stab wounds was implemented. Statistical, correlational and fractal wavelet markers for detecting the degree of regeneration of damaged biological tissues have been determined. Directions for further research by applying the principles of laser-induced autofluorescence polarimetry are given.

**Key words:** laser, polarization, azimuth, ellipticity, optical anisotropy, birefringence, statistical, correlation, fractal, wavelet analysis, stab wound, regeneration

DOI: 10.31649/1681-7893-2024-47-1-96-103

### ВСТУП

Останнім часом у рамках численних досліджень у галузі біомедичної полариметрії [1-6] широко застосовуються цифрові методи обробки отриманих даних – поляризаційне картографування [7-12]. У результаті створено ряд об'єктивних критеріїв (маркерів) для виявлення змін морфологічної структури біологічних тканин, спричинених різними патологічними (рак [8,9], ендометріоз [10], запальні процеси [7]) та некротичними (давність виникнення та диференціація причин смерті [12]) станами.

Статистичний і кореляційний аналіз азимута та еліптичності поляризації біопрепарату [13-24] є переважною алгоритмічною основою для визначення сукупності полариметричних цифрових діагностичних маркерів зазначених станів.

У той же час функціональні можливості цифрової поляриметрії обмежені через відсутність алгоритмів отримання та оцінки (недоступних статистичним [16,18,22-24] і кореляційним [20,21] методам) топологічної масштабно-самоподібної інформації [13,14] про полікристалічні архітектоники біологічних тканин і біологічних фацій.

Одним із можливих шляхів ефективного подолання цієї проблеми біомедичної діагностики є використання вейвлет аналізу. На це вказує незначна на даний момент кількість публікацій [12], де вейвлет аналіз розподілу азимута та еліптичності фацій плазми крові ефективно використовувався для диференціальної діагностики здорових і ракових тканин.

Наша робота спрямована на визначення ефективності вейвлет-аналізу поляризаційних мап азимута і еліптичності мікроскопічних зображень полікристалічних плівок випоту у діагностиці регенерації ран.

### КОРОТКА ТЕОРІЯ

Для фізичного аналізу результатів лазерного поляризаційного картографування нативних гістологічних зрізів біопсії ушкоджених (колото-різані рани) дифузно розсіюючих тканин ми скористалися добре апробованими у численних дослідженнях [13-24] модельними уявленнями, - рис. 1.

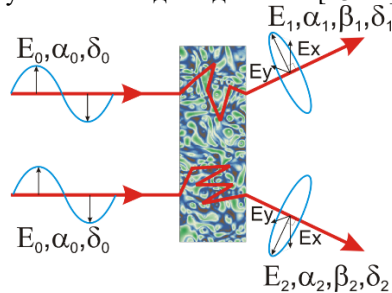


Рисунок 1 - Розсіювання в об'ємі полікристалічної плівки випоту

Для багатократної (\*) взаємодії ( $l = 2, \dots, w$ ) з циркулярно поляризованим лазерним пучком з вектором Стокса  $VS^0(\otimes)$  можна записати наступне матричне рівняння

$$VS_{l=1,2,\dots,w}^{\otimes} = \{Q\}_w \{Q\}_{w-1} \dots \{Q\}_2 VS^0(\otimes). \quad (1)$$

Тут  $\{Q\}_w$  – парціальні матриці Мюллера двопронезаломлення полікристалічної архітектоники біологічних тканин [1-6].

Зазначений оптичний сценарій призведе до формування поляризаційно-неоднорідної багатократно розсіяної складової в об'єктному полі біологічної тканини з наступними координатними розподілами випадкових значень величини азимута  $\alpha_{l=1,2,\dots,n}^{\otimes}$  і еліптичності  $\beta_{l=1,2,\dots,n}^{\otimes}$

$$\begin{cases} \alpha_{l=2,\dots,w}^{\otimes} = 0.5 \arctan \left( VS_{3;l=2,\dots,w}^{\otimes} / VS_{2;l=2,\dots,w}^{\otimes} \right) (r); \\ \beta_{l=2,\dots,w}^{\otimes} = 0.5 \arcsin \left( VS_{4;l=2,\dots,w}^{\otimes} / VS_{1;l=2,\dots,w}^{\otimes} \right) (r). \end{cases} \quad (2)$$

У результаті формуються наступні мапи азимута  $Az^{\otimes}(m,n)$  і еліптичності  $Ell^{\otimes}(m,n)$  поляризації дифузного лазерного спекл поля

$$Y(m,n) \equiv \begin{cases} Az^{\otimes}(m,n) = \begin{pmatrix} \alpha_{11}^{\otimes} & \dots & \alpha_{1n}^{\otimes} \\ \vdots & & \vdots \\ \alpha_{m1}^{\otimes} & \dots & \alpha_{mn}^{\otimes} \end{pmatrix}; \\ Ell^{\otimes}(m,n) = \begin{pmatrix} \beta_{11}^{\otimes} & \dots & \beta_{1n}^{\otimes} \\ \vdots & & \vdots \\ \beta_{m1}^{\otimes} & \dots & \beta_{mn}^{\otimes} \end{pmatrix}. \end{cases} \quad (3)$$

Відомим фактом є залежність масштабів спеклів об'єктного поля від кратності світлорозсіяння. Чим вище кратність тим менші геометричні розміри спеклів. Виходячи з цього актуальним для кількісного оцінювання поляризаційних мап (співвідношення (3)) дифузно розсіяного поля є застосування аналітичного підходу на основі масштабно-селективного вейвлет перетворення  $Y(m,n)$ .

Вейвлет аналіз базується на аналітичній трансформації розподілів азимутів або еліптичностей за допомогою скануючої солітоноподібної функції (вейвлет  $\Pi(b)$ ) зі зміною півшириною (“масштабом”  $a$ ) і координатою сканування  $b$ .

Неперервне вейвлет перетворення поляризаційного розподілу  $Y(x)$  визначається наступним співвідношенням

$$W(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} Y(x) \Pi\left(\frac{x-b}{a}\right) dx, \quad (4)$$

У нашій роботі в якості солітоноподібної функції ми скористалися другою похідною ( $m=2$ ) від Гаусової функції або МНАТ вейвлетом

$$\Pi^{(m)} = (-1)^m \frac{\partial^m}{\partial x^m} \left[ \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) \right] \Rightarrow \Pi^{(2)} = \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left[ \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) \right]. \quad (5)$$

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Вимірювання поляризаційних мап азимута і еліптичності проводилося за традиційною методикою Стоксполіризаційного картографування в оптичному розташуванні Мюллер-матричного поляриметра. Детально дана методика і характеристика оптичного Мюллер-матричного розташування наведені у численних наукових публікаціях [13-24].

У нашій роботі ми зосередились на дослідженні ефективності статистичного [22-24], кореляційного [16-18] і фрактального [13,14] аналізу результатів вейвлет перетворення мап еліптичності поляризації дифузних зображень зразків м’язової тканини щурів з колото-різаними ушкодженнями у встановлені об’єктивних маркерів процесів регенерації ран.

На серії фрагментів рис. 1 – рис. 4 представлені координатні та лінійні розподіли амплітуд вейвлет-коефіцієнтів (верхній рядок), а також статистичні (локальні таблиці), кореляційні і фрактальні (нижній рядок) параметри даних різномасштабного вейвлет перетворення мап еліптичності поляризації зразків біопсії ушкодженої (рис. 1 і рис. 2) та регенованої (рис. 3 і рис. 4) колото-різаної рани м’язової тканини для масштабів МНАТ функції  $a = 5$  (рис. 1 і рис. 3) і (рис. 2 і рис. 4).

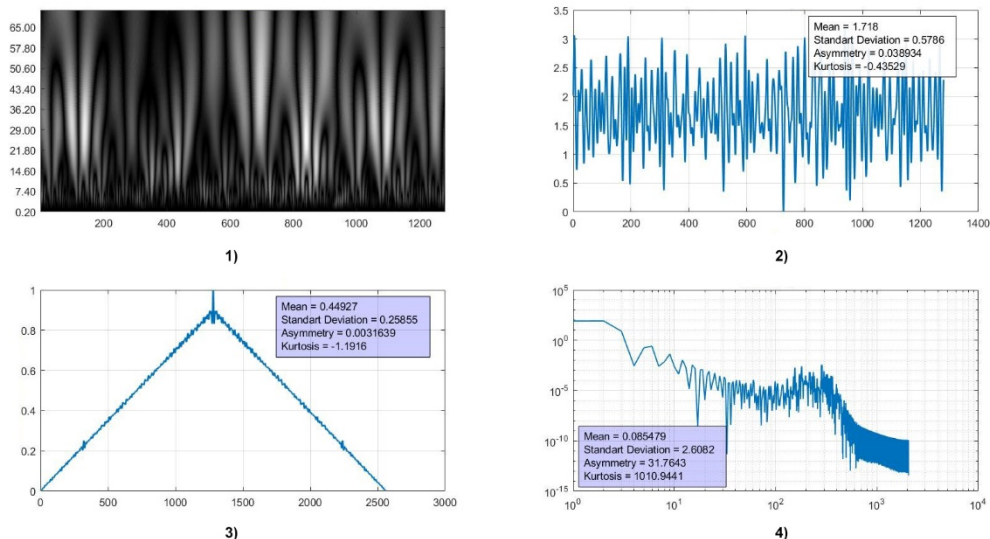


Рисунок 1 – Статистичні, кореляційні і фрактальні характеристики “дрібномасштабного” ( $a = 5$ ) вейвлет перетворення мапи еліптичності поляризації біопсії ушкодженої м’язової тканини

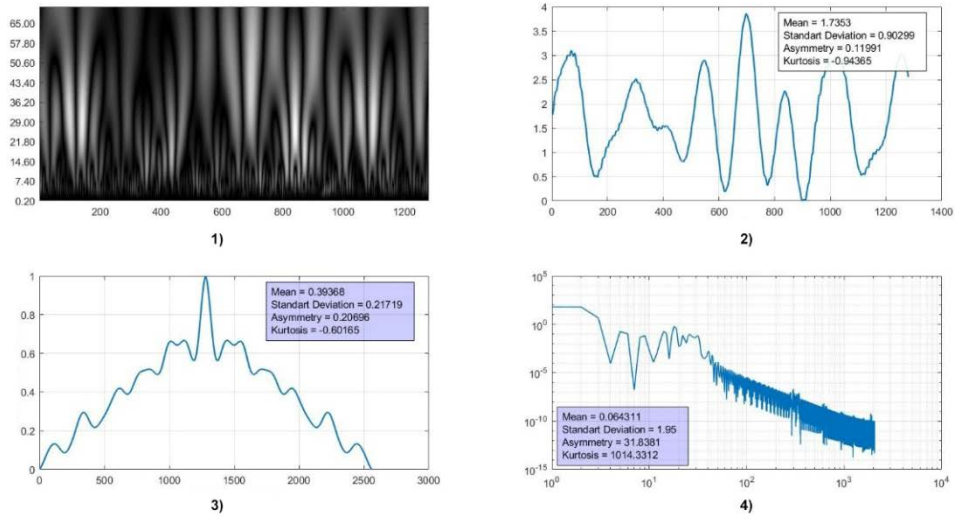


Рисунок 2 – Статистичні, кореляційні і фрактальні характеристики “крупномасштабного” ( $a = 70$ ) вейвлет перетворення мапи еліптичності поляризації біопсії ушкодженої м’язової тканини

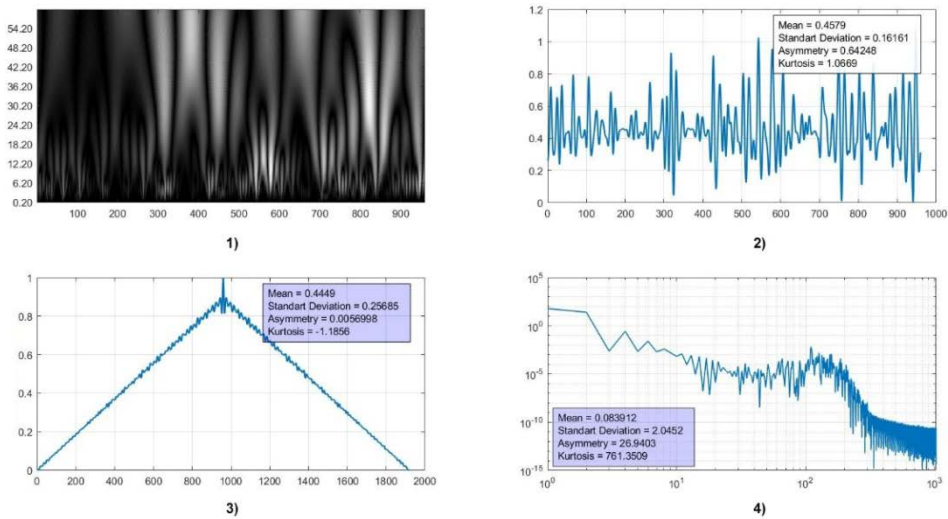


Рисунок 3 – Статистичні, кореляційні і фрактальні характеристики “дрібномасштабного” ( $a = 5$ ) вейвлет перетворення мапи еліптичності поляризації біопсії регенованої м’язової тканини.

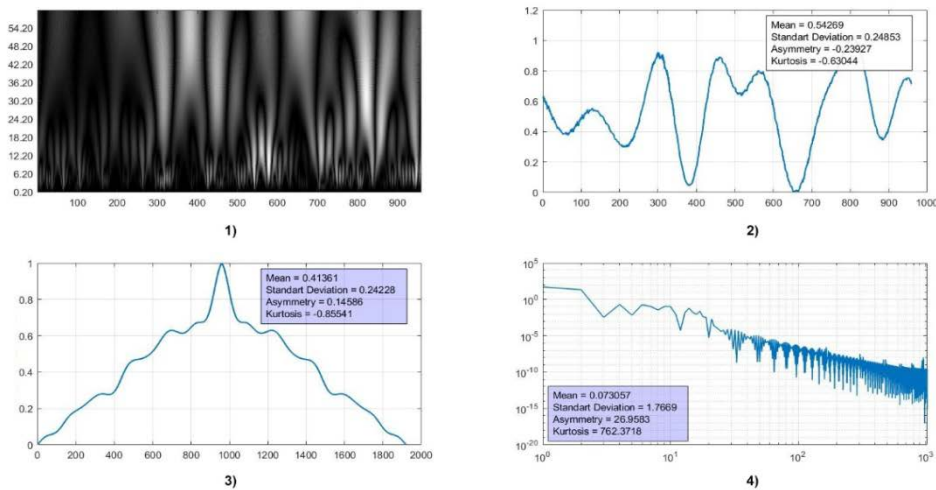


Рисунок 4 – Статистичні, кореляційні і фрактальні характеристики “крупномасштабного” ( $a = 70$ ) вейвлет перетворення мапи еліптичності поляризації біопсії регенованої м’язової тканини.

Аналіз одержаних даних виявив.

1. У рамках вейвлет аналізу встановлено:

- Індивідуальну структурність вейвлет мап координатних поляризаційних розподілів дифузних зображень зразків біопсії uszkodженої та регенерованої м'язової тканини на різних масштабах солетоноподібної скануючої МНАТ функції. Відповідні лінійні залежності амплітуд вейвлет коефіцієнтів відрізняються як періодом зміни, так і глибиною модуляції.
- Відмінності (до 3-4 разів) на всіх масштабах МНАТ функції глибини модуляції лінійних розподілів амплітуд вейвлет поляризаційних мап дифузних зображень зразків біопсії з обох груп щурів.
- Найбільш чутливими до ступеня регенерації ран виявилися середнє ( $\bar{a}$ ) і дисперсія ( $\sigma^2$ ), які характеризують лінійні розподіли амплітуд вейвлет поляризаційних мап дифузних зображень зразків біопсії з обох груп щурів на всіх масштабах МНАТ функції.

2. У рамках кореляційного аналізу встановлено:

- Залежність автокореляційних функцій лінійних розподілів амплітуд вейвлет поляризаційних мап дифузних зображень зразків біопсії м'язової тканини від масштабу солетоноподібної скануючої МНАТ функції.
- Асиметрія та ексцес автокореляційних функцій лінійних розподілів амплітуд вейвлет поляризаційних мап дифузних зображень, як зразку uszkodженої, так і біопсії регенерованої м'язової тканини для масштабів МНАТ функції  $a = 5$  і  $a = 70$  відрізняються у 10-15 (асиметрія) і 4-5 (ексцес) разів.
- Найбільші відмінності (до 2-х разів) між параметрами автокореляційних функцій лінійних розподілів амплітуд вейвлет поляризаційних мап дифузних зображень біопсії uszkodженої і регенерованої м'язової тканини реалізуються для ексцесу, який характеризує ступень гостроти піку кореляційних розподілів.

3. У рамках фрактального аналізу виявлено:

- Для зразків uszkodженої м'язової тканини всі лінійні розподіли амплітуд вейвлет поляризаційних мап дифузних зображень статистичні (відсутні стабільні нахили апроксимуючої кривої) для малих масштабів ( $a = 5$ ). Для великих масштабів ( $a = 70$ ) формуються мультифрактальні розподіли – наявні декілька нахилів апроксимуючої кривої до логарифмічних залежностей спектрів потужності лінійних розподілів амплітуд вейвлет коефіцієнтів.
- Для зразків регенерованої м'язової тканини великомасштабні розподіли амплітуд вейвлет коефіцієнтів трансформуються у масштабно самоподібні або фрактальні, для яких характерне одне значення кута нахилу логарифмічних залежностей спектрів потужності.

З фізичної точки зору одержані результати можна пов'язати з відомим фактом масштабної самоподібності морфологічної структури оптично анізотропної архітектоніки здорових біологічних тканин [17]. Поляризаційні мапи такої полікристалічної складової також фрактальні [13,14].

При нанесенні uszkodження самоподібна ієрархія руйнується на різних масштабах геометричних розмірів морфологічної архітектури біологічних тканин. Внаслідок цього руйнуються і фрактальні розподіли поляризаційних параметрів лазерних зображень відповідних зразків. Кількісно це виявляється у зростанні амплітуди вейвлет коефіцієнтів (збільшуються середнє і дисперсія) за рахунок наявності статистично спотворених і хаотично розташованих оптично анізотропних доменів ураженої морфологічної структури.

Процеси регенерації м'язової тканини частково відновлюють морфологічну структуру полікристалічної складової на великих масштабах її геометричних розмірів. Тому відповідні розподіли амплітуд вейвлет коефіцієнтів на великих масштабах ( $a = 70$ ) знову фракталізуються; зростає координатна однорідність таких розподілів (збільшується ексцес автокореляційних функцій, а також зменшуються середнє та дисперсія випадкового розкиду МНАТ параметрів).

### ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Розроблена і експериментально апробована поляризаційно-інтерференційна система відтворення і масштабно-селективного вейвлет аналізу поляризаційних мап однократно розсіяної компоненти об'єктних лазерних спекл полів виявилася ефективною у кількісному оцінюванні процесів регенерації біологічних тканин.

З метою подальшого розширення функціональних можливостей і покращення чутливості та точності поляризаційно-інтерференційної системи нами пропонується використання принципів

флуорометрії та поляриметрії шляхом поєднання принципів поляризаційного аналізу лазерно-індукованої автофлуоресценції окремих молекулярних доменів полікристалічної архітекtonіки дегідратованих плівок різноманітних біологічних рідин.

Зокрема, перспективним є використання такого підходу для неінвазивного моніторингу та кількісного оцінювання процесів регенерації ран різного генезу на молекулярному рівні архітекtonіки біологічних тканин.

### ВИСНОВКИ

- Представлено короткий теоретичний опис процесів формування поляризаційних мап азимута і еліптичності багатократно розсіяної складової об'єктного поля біопсії м'язової тканини колото-різаних ран щурів.
- Методом Мюллер-матричної Стоксполіриметрії одержана серія поляризаційних мап еліптичності цифрових мікроскопічних зображень поля біопсії ушкодженої та регенерованої м'язової тканини колото-різаних ран щурів.
- Реалізовано вейвлет перетворення поляризаційних мап еліптичності цифрових мікроскопічних зображень поля біопсії ушкодженої та регенерованої м'язової тканини колото-різаних ран щурів.
- Визначено статистичні, кореляційні і фрактальні вейвлет-маркери детектування ступеня регенерації ушкоджених біологічних тканин.

*Дослідження виконано за підтримки грантів Національного фонду досліджень України 2022.01/0034 і №2023.03/0174.*

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. Lee H. R. et al. Digital histology with Mueller polarimetry and Fast DBSCAN. *Appl. Opt.* (2022). 61(32): 9616-9624.
2. Kim M. et al. Optical diagnosis of gastric tissue biopsies with Mueller microscopy and statistical analysis. *J. Europ. Opt. Soc. Rapid Publ.* (2022). 18(2):10.
3. Lee H. R. et al. Digital histology with Mueller microscopy: how to mitigate an impact of tissue cut thickness fluctuations. *J. Biomed. Opt.* (2019). 24(7): 076004.
4. Li P. et al. Analysis of tissue microstructure with Mueller microscopy: logarithmic decomposition and Monte Carlo modeling *J. Biomed. Opt.* (2020). 25(1): 015002.
5. Lee H. R. et al. Mueller microscopy of anisotropic scattering media: theory and experiments. *Proc. SPIE 10677 Unconventional Optical Imaging* (2018). 10677:1067718.
6. Ma H., He H., Ramella-Roman J. C. "Mueller matrix microscopy" In: J. C. Ramella-Roman, T. Novikova, editors. *Polarized Light in Biomedical Imaging and Sensing*. Springer: Cham (2023). p.281-321.
7. Ushenko YA, Koval GD, Ushenko AG, Dubolazov OV, etc. al. Mueller-matrix of laser-induced autofluorescence of polycrystalline films of dried peritoneal fluid in diagnostics of endometriosis. *Journal of Biomedical Optics* 2016, 21 (7), 071116-071116.
8. Angelsky PO, Ushenko AG, Dubolazov AV et. al. The singular approach for processing polarization-inhomogeneous laser images of blood plasma layers. *Journal of Optics* 2013, 15 (4), 044030.
9. Angelsky OV, Ushenko AG, Pishak VP, et. al. Coherent introscopy of phase-inhomogeneous surfaces and layers. *Photonics, Devices, and Systems* 1999, 4016, 413-418.
10. Ushenko AG, Dubolazov AV, Ushenko VA, Novakovskaya. OY Statistical analysis of polarization-inhomogeneous Fourier spectra of laser radiation scattered by human skin in the tasks of differentiation of benign and malignant formations. *Journal of Biomedical Optics* 2016, 21 (7), 071110-071110.
11. Yermolenko S, Ushenko A, Ivashko P et. al. Spectropolarimetry of cancer change of biotissues. *Ninth International Conference on Correlation Optics* 2009, 7388, 404-410.
12. Ushenko VA, Hogan BT, Dubolazov A et.al. Embossed topographic depolarisation maps of biological tissues with different morphological structures. *Scientific Reports* 2021, 11 (1), 3871.
13. Olar EI, Ushenko AG, Ushenko YA. Correlation microstructure of the Jones matrices for multifractal networks of biotissues. *Laser Physics* 2004, 14 (7), 1012-1018.

14. Ushenko A, Sdobnov A, Dubolazov A, Grytsiuk M, Ushenko Y et.al. Stokes-correlometry analysis of biological tissues with polycrystalline structure. *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics* 2018, 25 (1), 1-12.
15. Angelsky OV, Ushenko AG, Zenkova CY, Felde CV, et.al. Optical measurements: polarization and coherence of light fields. INTECH Open Access Publisher, 2012.
16. Pishak VP, Ushenko AG, Gryhoryshyn P, et.al. Polarization structure of biospeckle fields in crosslinked tissues of a human organism: 1. Vector structure of skin biospeckles. *International Conference on Correlation Optics 1997*, 3317, 418-424.
17. Peyvasteh M., Tryfonyuk L., Ushenko V. et al. 3D Mueller-matrix-based azimuthal invariant tomography of polycrystalline structure within benign and malignant soft-tissue tumours. *Laser Physics Letters* (2020). 17 (11):115606.
18. Ushenko V.A., Hogan B.T., Dubolazov A. et al. Embossed topographic depolarisation maps of biological tissues with different morphological structures. *Scientific Reports* (2021). 11 (1): 3871.
19. Zabolotna N.I, Sholota V.V., Maslovskiy V.Iu., Zhumahulova Sh. Nechitki modeli pryiniattia rishennia pry lazernii poliaryzatsiino invariantnii diahnozytsii ishemii miokarda. *Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnolohii*. 2023. №1. S.97-105.
20. Wójcik, W., Pavlov, S., Kalimoldayev, M. (2019). *Information Technology in Medical Diagnostics II*. London: Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book. – 336 Pages, <https://doi.org/10.1201/9780429057618>. eBook ISBN 9780429057618.
21. *Metody i systemy lazernoї poliaryometrii optychnoi anizotropii zhovchi liudyny. T. 2 / Ushenko O.H., Pavlov S.V., Zabolotna N.I. ta in. Vinnytsia: Edelveis, 2019. 337 s.*
22. Perspectives of the application of medical information technologies for assessing the risk of anatomical lesion of the coronary arteries / Pavlov S. V., Mezhiivska I. A., Wójcik W. [et al.]. *Science, Technologies, Innovations*. 2023. №1(25), 44-55 p.
23. Wójcik, W.; Mezhiivska, I.; Pavlov, S.V.; etc. Medical Fuzzy-Expert System for Assessment of the Degree of Anatomical Lesion of Coronary Arteries. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2023, 20, 979.

*Надійшла до редакції 5.03.2024 р.*

**УШЕНКО ЮРІЙ ОЛЕКСАНДОРОВИЧ** – д.ф.м.н., професор, зав. кафедрою комп'ютерних наук Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича, м. Чернівці, Україна, ***e-mail:*** [yu.ushenko@chnu.edu.ua](mailto:yu.ushenko@chnu.edu.ua)

**СКЛЯРЧУК ВАЛЕРІЙ МИХАЙЛОВИЧ** – д.ф.м.н., доцент кафедри оптики і видавничо-поліграфічної справи Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича, м. Чернівці, Україна, ***e-mail:*** [v.sklarchuk@chnu.edu.ua](mailto:v.sklarchuk@chnu.edu.ua)

**ДУБОЛАЗОВ ОЛЕКСАНДР ВОЛОДИМИРОВИЧ** – д.ф.м.н., професор кафедри оптики і видавничо-поліграфічної справи Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича, м. Чернівці, Україна, ***e-mail:*** [o.dubolazov@chnu.edu.ua](mailto:o.dubolazov@chnu.edu.ua)

**СОЛТИС ІРИНА ВАСИЛІВНА** – к.ф.м.н., доцент кафедри оптики і видавничо-поліграфічної справи Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича, м. Чернівці, Україна, ***e-mail:*** [i.soltys@chnu.edu.ua](mailto:i.soltys@chnu.edu.ua)

**ОЛАР ОЛЕКСАНДР ВАЛЕРІУВИЧ** – к.ф.м.н., асистент кафедри оптики і видавничо-поліграфічної справи Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича, м. Чернівці, Україна, ***e-mail:*** [o.olar@chnu.edu.ua](mailto:o.olar@chnu.edu.ua)

**МОТРИЧ АРТЕМ ВОЛОДИМИРОВИЧ** – к.ф.м.н., асистент кафедри оптики і видавничо-поліграфічної справи Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича, м. Чернівці, Україна, ***e-mail:*** [a.motrich@chnu.edu.ua](mailto:a.motrich@chnu.edu.ua)

---

---

## БІОМЕДИЧНІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ ТА ПРИЛАДИ

---

---

**ГОРСЬКИЙ МИХАЙЛО ПЕТРОВИЧ** – к.ф.м.н., доцент кафедри комп’ютерних наук Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича, м. Чернівці, Україна, ***e-mail: m.gorskiy@chnu.edu.ua***

**ЖИТАРІЮК ВІКТОР ГРИГОРОВИЧ** – к.ф.м.н., доцент кафедри оптики і видавничо-поліграфічної справи Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича, м. Чернівці, Україна, ***e-mail: v.zhitariuk@chnu.edu.ua***

Yuriy USHENKO, Valeriy SCKLIARCUK, Olexander DUBOLAZOV, Irina SOLTYS, Olexander OLAR,  
Artem MOTRICH, Mike GORSKIY, Victor ZHITARIUK

### **POLARIZATION-INTERFERENCE LASER DIGITAL COMPLEX OF LARGE SCALING IN THE WOUND REGENERATION DIAGNOSTICS**

Yuriy Fedkovich Chernivtsi National University