

М. Ю. Криворучко¹, С. М. Неїленко², В. С. Михайлик¹

¹Державний торговельно-економічний університет, ²Київський національний університет культури і мистецтв

ІНТЕГРОВАНІ ПІДХОДИ ДО РОЗВИТКУ СТАЛОЇ ІНЖЕНЕРІЇ: ВЗАЄМОДІЯ ТЕХНОЛОГІЙ, ЕКОНОМІКИ ТА ЕКОЛОГІЇ

Розглянуто принципи формування інтегрованого підходу детектування, аналізу та відтворення багатопараметричної оптичної інформації інженерними системами для задач контролю і моніторингу стану екологічного довкілля та пов'язаного з цим економічного зростання. Представлено структурно-логічні схеми дизайну та архітектури фотометричної, поляризаційної та лазерної інженерних систем детектування та аналізу оптичних зображень.

Ключові слова: зелені технології, економічна стійкість, екологічні інновації, циркулярна економіка, системний інженерний аналіз.

M. Kryvoruchko, S. Neilenko, V. Mihailik

INTEGRATED APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF SUSTAINABLE ENGINEERING: INTERACTION OF TECHNOLOGY, ECONOMY AND ECOLOGY

The principles of the formation of an integrated approach of detection, analysis and reproduction of multi-parameter optical information by engineering systems for the tasks of control and monitoring of the state of the ecological environment and related economic growth are considered. The review of information flows that a person "consumes" is presented - digital, audio, text, graphic, advertising and other video information. It was established that among all this variety of information flows that form engineering systems, there is one objectively relevant and most widespread - optical information in the form of images. Structural and logical schemes of design and architecture of photometric, polarization and laser engineering systems for detection and analysis of optical images are presented. An example of interdisciplinary integrated engineering (polarization-optical) differential diagnostics relevant for the fields of ecology and economy is given - blood polycrystalline films of healthy donors and patients with papillary thyroid cancer. The results and illustrations of a comparative analysis of medical information processing of optical traditional microscopic images of polycrystalline blood films of biological tissues of the thyroid gland and polarization maps, which are obtained using new technology for mapping azimuths and ellipticities, are presented. New information capabilities of digital analysis of polarization maps in the diagnosis of thyroid cancer have been demonstrated. It has been shown that intensity distribution histograms of traditional microscopic images cannot be used as diagnostic parameters. On the contrary, statistical characteristics polarization maps of polycrystalline blood films significantly depend on the patient's health status and can be used as diagnostic markers. It is noted that modern laser engineering technologies are promising in the tasks of improving image quality by eliminating the diffuse background.

Key words: green technologies, economic sustainability, ecological innovation, circular economy, system engineering analysis.

1. ВСТУП

Інженерія, її системи, методи і засоби за останні роки набули не тільки інтенсивного розвитку, але й якісної інноваційної трансформації. Підґрунтям цього стали інформаційні зміни, які міцно увійшли у всі сфери сучасного розвитку людства – різноманітні зелені технології, економічна стійкість, екологічні інновації, циркулярна економіка, системний інженерний аналіз [1, 8].

Головним вектором “зеленого” інноваційного напрямку розвитку людства є розроблення різноманітних технологічних та інженерних взаємодій з оточуючим середовищем без нанесення йому шкоди. З цією метою розвиваються новітні підходи до циркулярних або безвідходних процесів. Вони є базисом формування екологічно чистих, ресурсно відновлюваних без шкідливих викидів і забруднень не тільки виробничих, але й моніторингових екологічних, включаючи медичні, процесів. Реалізація таких завдань “планетарного” масштабу об’єктивно потребує інновацій у самих різноманітних галузях виробничої та інтелектуальної діяльності людства.

Характерною і новою рисою таких процесів стала глобалізація або інтегроване взаємопроникнення. Спільною платформою таких процесів є формування загальних для всіх сфер діяльності людства принципів сталої інженерії – починаючи від технологічних галузей і продовжуючи до економічних та екологічних. Виходячи з цього, актуальним є пошук і аналіз низки узагальнюючих, інтегрованих підходів до визначення та реалізації широкого спектру принципів сталої інженерії.

Одним з таких принципів є інформаційний підхід, який забезпечує одержання за допомогою інженерних засобів і систем детектування максимального об'єму інформаційних даних про оточуюче нас технологічне, природне, соціальне та економічне середовище.

Існує ряд інформаційних потоків, які “споживає” людина. До них відноситься цифрова, аудіо, текстова, графічна, рекламна та інша відео інформація. Серед усього цього різноманіття інформаційних потоків, які формують інженерні системи, є один об'єктивно актуальний і найбільш поширений. Мова йде про оптичну інформацію, яка є для людини, як головного споживача інформаційних потоків і розробника інженерних засобів, основним біологічним джерелом даних про оточуюче середовище. Така інформація сприймається нами у вигляді різноманітних аналогових і цифрових зображень – починаючи від традиційних двовимірних чорно-білих, кольорових графічних і до тривимірних голографічних [2, 12-14] у комп'ютерному просторі приєднаної реальності. Перелічені зображення несуть інформацію для діяльності людини у самих різноманітних сферах діяльності – від природничої до економічної.

Першим рівнем сприйняття такої інформації в усіх галузях діяльності людства є емоційна оцінка. На основі цього реалізується другий рівень аналізу одержаної інформації з кінцевою метою вироблення критеріїв оцінки тих чи інших процесів. Нарешті, третім етапом є формування управлінських рішень з метою формування зворотних зв'язків для впливу або розв'язання конкретних проблем і завдань.

Разом з тим емоційна оцінка являє собою досить суб'єктивний і неоднозначний метод аналізу і залежить від багатьох факторів. У результаті виникає потреба у формуванні та реалізації нових підходів до оцінювання відео і оптичних інформаційних потоків. Одним з варіантів об'єктивізації такого завдання є створення інтегрованих інженерних систем для детектування, відтворення та аналізу такої інформації. Одержані при цьому результати знайдуть своє місце у широкому спектрі технологій, які спрямовані на покращення екології довкілля, а також в оптимізації економічного впровадження сучасних інноваційних інженерних методів і систем.

Наша стаття спрямована на розгляд принципів формування інтегрованого підходу детектування, аналізу та відтворення оптичної інформації інженерними системами для задач контролю і моніторингу стану екологічного довкілля та пов'язаного з цим економічного зростання.

2. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

У даній частині ми розглянемо основні багатопараметричні інформаційні складові оптичних відео зображень та перспективні напрями їх застосування [2-7, 12].

2.1. Основні інформаційні параметри

Носієм оптичної інформації є електромагнітне поле певного діапазону довжин хвиль λ . У нашому випадку ми обмежимося видимим діапазоном електромагнітних хвиль з довжинами від $\lambda = 400$ нм до $\lambda = 800$ нм.

Кожна оптична хвиля характеризується декількома параметрами і, таким чином, є багатопараметричним носієм інформації, - таблиця 1.

Табл. 1.

Багатопараметричний оптичний носія інформації

Параметри електромагнітної хвилі				
Амплітуда	Частота	Довжина хвилі	Поляризація	Фаза
E -електрична напруженість	$\omega = \frac{2\pi}{T}$, T -період	$\lambda = c \left(\frac{2\pi}{\omega} \right)$, c -швидкість	α -азимут β -еліптичність	δ

Вся сукупність параметрів оптичної хвилі може одночасно змінюватися у просторі (x, y, z) і часі (t) . Така зміна або модуляція являє собою незалежний інформаційний масив даних, координатний розподіл значень яких формує той чи інший тип 2D (x, y) або 3D (x, y, z) зображення, - таблиця 2.

У відповідності з типами параметричних дво- і тривимірних оптичних носіїв інформації розроблено широкий спектр інженерних засобів їхнього детектування.

2.2. Традиційні фотометричні інженерні системи

У таблиці 3 представлена блок-схема архітектури фотометричної інженерної системи для “активної” реєстрації двовірних розподілів інтенсивності $I(x, y)$ або класичних фотометричних зображень широкого кола різноманітних об'єктів – від макро- (галактики, зірки) до мікро рівня

(клітини, молекули) геометричних масштабів, а також різної природи – від неорганічних до органічних і біологічних.

Табл. 2.

Параметричні типи оптичних зображень

Вимірювальні параметри			
$I = \langle E ^2 \rangle$ – інтенсивність випромінювання	$F_\lambda(I)$ – спектральний розподіл	$Q_\alpha; G_\beta$ – поляризаційні розподіли	R_δ – фазовий розподіл
$I(x, y)$ – чорно-білі зображення	$I_\lambda(x, y)$ – кольорові зображення	$Q_\alpha(x, y); G_\beta(x, y)$ – поляризаційні зображення	$R_\delta(x, y, z)$ – фазові 3D зображення

Табл. 3.

Блок-схема архітектури фотометричної інженерної системи

Блок 1 - “Оптичний зонд або опромінювач”
<ul style="list-style-type: none"> • Оптичне джерело опромінювання (лампи розжарення, світлодіоди, лазери) • Лінзові або дзеркальні коліматори для формування просторово спрямованих пучків оптичного випромінювання
Об’єктний блок 2
<ul style="list-style-type: none"> • Механічна платформа для розміщення об’єктів дослідження (неорганічні, органічні, біологічні і т.ін.) • Механічні кріплення та пристрої мікрорушення
Блок 3 - “Формування оптичного (фотометричного) зображення”
<ul style="list-style-type: none"> • Об’єкти лінзовий або дзеркальний • Діафрагми • Механічні кріплення та пристрої мікрорушення
Блок 4 - “Оптоелектронна реєстрація фотометричного зображення”
<ul style="list-style-type: none"> • $(m \times n)$ піксельна цифрова CCD камера • Формування цифрового РС зображення - $I(m \times n)$
Блок 5 - “Комп’ютерного аналізу фотометричного зображення”
<ul style="list-style-type: none"> • Сукупність алгоритмів об’єктивної аналітичної обробки двовимірних розподілів інтенсивності $I(m \times n)$ • Критерії (маркери) оцінки топографічної, статистичної, масштабно-самоподібної та ін. структури статичних або динамічних зображень.

2.3. Поляризаційні інженерні системи

У таблиці 4 представлена блок-схема архітектури поляризаційної інженерної системи для “активної” реєстрації поляризаційних зображень $Q_\alpha(x, y); G_\beta(x, y)$ з алгоритмічним відтворенням поляризаційних мап азимута $\alpha(x, y)$ і еліптичності $\beta(x, y)$.

Головною особливістю даних систем є наявність блоків формування станів поляризації опромінюючого лазерного зонда і поляризаційно-фазового аналізу фотометричних зображень досліджуваних об’єктів.

Основна інформаційна перевага таких систем у порівнянні з традиційними оптичними засобами побудови зображень є можливість реалізації операції інтроскопії полікристалічної структури об’єктів живої матерії. Це робить їх особливо привабливими у побудові новітніх засобів медичної діагностики.

Поляризаційні параметри (α, β) оптичного випромінювання безпосередньо оком людини або фотоелектронним детектором не сприймаються.

Разом з тим поляризаційні розподіли $Q_\alpha(x, y); G_\beta(x, y)$ (або поляризаційні зображення) несуть вкрай важливу інформацію про полікристалічну та молекулярну будову об’єктів екологічного довкілля, біологічних тканин і рідин живих організмів, кристалічних і рідкокристалічних сполук, полімерів, розчинів ліків і т. ін.

Блок-схема архітектури поляризаційної інженерної системи

<p align="center">Блок 1 - “Оптичний зонд або опромінювач”</p> <ul style="list-style-type: none"> • Оптичне джерело опромінення (лампи розжарення, світлодіоди, лазери) • Лінзові або дзеркальні коліматори для формування просторово спрямованих пучків оптичного випромінювання
<p align="center">Блок 2 – формування поляризаційного оптичного зонда</p> <ul style="list-style-type: none"> • Поляризатори і фазовозсвуючі пластинки •
<p align="center">Об’єктний блок 3</p> <ul style="list-style-type: none"> • Механічна платформа для розміщення об’єктів дослідження (неорганічні, органічні, біологічні і т.ін.) • Механічні кріплення та пристрої мікророзрушення
<p align="center">Блок 4 - “Формування оптичного (фотометричного) зображення”</p> <ul style="list-style-type: none"> • Об’єкти лінзовий або дзеркальний • Діафрагми • Механічні кріплення та пристрої мікророзрушення
<p align="center">Блок 5 - “Поляризаційний аналіз і формування поляризаційних зображень”</p> <ul style="list-style-type: none"> • Поляризатори і фазовозсвуючі пластинки
<p align="center">Блок 6 - “Оптоелектронна реєстрація поляризаційних зображень”</p> <ul style="list-style-type: none"> • $(m \times n)$ піксельна цифрова CCD камера • Формування цифрового РС зображення - $I(m \times n)$
<p align="center">Блок 7 - “Комп’ютерного аналізу поляризаційних зображень”</p> <ul style="list-style-type: none"> • Сукупність алгоритмів об’єктивної аналітичної обробки двовимірних поляризаційно-відфільтрованих розподілів інтенсивності $I(m \times n)$ з обчисленням поляризаційних мап • Критерії (маркери) оцінки топографічної, статистичної, масштабно-самоподібної та ін. структури статичних або динамічних зображень.

Виходячи з цього, розроблення інженерних поляризаційних систем інтроскопії - детектування і візуалізації поляризаційних зображень має не тільки важливе фундаментальне значення, але виразний прикладний економічний аспект. Він пов’язаний із покращенням діагностичних можливостей таких інженерних технік, які призведуть до покращення якості продукції, удосконалення екологічного моніторингу, ранньому виявленню захворювань.

2.4. 3D лазерні інженерні системи

Окремий і новітній клас інженерних систем формування і аналізу складають оптичних зображень складають 3D лазерні інженерні системи, - таблиця 5.

Головною особливістю таких систем є використання додаткової опорної когерентної лазерної хвилі, що накладається на оптичне зображення. У результаті формується інтерференційна картина, аналіз якої дозволяє відтворити 3D оптичні зображення.

Зображення такого типу є найбільш інформативними не тільки для візуального сприйняття інформації про оточуючі нас об’єкти, але й для побудови новітнього класу інженерних біофізичних систем детектування і моніторингу об’ємних розподілів різноманітних характеристик тканин і рідин органів людини. Це відкриває нові можливості у створенні інноваційних принципів томографічної ранньої доклінічної діагностики широкого спектру патологічних змін морфологічної будови органів людини. **3. РЕЗУЛЬТАТИ І ОБГОВОРЕННЯ**

У даній частині статті ми розглянули приклад міждисциплінарної інтегрованої інженерної (поляризаційно-оптичної) диференціальної діагностики актуальної для галузей екології та економіки.

В якості об’єктів дослідження було використано дві репрезентативні вибірки зразків полікристалічних плівок цільної крові здорових донорів і хворих на папілярний рак щитовидної залози.

Системність такого підходу обумовлена декількома міждисциплінарними факторами [9-11]:

1. **Екологічний** - захворюваність на папілярний рак щитовидної залози напряму пов’язана із екологічним і радіоактивним забрудненням довколишнього середовища.
2. **Економічний** – патології щитовидної залози призводять до значних економічних втрат за рахунок передчасної інвалідизації, дороговартісних методів лікування.

3. **Інженерний** – актуальним є створення систем об'єктивної і ранньої (на доклінічних етапах) діагностики патологічних станів.

Табл. 5.

Блок-схема архітектури поляризаційної інженерної системи	
Блок 1 - "Лазерний зонд або опромінювач"	
Лазерне джерело когерентного випромінювання	
Блок 2 – формування опорної та об'єктної лазерної хвилі	
оптичні світлоподільники (призми, напівпрозорі дзеркала)	
Об'єктний блок 3	
Механічна платформа для розміщення об'єктів дослідження (неорганічні, органічні, біологічні та ін.)	
Механічні кріплення та пристрої мікрорушення	
Блок 4 - "Формування оптичного (фотометричного) зображення"	
Об'єктів лінзовий або дзеркальний	
Діафрагми	
Механічні кріплення та пристрої мікрорушення	
Блок 5 – формування інтерференційних розподілів оптичних зображень	
Блок 6 - "Оптоелектронна реєстрація інтерференційних зображень"	
$(m \times n)$ піксельна цифрова CCD камера	
Формування цифрового РС зображення - $I(m \times n)$	
Блок 7 - "Комп'ютерного аналізу інтерференційних зображень"	
Сукупність алгоритмів відтворення 3D оптичних зображень $I(x, y, z)$ з обчисленням поляризаційних мап	
Критерії (маркери) оцінки топографічної, статистичної, масштабно-самоподібної та ін. структури статичних або динамічних 3D зображень.	

На серії фрагментів рис. 1 і рис. 2 представлені результати інженерної системи фотометрування цифрових зображень (рис. 1) і поляриметрії (рис. 2) координатних розподілів (m, n) випадкових значень величини азимута $\alpha(m, n)$ і $\beta(m, n)$ еліптичності поляризації сукупності пікселів цифрових мікроскопічних зображень надмолекулярних протеїнових мереж експериментальних зразків дегідратованих плівок крові здорових донорів і пацієнтів з папілярним раком щитовидної залози.

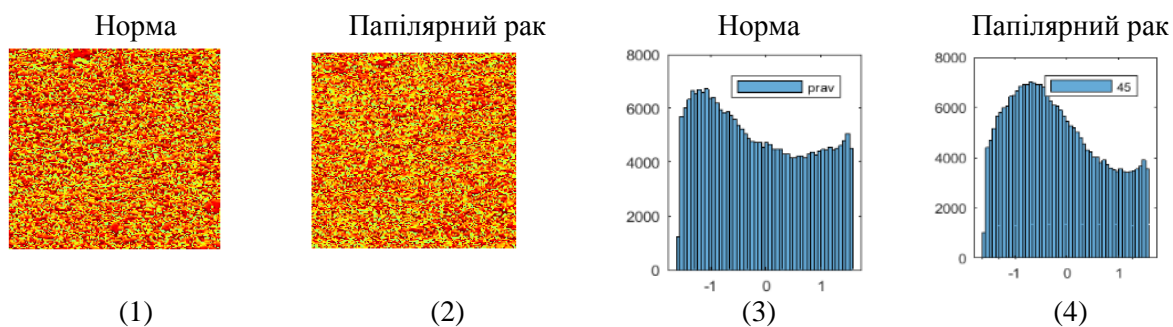


Рис. 1. Фотометричні зображення (фрагменти (1),(2)) і гістограми розподілу інтенсивності (фрагменти (3),(4)) плівок крові здорових донорів (фрагменти (1),(3)) і хворих на папілярний рак (фрагменти (2),(4)).

Необхідно зазначити, що поляризаційні мапи $\alpha(m, n)$ і $\beta(m, n)$ традиційних цифрових мікроскопічних зображень експериментальних зразків плівок крові мають різне інформаційне "навантаження".

Мапи азимута поляризації $\alpha(m, n)$ – характеризують оптичну активність формених елементів крові і визначаються їх концентрацією у дегідратованій плівці.

Мапи еліптичності поляризації $\beta(m, n)$ – характеризують просторово-кутову структуру надмолекулярних альбумін-глобулінових мереж полікристалічної плівки крові.

З аналізу одержаних даних виявлено:

1. Практичну подібність структури фотометричних зображень зразків крові донорів і хворих папілярним раком (рис. 1).

2. Наявність різної структурності азимутів і еліптичності поляризації цифрових мікроскопічних зображень зразків плівок крові здорових донорів і хворих пацієнтів (рис. 2).

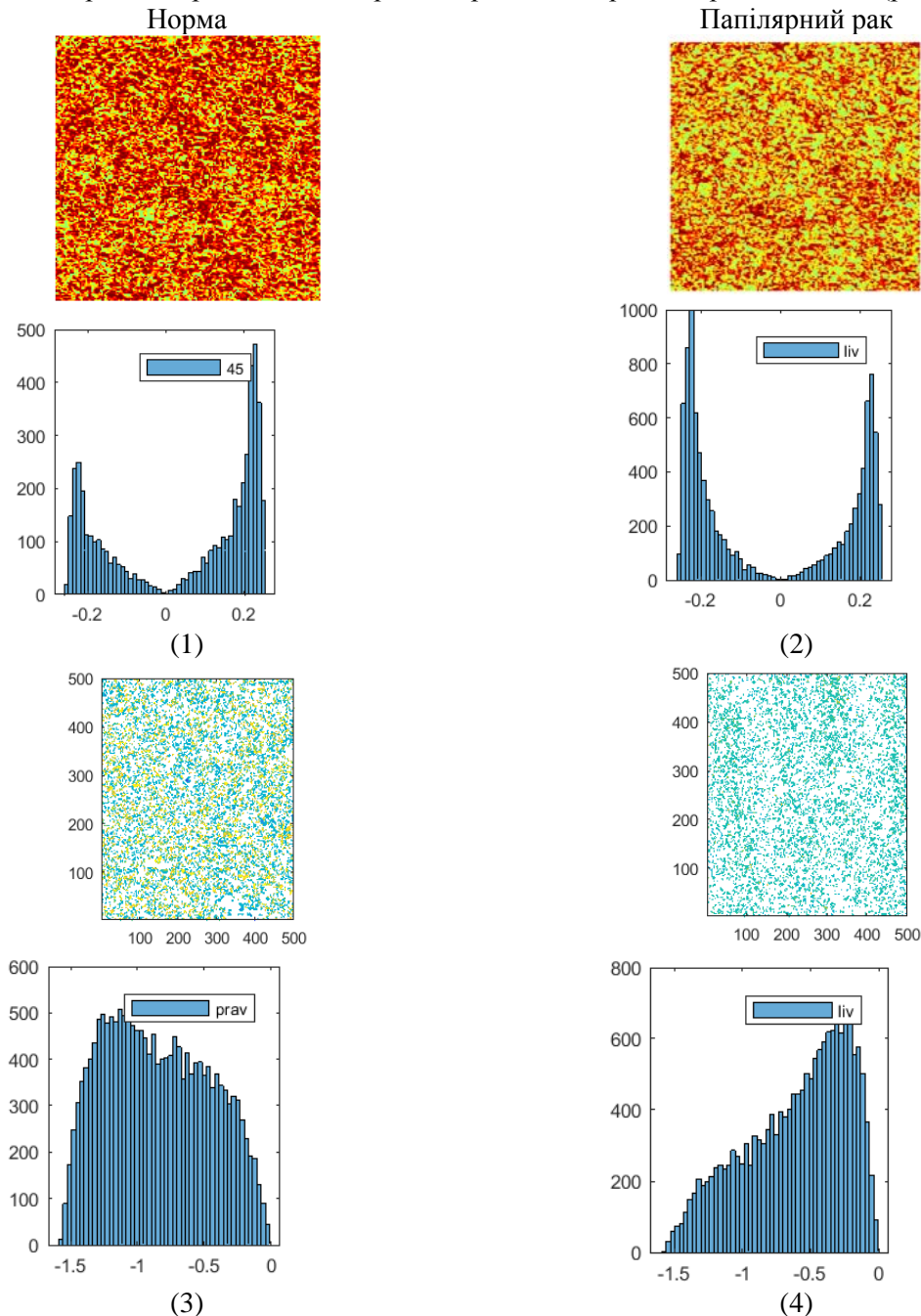


Рис. 2. Поляризаційні карти $\alpha(m, n)$ і гістограми (фрагменти (1)) і гістограми (фрагменти (2)) розподілів величини азимута поляризації цифрових мікроскопічних зображень фазії крові донорів і хворих пацієнтів з дослідних груп.

Кількісно даний результат ілюструють гістограми розподілів значень величини азимута і еліптичності поляризації. Для кожного типу зразків плівок крові гістограми володіють різними діапазонами зміни поляризаційних параметрів та індивідуально локалізованими екстремумами.

4. ВИСНОВКИ

Розглянуто принципи формування інтегрованого підходу детектування, аналізу та відтворення багатопараметричної оптичної інформації інженерними системами для задач контролю і моніторингу стану екологічного довкілля та пов'язаного з цим економічного зростання.

Представлено структурно-логічні схеми дизайну та архітектури фотометричної, поляризаційної та лазерної інженерних систем детектування та аналізу оптичних зображень.

Розглянуто приклад актуальної для галузей екології та економіки міждисциплінарної інтегрованої інженерної (поляризаційно-оптичної) диференціальної діагностики - полікристалічних плівок здорових донорів і хворих на папілярний рак щитовидної залози.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Mykhailenko V., Safranov T., Adobovska M. Biological wastewater treatment plants as sources of environmental pollution by persistent organic pollutants (on the example of Odesa industrial-and-urban agglomeration). 58. 2023. No. 58. P. 350–359. URL: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-26> (date of access: 20.06.2024).
2. Polarization-Singular Approach to Imaging Mueller-Matrix Polarimetry in the Differential Diagnosis of Histological Sections of Biopsy of Tumors of the Uterus and Prostate / A. Dubolazov et al. *Frontiers in Physics*. 2021. Vol. 9. URL: <https://doi.org/10.3389/fphy.2021.711212> (date of access: 20.06.2024).
3. 3D Mueller Matrix Reconstruction of the Optical Anisotropy Parameters of Myocardial Histopathology Tissue Samples / B. T. Hogan et al. *Frontiers in Physics*. 2021. Vol. 9. URL: <https://doi.org/10.3389/fphy.2021.737866> (date of access: 20.06.2024).
4. Polarization Correlometry of Microscopic Images of Polycrystalline Networks Biological Layers / I. Meglinski et al. *Shedding the Polarized Light on Biological Tissues*. Singapore, 2021. P. 61–73. URL: https://doi.org/10.1007/978-981-10-4047-4_4 (date of access: 20.06.2024).
5. Scale-Selective and Spatial-Frequency Correlometry of Polarization-Inhomogeneous Field / I. Meglinski et al. *Shedding the Polarized Light on Biological Tissues*. Singapore, 2021. P. 33–59. URL: https://doi.org/10.1007/978-981-10-4047-4_3 (date of access: 20.06.2024).
6. Multifunctional Stokes Correlometry of Biological Layers / I. Meglinski et al. *Shedding the Polarized Light on Biological Tissues*. Singapore, 2021. P. 75–96. URL: https://doi.org/10.1007/978-981-10-4047-4_5 (date of access: 20.06.2024).
7. Methods and Means of Polarization Correlation of Fields of Laser Radiation Scattered by Biological Tissues / I. Meglinski et al. *Shedding the Polarized Light on Biological Tissues*. Singapore, 2021. P. 1–15. URL: https://doi.org/10.1007/978-981-10-4047-4_1 (date of access: 20.06.2024).
8. Poleva J. L., Varyshkina O. O., Demyanov V. V. Analysis and research of the state of Lake Sukorivshchyna as a result of anthropogenic influence, as well as hydroecological and geomorphological conditions of species coexistence. *Ecology and Noospherology*. 2023. Vol. 34, no. 1. P. 45–48. URL: <https://doi.org/10.15421/032307> (date of access: 20.06.2024).
9. Surgery for thyroid cancer. *Canadian Cancer Society*. URL: <https://cancer.ca/en/cancer-information/cancer-types/thyroid/treatment/surgery> (date of access: 20.06.2024).
10. Thyroid Cancer Treatment. *Comprehensive Cancer Information - NCI*. URL: https://www.cancer.gov/types/thyroid/patient/thyroid-treatment-pdq#_1 (date of access: 20.06.2024).
11. 3D Mueller matrix mapping of layered distributions of depolarisation degree for analysis of prostate adenoma and carcinoma diffuse tissues / V. A. Ushenko et al. *Scientific Reports*. 2021. Vol. 11, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-83986-4> (date of access: 20.06.2024).
12. Polarization singularity analysis of Mueller-matrix invariants of optical anisotropy of biological tissues samples in cancer diagnostics / V. O. Ushenko et al. *Journal of Optics*. 2021. Vol. 23, no. 6. P. 064004. URL: <https://doi.org/10.1088/2040-8986/abf97a> (date of access: 20.06.2024).