

АНОТАЦІЯ

Салега О.В. Поляризаційна корелометрія фазово-неоднорідних об'єктних полів полікристалічних плівок біологічних рідин.

Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія. – Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича МОН України, Чернівці, 2026.

У дисертаційній роботі узагальнено та науково обґрунтовано систему “одноточкових” і “двоточкових” параметрів що характеризують поляризаційні та кореляційні характеристики лазерного випромінювання, що зазнає перетворення в оптично анізотропних біологічних шарах. В подальшому такі шари нами розглядаються, як оптично анізотропні дегідратовані полікристалічні рідини м'якої матерії. Такий підхід забезпечує можливість уніфікованого розгляду широкого спектру нативних гістологічних зрізів біологічних тканин, як систем дегідратованих полікристалічних плівок рідин м'якої матерії. Теоретично обґрунтована модель поляризаційно-кореляційного “двоточкового” Стокс-параметричного описання об'єктних полів зразків дегідратованих плівок біологічних тканин, з різною ієрархією оптично анізотропної архітекτονіки. На основі розробленої моделі експериментально визначена сукупність нових об'єктивних діагностично-актуальних азимутально-інваріантних поляризаційно-кореляційних, вейвлет і мультифрактальних Стокс-параметричних взаємозв'язків між структурними (фібрилярна дерма шкіри і паренхіматозна селезінка) і патологічними (аденома і аденокарцинома простати) змінами і статистичними моментами 1-4-го порядків, що характеризують зміни поляризаційно-інтерференційно відтворених пошарових топографічних розподілів величини модуля і аргумента 4-параметру “двоточкового” вектора Стокса, розподілів амплітуд вейвлет коефіцієнтів на різних масштабах МНАТ функції, а також мультифрактальних спектрів поляризаційно-кореляційних мап протеїнових фібрилярних мереж досліджуваних зразків дегідратованих плівок біологічних

тканин.

Робота пропонує новий системний підхід до вирішення актуальної науково-практичної проблеми фізичних основ лазерної біомедичної візуалізації, що полягає у створенні системи об'єктивних критеріїв, які дозволять здійснювати поляризаційно-кореляційний статистичний моніторинг поляризаційних проявів змін кореляційної, масштабно-селективної (вейвлет) і масштабно-самоподібної (мультифрактальної) узгодженості поляризаційно-кореляційних вектор-параметричних мап морфологічної та молекулярної структури дегідратованих полікристалічних плівок біологічних тканин у визначенні та клінічному застосуванні сукупності об'єктивних маркерів орієнтаційних і фазових змін структури оптично анізотропної архітектоники біологічних препаратів.

У дослідженні використовувалися наступні методи:

1. Багатоканальне Стокс-поляриметричне картографування фазово-неоднорідних об'єктних полів.
2. Багатоканальне Стокс-корелометричне картографування фазово-неоднорідних об'єктних полів.
3. Вейвлет розклад мапи модуля і аргумента “двоточкових” параметрів вектора Стокса та обчислення статистичних моментів 1-го – 2-го порядку, що характеризують розподіли величини амплітуд вейвлет-коефіцієнтів з різними масштабами скануючої МНАТ функції.
4. Визначення скелетону максимумів модуля амплітуд вейвлет-коефіцієнтів і обчислення мультифрактальних спектрів мапи модуля і аргумента “двоточкових” параметрів вектора Стокса об'єктного поля біологічних тканин.
5. Розрахунок статистичних моментів 1-го – 4-го порядку, що характеризують розподіли парціальних фрактальних розмірностей поляризаційно-кореляційних мап модуля і аргумента “двоточкових” параметрів вектора Стокса об'єктного поля біологічних тканин.
6. Поляризаційно-інтерференційне пошарове картографування об'єктних полів.

7. Цифрове 2D Фур'є алгоритмічне відтворення і покрокове фазове сканування розподілу комплексних амплітуд об'єктного поля біологічних тканин.

8. Вейвлет розклад модуля і аргумента пошарових мап “двоточкових” параметрів вектора Стокса та обчислення статистичних моментів 1-го – 2-го порядку, які характеризують розподіли величини амплітуд вейвлет-коефіцієнтів з різними масштабами скануючої МНАТ функції.

9. Визначення скелетону максимумів модуля амплітуд вейвлет-коефіцієнтів і обчислення мультифрактальних спектрів фазових пошарових мап модуля і аргумента “двоточкових” параметрів вектора Стокса об'єктного поля біологічних тканин.

Проведено поляризаційно-інтерференційне пошарове картографування (за допомогою накладання опорної хвилі) мап четвертого параметру поляризаційно-кореляційного вектора мікроскопічних зображень набору дегідратованих плівок біологічних тканин які відрізняються архітектонікою оптично анізотропної полікристалічної компоненти.

Використовуючи цифрову голографічну пошарову реконструкцію координатного розподілу комплексної амплітуди об'єктного поля алгоритмічно одержані мапи випадкових значень величини модуля четвертого параметру поляризаційно-кореляційного вектора мікроскопічних зображень зразків фібрилярних (дерма шкіри) і паренхіматозних (селезінка) дегідратованих плівок біологічних тканин.

Установлено всі алгоритмічно відтворенні пошарові поляризаційно-кореляційні мапи модуля четвертого параметру $|S_4^{12}|(m \times n)$ двоточкового вектора Стокса мікроскопічного зображення зразків дерми шкіри та селезінки є координатно і топографічно неоднорідними.

Шляхом статистичного аналізу алгоритмічно відтворених координатних розподілів випадкових значень величини модуля четвертого параметру поляризаційно-кореляційного вектора мікроскопічних зображень зразків фібрилярних (дерма шкіри) і паренхіматозних (селезінка) дегідратованих плівок біологічних тканин виявлено:

- Значення всіх статистичних моментів 1-го – 4-го порядку, що описують координатні розподіли величини модуля $SK_{1,2}(m \times n)$ мікроскопічного зображення полікристалічних плівок дерми шкіри відмінні від нуля.

- Величини статистичних моментів вищих порядків, що описують асиметрію та ексцес розподілів величини модуля $|SK_{1,2}|(m \times n)$ мікроскопічного зображення зразків дерми шкіри і селезінки, значно більші у порівнянні із значеннями середнього і дисперсії таких розподілів - $Z_{3;4}(|SK_{1,2}|) \gg Z_{1;2}(|SK_{1,2}|)$.

Шляхом накладання двох векторних хвиль і цифрового голографічного відтворення координатних розподілів випадкових значень аргумента четвертого параметру поляризаційно-кореляційного вектора мікроскопічних зображень зразків багатошарових фібрилярних і паренхіматозних полікристалічних плівок біологічних тканин виявлено:

- Гістограми розподілів величини аргументу четвертого кореляційного параметру $Arg(S_4^{12})(m \times n)$ двоточкового вектора Стокса є асиметричними відносно головного екстремума (локалізація екстремумів у різних фазових площинах припадає на діапазон від $\pi/5$ до $\pi/4$) і характеризуються достатньо широким діапазоном зміни випадкових значень $0 \leq Arg(S_4^{12}) \leq \pi$.

Шляхом статистичного аналізу алгоритмічно відтворених координатних розподілів випадкових значень величини аргумента четвертого параметру поляризаційно-кореляційного вектора мікроскопічних зображень зразків фібрилярних (дерма шкіри) і паренхіматозних (селезінка) багатошарових анізотропних полікристалічних плівок біологічних тканин встановлено:

- По мірі зменшення (\downarrow) величини фазового сканування (μ_k) алгоритмічно відтвореного розподілу комплексних амплітуд когерентного об'єктного поля зразків дерми шкіри та селезінки має місце наступний сценарій зміни статистичних параметрів - $Z_{3;4}(Arg(S_4^{12})) \uparrow$ і $Z_{1;2}(Arg(S_4^{12})) \downarrow$.

Масштабно селективний вейвлет і мультифрактальний аналіз поляризаційно-кореляційних мап модуля $|SK_4^{12}|(m \times n)$ мікроскопічних

зображень дегідратованих плівок біологічних тканин з фібрилярною (дерма шкіри) і паренхіматозною (селезінка) архітектонікою полікристалічної складової виявили:

- наявність у всіх фазових перерізах μ_k розвиненого скелетону двомірних мап вейвлет коефіцієнтів – неперервних у межах різних масштабів солетоноподібної МНАТ функції ліній екстремумів амплітуд вейвлет-коефіцієнтів поляризаційно-кореляційної мапи $|SK_4^{12}|(m \times n)$ сукупності векторних хвиль розсіянного когерентного поля;

Статистичний аналіз поляризаційно-кореляційних мап модуля $|SK_4^{12}|(m \times n)$ четвертого параметру двоточкового вектора Стокса мікроскопічних зображень дегідратованих плівок біологічних тканин з фібрилярною (дерма шкіри) і паренхіматозною (селезінка) архітектонікою полікристалічної складової виявив:

- перевагу величини статистичних моментів вищих порядків, що описують асиметрію $Z_{i=3}$ та ексцес $Z_{i=4}$ розподілів $F(h)$ парціальних фрактальних розмірностей h_i поляризаційно-кореляційних мап $|SK_4^{12}|(m \times n)$ у всіх фазових перерізах мікроскопічних зображень дегідратованих плівок біологічних тканин у порівнянні з величинами статистичних моментів 1-го і 2-го порядків - $Z_{i=3,4} \gg Z_{i=1,2}$.

Масштабно селективний вейвлет і мультифрактальний аналіз поляризаційно-кореляційних мап аргумента $Arg(S_4^{12})(m \times n)$ четвертого параметру двоточкового вектора Стокса мікроскопічних зображень дегідратованих плівок біологічних тканин з різними фізико-хімічними властивостями - фібрилярною (дерма шкіри) і паренхіматозною (селезінка) архітектонікою полікристалічної складової продемонстрували:

- послідовне (зі зменшенням величини параметру фазового сканування μ_k) звуження діапазону зміни власних значень величин парціальних фрактальних розмірностей h_i мультифрактальних спектрів $F(h)$ поляризаційно-кореляційних мап $Arg(S_4^{12})(m \times n)$ відносно локалізації головного екстремума (основної фрактальної розмірності).

Статистичний аналіз поляризаційно-кореляційних мап аргумента $Arg(S_4^{12})(m \times n)$ четвертого параметру двоточкового вектора Стокса мікроскопічних зображень оптичної анізотропії дегідратованих плівок біологічних тканин з фібрилярною (дерма шкіри) і паренхіматозною (селезінка) архітектонікою полікристалічної складової виявив:

- послідовне збільшення (зі зменшенням величини параметру фазового сканування μ_k) переваги величини статистичних моментів вищих порядків, що описують асиметрію $Z_{i=3}$ та ексцес $Z_{i=4}$ розподілів $F(h)$ парціальних фрактальних розмірностей h_i поляризаційно-кореляційної мапи $Arg(S_4^{12})(m \times n)$ мікроскопічних зображень дегідратованих плівок біологічних тканин у порівнянні з величинами статистичних моментів 1-го і 2-го порядків - $Z_{i=3;4} \gg Z_{i=1;2}$.

Систематизовані і фізично проаналізовані результати діагностичного застосування методів поляризаційно-кореляційного картографування мікроскопічних зображень полікристалічної складової біологічних тканин для диференціальної діагностики доброякісних (аденома) і злоякісних (аденокарцинома) пухлин простати.

Для мікроскопічних зображень зразків біопсії аденоми і аденокарциноми алгоритмічно відтворення інтегральні та пошарові мапи і гістограми розподілів:

- модуля четвертого параметру $|SK_4^{12}|$ поляризаційно-кореляційного вектора;
- аргумента четвертого параметру $Arg(S_4^{12})$ поляризаційно-кореляційного вектора;
- вейвлет-коефіцієнтів поляризаційно-кореляційних мап $|SK_4^{12}|(m \times n)$ і $Arg(S_4^{12})(m \times n)$;
- мультифрактальних спектрів поляризаційно-кореляційних мап $|SK_4^{12}|(m \times n)$ і $Arg(S_4^{12})(m \times n)$.

Визначені та фізично проаналізовані (шляхом порівняння з методами на основі матриці Мюллера і матриці Джонса) діагностично актуальні взаємозв'язки

між статистичними параметрами поляризаційно-кореляційних мап $|SK_4^{12}|(m \times n)$ і $Arg(S_4^{12})(m \times n)$ і патологічними станами пухлин простати.

Ключові слова: діагностика, поляризація, інтерференція, когерентність, кореляційна оптика, розсіяння світла, поляриметрія, анізотропія, голографія, накладання двох хвиль, матриця Джонса, матриця Мюллера, біологічні кристали, опорна хвиля, векторні хвилі.

ABSTRACT

O. Saleha. Polarization correlometry of phase inhomogeneous object fields of polycrystalline films of biological fluids.

Thesis on search for the Doctor of Philosophy degree in specialty 104 – Physics and Astronomy. – Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Chernivtsi, 2026.

A set of “single-point” and “two-point” polarization and correlation parameters of laser radiation fields transformed by optically anisotropic biological layers has been generalized and substantiated. In the following, we consider such layers as optically anisotropic dehydrated polycrystalline soft matter fluids. This approach provides the possibility of a unified consideration of a wide range of native histological sections of biological tissues as systems of dehydrated polycrystalline films of soft matter fluids. A theoretically substantiated model of the polarization-correlation “two-point” Stokes-parameter description of object fields of dehydrated films of biological tissues with different hierarchies of optically anisotropic architectonics has been developed. Based on the proposed model, a set of new objective diagnostically relevant azimuth-invariant polarization-correlation, wavelet, and multifractal Stokes-parameter interrelations between structural (skin dermal fibrillar tissue and parenchymal spleen tissue) and pathological (prostate adenoma and adenocarcinoma) changes and the statistical moments of the 1st–4th orders has been experimentally determined. These moments characterize changes in polarization-interference reconstructed layer-by-layer topographic distributions of the magnitude and argument of the 4th parameter of the “two-point” Stokes vector, distributions of wavelet coefficient amplitudes at different scales of the

MHAT function, as well as multifractal spectra of polarization-correlation maps of protein fibrillar networks in dehydrated films of the studied biological tissue samples.

The dissertation presents a new and systematic approach to solving an important scientific and practical problem concerning the physical foundations of laser biomedical imaging through the development of a comprehensive system of objective criteria for polarization-correlation statistical monitoring of polarization manifestations of changes in correlation, scale-selective (wavelet), and scale-self-similar (multifractal) coherence of polarization-correlation vector-parameter maps of morphological and molecular structures of biological tissues. This enables the determination and clinical application of objective markers of orientational and phase changes in the structure of optically anisotropic architectonics of biological specimens.

The following methods were used in the study:

1. Multichannel Stokes polarimetric mapping of phase-inhomogeneous object fields.
2. Multichannel Stokes correlometric mapping of phase-inhomogeneous object fields.
3. Wavelet decomposition of the magnitude and argument maps of the “two-point” Stokes vector parameters and calculation of the 1st–2nd order statistical moments characterizing the distribution of wavelet coefficient amplitudes at different scales of the scanning MHAT function.
4. Determination of the skeleton of maxima of wavelet coefficient amplitudes and calculation of multifractal spectra of the magnitude and argument maps of the “two-point” Stokes vector parameters of the biological tissue object field.
5. Calculation of 1st–4th order statistical moments characterizing the distributions of partial fractal dimensions of polarization-correlation maps of the magnitude and argument of the “two-point” Stokes vector parameters of biological tissue object fields.
6. Polarization-interference layer-by-layer mapping of object fields.
7. Digital 2D Fourier algorithmic reconstruction and stepwise phase scanning of complex amplitude distributions of the biological tissue object field.

8. Wavelet decomposition of the magnitude and argument of layer-by-layer maps of the “two-point” Stokes vector parameters and calculation of 1st–2nd order statistical moments characterizing the distributions of wavelet coefficient amplitudes at different scales of the scanning MHAT function.

9. Determination of the skeleton of maxima of wavelet coefficient amplitudes and calculation of multifractal spectra of phase layer-by-layer maps of the magnitude and argument of the “two-point” Stokes vector parameters of biological tissue object fields.

Polarization-interference (using a reference wave) layer-by-layer mapping of the fourth parameter maps of the polarization-correlation vector of microscopic images of dehydrated films of biological tissues with different architectonics of the optically anisotropic polycrystalline component was performed.

By digital holographic layer-by-layer reconstruction of coordinate distributions of complex amplitudes of the object field maps of random values of the magnitude of the fourth parameter of the polarization-correlation vector of microscopic images of dehydrated films of fibrillar (skin dermis) and parenchymal (spleen) biological tissues were algorithmically obtained.

All algorithmically reconstructed layer-by-layer polarization-correlation maps of the magnitude of the fourth parameter $|S_4^{12}|(m \times n)$ of the two-point Stokes vector of microscopic images of dehydrated films of dermis and spleen were found to be coordinate- and topographically inhomogeneous.

Statistical analysis of reconstructed coordinate distributions of random values of the magnitude of the fourth parameter of the polarization-correlation vector of microscopic images of dehydrated films of fibrillar (skin dermis) and parenchymal (spleen) tissues revealed:

- The values of all statistical moments of the 1st–4th orders characterizing coordinate distributions of the magnitude $SK_{1,2}(m \times n)$ of microscopic images of dermal dehydrated films differ from zero.
- Higher-order statistical moments characterizing asymmetry and kurtosis of magnitude distributions $|SK_{1,2}|(m \times n)$ of the microscopic image of skin dermis and

spleen samples are significantly greater than the mean and variance values:
 $Z_{3;4}(|SK_{1,2}|) \gg Z_{1;2}(|SK_{1,2}|)$.

Mixing of two vector waves and subsequent digital holographic reconstruction of coordinate distributions of random values of the argument of the fourth parameter of the polarization-correlation vector of microscopic images of dehydrated films of multilayer fibrillar and parenchymal polycrystalline films of biological tissues revealed:

- Histograms of distributions of the argument of of the fourth correlational parameter of the two point Stokes vector $Arg(S_4^{12})(m \times n)$ are asymmetric relative to the main extremum (localized within $\pi/5$ to $\pi/4$ in different phase planes) and characterized by a wide variation range $0 \leq Arg(S_4^{12}) \leq \pi$.

By means of statistical analysis of algorithmically reconstructed coordinate distributions of random values of the argument of the fourth parameter of the polarization-correlation vector of microscopic images of samples of fibrillar (skin dermis) and parenchymatous (spleen) multilayer anisotropic polycrystalline films of biological tissues, it was established that:

- As the value of phase scanning (μ_k) decreases (\downarrow), the algorithmically reconstructed distribution of complex amplitudes of the coherent object field of the skin dermis and spleen samples exhibits the following scenario of changes in statistical parameters - $Z_{3;4}(Arg(S_4^{12})) \uparrow$ i $Z_{1;2}(Arg(S_4^{12})) \downarrow$.

Scale-selective wavelet and multifractal analysis of the polarization-correlation maps of the modulus $|SK_4^{12}|(m \times n)$ of microscopic images of dehydrated films of biological tissues with fibrillar (skin dermis) and parenchymatous (spleen) architectonics of the polycrystalline component revealed:

- The presence, in all phase sections μ_k , of a well-developed skeleton of two-dimensional maps of wavelet coefficients — continuous across different scales of the soliton-like MHAT function — forming lines of extrema of the amplitudes of the wavelet coefficients of the polarization-correlation map $|SK_4^{12}|(m \times n)$ of the vector waves of scattered coherent field.

Statistical analysis of the polarization-correlation maps of the modulus $|SK_4^{12}|(m \times n)$ of the fourth parameter of the two-point Stokes vector of microscopic images of dehydrated films of biological tissues with fibrillar (skin dermis) and parenchymatous (spleen) architectonics of the polycrystalline component revealed:

- The predominance of higher-order statistical moments, which characterize the asymmetry $Z_{i=3}$ and kurtosis $Z_{i=4}$ of the distributions $F(h)$ of the partial fractal dimensions h_i of the polarization-correlation maps $|SK_4^{12}|(m \times n)$ in all phase sections of microscopic images of dehydrated films of biological tissues, compared with the values of the first- and second-order statistical moments - $Z_{i=3,4} \gg Z_{i=1,2}$.

Scale-selective wavelet and multifractal analysis of the polarization-correlation maps of the argument $Arg(S_4^{12})(m \times n)$ of the fourth parameter of the two-point Stokes vector of microscopic images of dehydrated films of biological tissues with various physic-chemical properties of fibrillar (skin dermis) and parenchymatous (spleen) architectonics of the polycrystalline component demonstrated:

- A consistent (with decreasing value of the phase scanning parameter μ_k) narrowing of the range of variation of the eigenvalues of the partial fractal dimensions h_i of the multifractal spectra $F(h)$ of the polarization-correlation maps $Arg(S_4^{12})(m \times n)$, relative to the localization of the main extremum (the principal fractal dimension).

Statistical analysis of the polarization-correlation maps of the argument $Arg(S_4^{12})(m \times n)$ of the fourth parameter of the two-point Stokes vector of microscopic images of optically anisotropic dehydrated films of biological tissues with fibrillar (skin dermis) and parenchymatous (spleen) architectonics of the polycrystalline component revealed:

- A consistent increase (with decreasing value of the phase scanning parameter μ_k) in the predominance of higher-order statistical moments characterizing the asymmetry $Z_{i=3}$ and kurtosis $Z_{i=4}$ of the distributions $F(h)$ of the partial fractal dimensions h_i of the polarization-correlation map $Arg(S_4^{12})(m \times n)$ of microscopic images of dehydrated films of biological tissues, compared with the values of the first- and second-order statistical moments - $Z_{i=3,4} \gg Z_{i=1,2}$.

The results of diagnostic application of polarization-correlation mapping methods for microscopic images of the polycrystalline component of biological tissues were systematized and physically analyzed for differential diagnosis of benign (adenoma) and malignant (adenocarcinoma) prostate tumors.

For biopsy samples of adenoma and adenocarcinoma, integral and layer-by-layer maps and histograms of distributions were algorithmically reconstructed for:

- The magnitude of the fourth parameter $|SK_4^{12}|$ of the polarization-correlation vector;
- The argument of the fourth parameter $Arg(S_4^{12})$;
- Wavelet coefficients of polarization-correlation maps $|SK_4^{12}|(m \times n)$ and $Arg(S_4^{12})(m \times n)$;
- Multifractal spectra of polarization-correlation maps $|SK_4^{12}|(m \times n)$ and $Arg(S_4^{12})(m \times n)$.

Diagnostically relevant relationships between statistical parameters of polarization-correlation maps $|SK_4^{12}|(m \times n)$ and $Arg(S_4^{12})(m \times n)$ and pathological states of prostate tumors were identified and physically analyzed. A comparison is given with methods based on the Muller matrix and the Jones matrix

Keywords: diagnostics, polarization, interference, coherence, correlation optics, light scattering, polarimetry, anisotropy, holography, two-wave mixing, Jones matrix, Mueller matrix, biological crystals, reference wave, vector waves.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Наукові праці у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у наукометричній базі даних Scopus:

1. Soltys I., Olar A., Pavlyukovich N., Kurek Y., **Salega A.**, Struk Y., Vanchulyak O., Oliynyk I., Drin I. The diagnostic capabilities of polarization-correlation analysis of scattered light in biological tissues to differentiate between benign and malignant tumors. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. 2024. Vol.

12938. P. 251–254. DOI: [10.1117/12.3014204](https://doi.org/10.1117/12.3014204) (Внесок авторів: Салега О.: обчислення статистичних параметрів поляризаційно-кореляційних мап, аналіз результатів, написання статті; Солтис І., Олар О., Курек Ю., Струк Ю., Ванчуляк О., Дрінь І.: проведення експерименту та розрахунків, аналіз та обговорення результатів; Павлюкович Н., Олійник І.: інтерпретація результатів)

2. Diachenko L., Vatamanitsa E., Ushenko O., **Salega O.**, Litvinenko O., Hu Z. Algorithms for polarization-singular processing of Mueller-matrix images of soft tissues for biomedical applications. *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing*. 2024. Vol. 16. No. 1. P. 14–24. DOI: [10.5815/ijigsp.2024.01.02](https://doi.org/10.5815/ijigsp.2024.01.02) (Внесок авторів: Салега О.: проведення експерименту, редагування статті, обговорення результатів; Ушенко О.: Загальне управління проектом, аналіз та обговорення результатів, написання статті; Дяченко Л., Ватаманіца Е., Ху З.: математична обробка отриманих результатів, аналіз та обговорення результатів, Литвиненко О.: підготовка зразків, інтерпретація результатів)

3. Ushenko O., **Saleha O.**, Ushenko Y., Gordey I., Litvinenko O. Multifractal scaling of singularity spectra of digital Mueller-matrix images of biological tissues: fundamental and applied aspects. *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing*. 2024. Vol. 16. No. 2. P. 29–45. DOI: [10.5815/ijigsp.2024.02.03](https://doi.org/10.5815/ijigsp.2024.02.03) (Внесок авторів: Салега О.: проведення експерименту, редагування статті, обговорення результатів; Ушенко О.: формулювання наукової концепції, менторство, аналіз та обговорення результатів, написання статті; Ушенко Ю.: проведення експерименту та розрахунків, аналіз та обговорення результатів; Гордей І., Литвиненко О.: Підготовка гістологічних зрізів, обговорення результатів)

4. Kozan N., **Saleha O.**, Dubolazov O., Ushenko Y., Soltys I., Ushenko O., Olar O., Paliy V., Smailova S. Polarization-correlation mapping of microscopic images of biological tissues of different morphological structure. *Informatyka Automatyka Pomiaru w Gospodarce i Ochronie Środowiska*. 2024. Vol. 14. No. 3. P. 86–90. DOI: [10.35784/iapgos.6141](https://doi.org/10.35784/iapgos.6141) (Внесок авторів: Салега О.: обчислення статистичних параметрів поляризаційно-кореляційних мап, аналіз результатів; Ушенко О., Дуболазов О., Ушенко Ю.: формулювання наукової концепції, аналіз та обговорення

результатів, написання статті; Солтис І., Олар О.: проведення експериментальних вимірювань, первинна обробка даних; Козан Н., Палій В., Смайлова С.: інтерпретація, аналіз та обговорення результатів)

5. Ushenko O., Litvinenko O., Ushenko Y., Tomka Y., Motrich A., Dubolazov A., Soltys I., Olar O., Mikirin I., Skliarchuk V., Kurek E., **Saleha O.**, Homolinskyi V, Zheng J, Dzierzak R, Tlebaldinova A. Polarization mapping of optical anisotropy architectonics laser induced images in monitoring biological tissue necrosis. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. 2024. Vol. 13400. 1340005. DOI: [10.1117/12.3054866](https://doi.org/10.1117/12.3054866) (Внесок авторів: Салега О.: обчислення статистичних параметрів мікроскопічних зображень, аналіз результатів, написання статті; Ушенко О.: менторство, аналіз та обговорення результатів, написання статті; Литвиненко О., Ушенко Ю., Томка Ю., Мотрич А., Дуболазов О., Солтис І. Олар О., Мікірін І., Склярчук В. Курек Є., Гомолінський В., Женг Ж., Дзіржак Р., Тлебалдінова А.: проведення експерименту та розрахунків, аналіз та обговорення результатів)

6. Ushenko A., Zheng J., Litvinenko A., Gorsky M., Wanchuliak O., Dubolazov A., Ushenko Y., Soltys I., **Salega O.**, Chen Z. 3D digital polarization-holographic wavelet histology in determining the duration of mechanical damage to the myocardium. *Journal of Biophotonics*. 2024. Vol. 17. No. 3. e202300372. DOI: [10.1002/jbio.202300372](https://doi.org/10.1002/jbio.202300372) (Scopus, Q2 – <https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=16400154786&tip=sid&clean=0>) (Внесок авторів: Салега О.: проведення експерименту, редагування статті, обговорення результатів; Ушенко О., Литвиненко О., Ванчуляк О.: формулювання теорії, менторство, аналіз та обговорення результатів, написання статті; Горський М., Дуболазов О., Ушенко Ю., Солтис І.: проведення експерименту та розрахунків, аналіз та обговорення результатів; Женг Ж., Чен З.: інтерпретація результатів написання статті)

7. Ushenko O., Ushenko Y., Litvinenko O., **Salega O.**, Gorsky M., Dubolazov O., Gantyuk V., Nykyforova L., Kovtoniuk M., Klimek J., Kalizhanova A., Kozbakova A. 3D polarization-interference metrology of polycrystalline structure of self-assembled polycrystalline soft matter films. *Proceedings of SPIE - The International Society for*

Optical Engineering. 2023. Vol. 12985. 129850M. DOI: [10.1117/12.3023044](https://doi.org/10.1117/12.3023044) (Внесок авторів: Салега О.: обчислення статистичних параметрів координатних розподілів інтенсивності, аналіз результатів, написання статті; Ушенко О.: менторство, аналіз та обговорення результатів, написання статті; Литвиненко О., Гнатюк В., Никифорова Л., Ковтонюк М. Климек Я. Каліжанова А., Козбакова А.: Підготовка гістологічних зрізів, інтерпретація отриманих даних, обговорення результатів; Ушенко Ю., Горський М., Дуболазов О.: Розробка методології дослідження, проведення експерименту)

8. Ushenko Y., Ushenko A., Dubolazov A., Gorsky M., Soltys I., Litvinenko O., Bachinsky V., Mikirin I., **Salega O.**, Garasim I., Zheng J., Bin L. Phase waves of local depolarization in biological tissues object speckle fields: fundamental and applied aspects. *Journal of Innovative Optical Health Sciences*. 2025. Vol. 18. No. 5. DOI: [10.1142/s1793545825500099](https://doi.org/10.1142/s1793545825500099) (Scopus, Q3 – <https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=19900192592&tip=sid&clean=0>) (Внесок авторів: Салега О.: проведення експерименту, редагування статті, обговорення результатів; Ушенко О.: менторство, аналіз та обговорення результатів, написання статті; Ушенко Ю. Дуболазов О., Горський М., Солтис І., Литвиненко О., Бачинський В., Мікірін І., Гарасим І., Жєнг Ж., Бін Л.: проведення експерименту та розрахунків, аналіз та обговорення результатів)

9. Ushenko A., Dubolazov A., Zheng J., Litvinenko A., Gorsky M., Ushenko Y., Soltys I., **Salega O.**, Chen Z., Wanchuliak O. 3D polarization-interference holographic histology for wavelet-based differentiation of the polycrystalline component of biological tissues with different necrotic states: forensic applications. *Journal of Biomedical Optics*. 2024. Vol. 29. No. 5. 052920. DOI: [10.1117/1.JBO.29.5.052920](https://doi.org/10.1117/1.JBO.29.5.052920) (Scopus, Q2 – <https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=12156&tip=sid&clean=0>) (Внесок авторів: Салега О.: проведення експерименту, редагування статті, обговорення результатів; Ушенко О., Литвиненко О.: менторство, аналіз та обговорення результатів, написання статті; Дуболазов О., Ушенко Ю.: розробка методології експерименту, Жєнг Ж., Горський М., Солтис І., Чєн З.: проведення експерименту)

та розрахунків, аналіз та обговорення результатів, Ванчуляк О.: підготовка матеріалів інтерпретація результатів)

10. Ushenko A., Pavlyukovich O., Khukhlina O., Pavlyukovich O., Gorsky M., Soltys I., Dubolazov A., Ushenko Y., **Salega O.**, Mikirin I., Zheng J., Chen Z., Bin L. Layer-by-Layer Multifractal Scanning of Optically Anisotropic Architectonics of Blood Plasma Films: Fundamental and Applied Aspects. *Photonics*. 2025. Vol. 12. No. 3. 215. DOI: [10.3390/photonics12030215](https://doi.org/10.3390/photonics12030215) (Scopus, Q2 – <https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=21100833027&tip=sid&clean=0>) (Внесок авторів: Салега О.: проведення експерименту, редагування статті, обговорення результатів; Ушенко О.: менторство, аналіз та обговорення результатів, написання статті; Павлюкович Н., Хухліна О., Павлюкович О., Горський М., Солитс І., Дуболазов О., Ушенко Ю., Мікірін І., Женг Ж., Чен З., Бін Л.: проведення експерименту та розрахунків, аналіз та обговорення результатів)

11. Ushenko Y., Ushenko A., Dubolazov A., Soltys I., Litvinenko O., Wanchuliak O., Sarkisova Y., Mikirin I., **Salega O.**, Zheng J. Mueller-matrix interferometric multifractal scaling of optically anisotropic architectonics of diffuse blood facies: fundamental and applied aspects. *Journal of Biophotonics*. 2025. Vol. 18. No. 3. e202400412. DOI: [10.1002/jbio.202400412](https://doi.org/10.1002/jbio.202400412) (Scopus, Q2 – <https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=16400154786&tip=sid&clean=0>) (Внесок авторів: Салега О.: проведення експерименту, редагування статті, обговорення результатів; Ушенко О.: менторство, аналіз та обговорення результатів, написання статті; Ушенко Ю., Дуболазов О., Солитс І., Литвіненко О., Ванчуляк О., Саркісова Ю., Мікірін І., Женг Ж.: проведення експерименту та розрахунків, аналіз та обговорення результатів)

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

12. Ushenko O., Litvinenko O., Zheng J., Bin L., **Salega O.**, Kyfyak V., Vinnychuk O. 3D digital wavelet histology in determining the duration of mechanical damage to the brain: biomedical and economic aspects. *Proceedings of SPIE - The International Society*

for Optical Engineering – Seventeenth International Conference on Correlation Optics.
2025. Vol. 13813. 138133K. DOI: [10.1117/12.3093503](https://doi.org/10.1117/12.3093503) (Scopus)

(Внесок авторів: Салега О.: проведення розрахунків, редагування статті, обговорення результатів; Ушенко О.: менторство, аналіз та обговорення результатів, написання статті; Литвиненко О., Женг Ж., Бін Л.: проведення експерименту та розрахунків, аналіз та обговорення результатів; Вінничук О., Кифяк В.: робота над економічною складовою статті)

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

13. Ushenko Y. A., Bachinsky V. T., Bezhenar I. L., Vanchulyak O. Y., Litvinenko O. Y., Soltys I. V., **Salega O.**, Ushenko A. G., Shylan K. V. Determination of the Lifetime and Post-mortal Nature and Temporal Dynamics of the Formation of Skin Abrasions. Singapore: *SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology*, 2023. P. 27-42. DOI: [10.1007/978-981-99-1734-1_3](https://doi.org/10.1007/978-981-99-1734-1_3) (Scopus) (Внесок авторів: Салега О.: обчислення статистичних параметрів координатних розподілів інтенсивності, аналіз результатів, написання статті; Ушенко О., Литвиненко О.: розробка методології дослідження, менторство, аналіз та обговорення результатів, написання статті; Бачинський В., Беженар І., Ванчуляк О., Шилан К.: Підготовка гістологічних зрізів, інтерпретація результатів; Ушенко Ю., Солтис І.: Проведення експерименту, первинна обробка даних)