

УДК 615.47:616.073

Н.І. ЗАБОЛОТНА, В.В. ШОЛОТА

## **ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДАНИХ В СИСТЕМІ МЮЛЛЕР-МАТРИЧНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ ПЛАЗМИ КРОВІ ПРИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ РАКУ ШЛУНКУ**

*Вінницький національний технічний університет,  
21021, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна  
E-mail: [Natalia.zabolotna@gmail.com](mailto:Natalia.zabolotna@gmail.com)*

**Анотація.** Проведено інтелектуальний аналіз мюллер-матричних зображень плівок плазми крові людини на основі статистичного, кореляційного та спектрального підходів для здорової та хворої на рак шлунку людини. На цій основі встановлено інформативні параметри для ідентифікації раку шлунку в системі мюллер-матричного картографування плазми крові людини.

**Ключові слова:** мюллер-матричне картографування, діагностика, рак шлунку, плазма крові, статистичні моменти, кореляційні моменти, спектральні моменти, інтелектуальний аналіз.

**Аннотация.** Проведен интеллектуальный анализ мюллер-матричных изображений пленок плазмы крови человека на основе статистического, корреляционного и спектрального подходов для здорового и больного раком желудка человека. На этой основе установлены информативные параметры для идентификации рака желудка в системе мюллер матричного картографирования плазмы крови человека.

**Ключевые слова:** мюллер-матричное картографирование, диагностика, рак желудка, плазма крови, статистические моменты, корреляционные моменты, спектральные моменты, интеллектуальный анализ.

**Abstract.** The intellectual analysis of mueller-matrix images of blood plasma films of human on the basis of statistical, correlation and spectral approaches for healthy and patient with human stomach cancer is carried out. On this basis, informative parameters for the identification of stomach cancer in the system of the mueller-matrix mapping of human plasma are established.

**Key words:** mueller-matrix mapping, diagnostics, stomach cancer, blood plasma, statistical moments, correlation moments, spectral moments, intellectual analysis.

### **ВСТУП**

Використання поляризованого світла в якості окремого механізму для визначення оптико-анізотропних властивостей біологічних об'єктів сьогодні дозволяє створювати нові методи та засоби діагностики складних об'єктів з координатно розподіленими параметрами, до яких відносяться всі типи біологічних структур.

Роботи всесвітньо відомих вчених В. В. Тучіна [1, 2], Dr. Antonello De Martino, T. Novikova [3], Ye Wang [4], S. Alali, A. Vitkin [5], Ушенка О.Г., Ангельського О.Я. [6-9] присвячені розвитку засад зображувальної поляриметрії та методів мюллер-матричного картографування біологічних тканин і рідин, як інструментарію для ранньої діагностики ракових захворювань. Так, зокрема, Ye Wang [4] запропоновано мюллер-матричний мікроскоп для виявлення фіброзу та цирозу печінки та ракових тканин. За його допомогою визначались лінійний фазовий зсув та кут орієнтації структури гістологічних зрізів тканин печінки товщиною 8 мкм в стані фіброзу та цирозу. Проте відсутні об'єктивні критеріїв їх подальшої класифікації. В роботі [5] S. Alali, A. Vitkin продемонстрували можливі підходи до побудови систем поляриметрії біотканин, серед яких виділили як найперспективніші з точки зору точності вимірювань поляриметри на основі електрично керованих перетворювачів поляризації. Також показана можливість використання поляризованого світла для виявлення вражених тканин внутрішніх органів, таких як серце, шийка матки, сечовий міхур [5]. Проте не було здійснене кількісне об'єктивне

оцінювання отриманих поляризаційних та мюллер-матричних зображень гістологічних зрізів чи біоптатів досліджуваних тканин органів з метою виявлення інформативних параметрів подальшої діагностики захворювань.

Аналіз вимірних поляризаційних зображень та мюллер-матричних зображень оптично тонких біологічних тканин та біологічних рідин, здійснений в межах статистичного, кореляційного та фрактального підходів, започаткований в роботах [6-9], дозволив визначити об'єктивні інформативні критерії диференціації станів «норма-патологія» біологічних оптично тонких шарів. Узагальнення такої ідеології на багатшарові біологічні мережі у сенсі знаходження розподілів їх мюллер-матричних елементів та подальшого інтелектуального аналізу шляхом визначення повного набору статистичних, кореляційних та спектральних моментів 1-го – 4-го порядку [10-13] сприяє підвищенню достовірності діагностування патологічних станів органів людини.

Серед багаточисельних застосувань зазначених методів та засобів лазерної поляриметрії діагностування людського організму на основі поляризаційно-фазового та мюллер-матричного картографування плівок плазми крові людини та їх інтелектуального аналізу є перспективним з точки зору раннього виявлення онкологічних захворювань (рак молочних залоз [14], рак яєчників [7], рак шийки матки [7, 13]) та моніторингу стану під час лікування. При цьому досягається менший травматизм людського організму у порівнянні із методами гістопатологічних досліджень, які до сих пір являють собою «золотий стандарт» для будь-яких існуючих діагностичних методик біологічних тканин.

В той же час, потребують подальшого розвитку технології мюллер-матричного картографування плівок плазми крові людини та інтелектуального аналізу отриманих даних при діагностуванні інших онкологічних захворювань, зокрема, раку шлунку, який посідає четверте місце в світі серед злоякісних утворень. Езофагогастрофіброскопія з лазерною комп'ютерною оцінкою біоптатів розглядається в роботі [15] як перспективний метод діагностики передракових процесів та раку шлунку.

Метою роботи є аналіз змін статистичних, кореляційних та спектральних параметрів мюллер-матричних зображень плівок плазми крові людини, обумовлених раком шлунку, в інтелектуалізованій поляризаційній системі мюллер-матричного картографування біологічних шарів для визначення інформативних ознак при діагностуванні раку шлунку людини.

### АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ МЮЛЛЕР-МАТРИЧНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ ПЛІВКИ КРОВІ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ

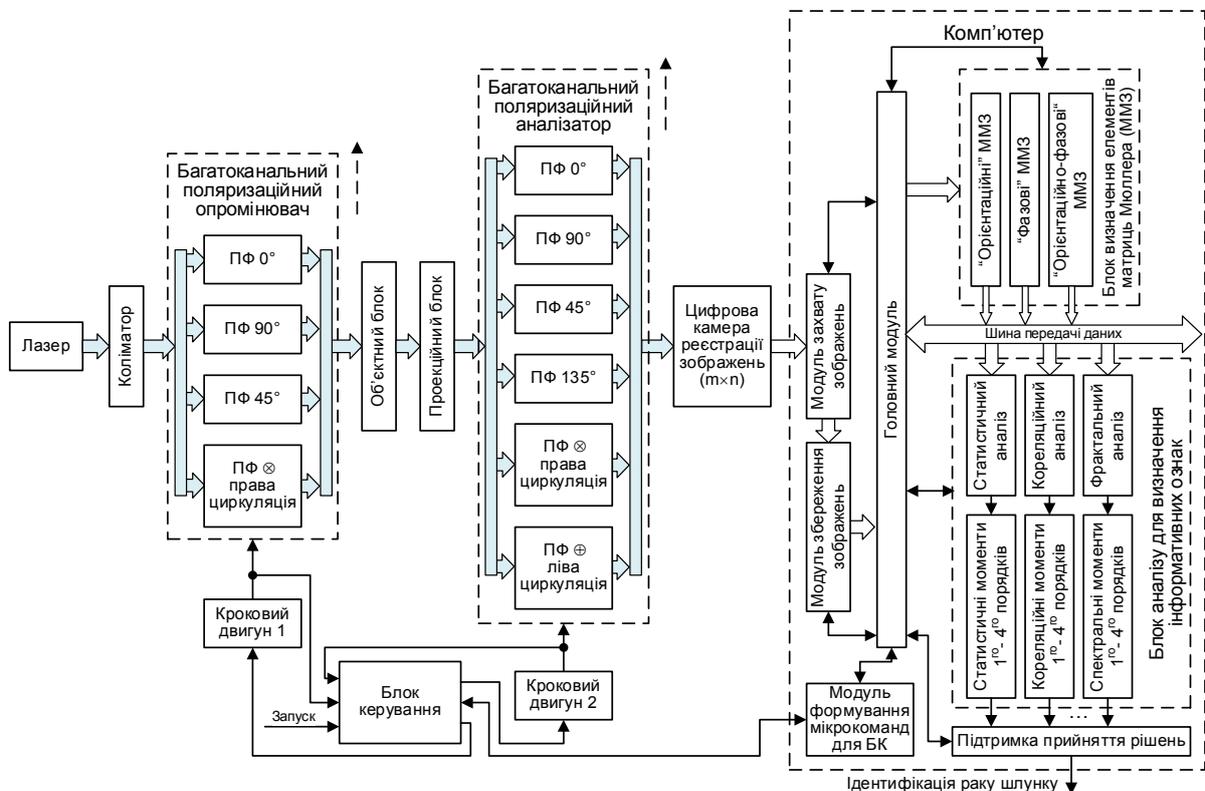


Рис. 1 . Архітектура системи мюллер-матричного картографування плазми крові та інтелектуального аналізу отриманих мюллер-матричних зображень при діагностуванні раку шлунку

Архітектура системи мюллер-матричного картографування плазми крові та інтелектуального аналізу отриманих мюллер-матричних зображень, що застосовується для ідентифікації раку шлунку, подана на рис.1. Багатоканальність поляризаційного опромінювача (4 канали) та поляризаційного аналізатора (6 каналів) в зазначеній системі дозволяють забезпечити підвищення точності вимірювань елементів матриці Мюллера за рахунок стаціонарності розміщення поляризаційних елементів в багатоканальних блоках та сприяють покращенню часових характеристик роботи системи в цілому у порівнянні із подібними варіантами архітектурної організації зображальних мюллер-поляриметрів [6-9].

Як детально описано в роботах [7, 11, 16], елементи матриці Мюллера  $Z_{kl}$  ( $k = \overline{1;4}, l = \overline{1;4}$ ) визначаються програмними модулями системи (див. рис. 1) на основі виміряних координатних розподілів векторів Стокса  $S_i^j$  ( $i = \overline{1;4}, j = 0^\circ, 90^\circ, 45^\circ, \otimes$ ). Останні отримують при послідовному опроміненні зразка, розміщеного в об'єктному блоці, лазерними пучками з чотирма типами поляризації ( $0^\circ, 90^\circ, 45^\circ, \otimes$ ), які формуються багатоканальним поляризаційним опромінювачем, та поляризаційній фільтрації 24 зображень за допомогою шести каналів ( $0^\circ, 90^\circ, 45^\circ, 135^\circ, \otimes, \oplus$ ) фільтрації багатоканального поляризаційного аналізатора [7, 11, 16].

Отже, двовимірні розподіли елементів матриці Мюллера півки плазми крові обраховують так:

$$\begin{aligned} Z_{k1} &= 0,5(S_k^0 + S_k^{90}); \\ Z_{k2} &= 0,5(S_k^0 - S_k^{90}); \\ Z_{k3} &= S_k^{45} - Z_{k1}; \\ Z_{k4} &= S_k^{\otimes} - Z_{k1}. \end{aligned} \quad (1)$$

Інтелектуальний аналіз отриманих двовимірних розподілів елементів матриці Мюллера  $Z_{lk}$  передбачає обчислення кількісних ознак, які характеризують отримані ММЗ, на основі комплексного статистичного, кореляційного та фрактального підходів [9] у вигляді повного набору статистичних моментів 1-го – 4-го порядків [12, 16].

Обчислення статистичних моментів  $M_{1-4}$  1-го – 4-го порядків розподілів  $Z_{lk}$  здійснюється за формулами [7, 9, 12, 16]

$$\begin{aligned} M_1 &= \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (|Z_{lk}|)_j; \\ M_2 &= \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (Z_{lk}^2)_j}; \\ M_3 &= \frac{1}{M_2^3} \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (Z_{lk}^3)_j; \\ M_4 &= \frac{1}{M_2^4} \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (Z_{lk}^4)_j, \end{aligned} \quad (2)$$

де  $(Z_{lk})_j$  –  $j$ - й елемент двовимірного ММЗ  $Z_{lk}$  з кількістю елементів дискретизації цифрової камери, що реєструє зображення  $N = m \times n = 800 \times 600$ .

Кореляційні моменти 1-го – 4-го порядку  $Q_{1-4}$  розподілів  $Z_{lk}$  визначаються за відповідними статистичними моментами (2) функції автокореляції  $K_{lk}(\Delta x)$  [16].

Спектральні моменти 1-го – 4-го порядку  $W_{1-4}$  розраховують як статистичні моменти 1-го – 4-го порядку розподілів значень логарифмічних залежностей спектрів потужності ММЗ  $Z_{lk}$  [16].

### МЮЛЛЕР – МАТРИЧНІ ЗОБРАЖЕННЯ ПЛАЗМИ КРОВІ ЛЮДИНИ З ФІЗІОЛОГІЧНИМ СТАНОМ «НОРМА» І «РАК ШЛУНКУ» ТА ЇХ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ

Розглянемо мюллер-матричні зображення оптично тонких шарів плазми крові людини (коефіцієнт ослаблення  $\tau = 0,07$ ) при станах «норма» та «рак шлунку», які були отримані в результаті її мюллер – матричного картографування за допомогою системи, поданої на рис. 1, застосовуючи можливості системи прикладних програм MATLAB.

На серії рис. 2 – 3 приведені координатні ( $m \times n, 3D$ ), автокореляційні ( $K_{lk}(\Delta x)$ ) і фрактальні ( $W(Z_{lk})$ ) розподіли “орієнтаційного”  $Z_{22}$  (рис. 2) та “фазового”  $Z_{44}$  (рис. 3) матричних елементів  $Z_{lk}$  плазми крові здорової людини (лівий стовпчик) і хворого на рак шлунка (правий стовпчик), а також сукупність їх статистичних  $M_{i=1;2;3;4}$ , кореляційних  $Q_{2;3;4}$  і спектральних  $W_{i=1;2;3;4}$  статистичних моментів (табл. 1).

З одержаних даних видно, що вся сукупність мюллер - матричних зображень  $Z_{lk}(m \times n)$  шарів плазми крові характеризується складними координатними розподілами, структура яких індивідуальна як для "орієнтаційних"  $Z_{22}$ , так і "фазових"  $Z_{44}$  матричних елементів (рис. 2 – рис. 3).

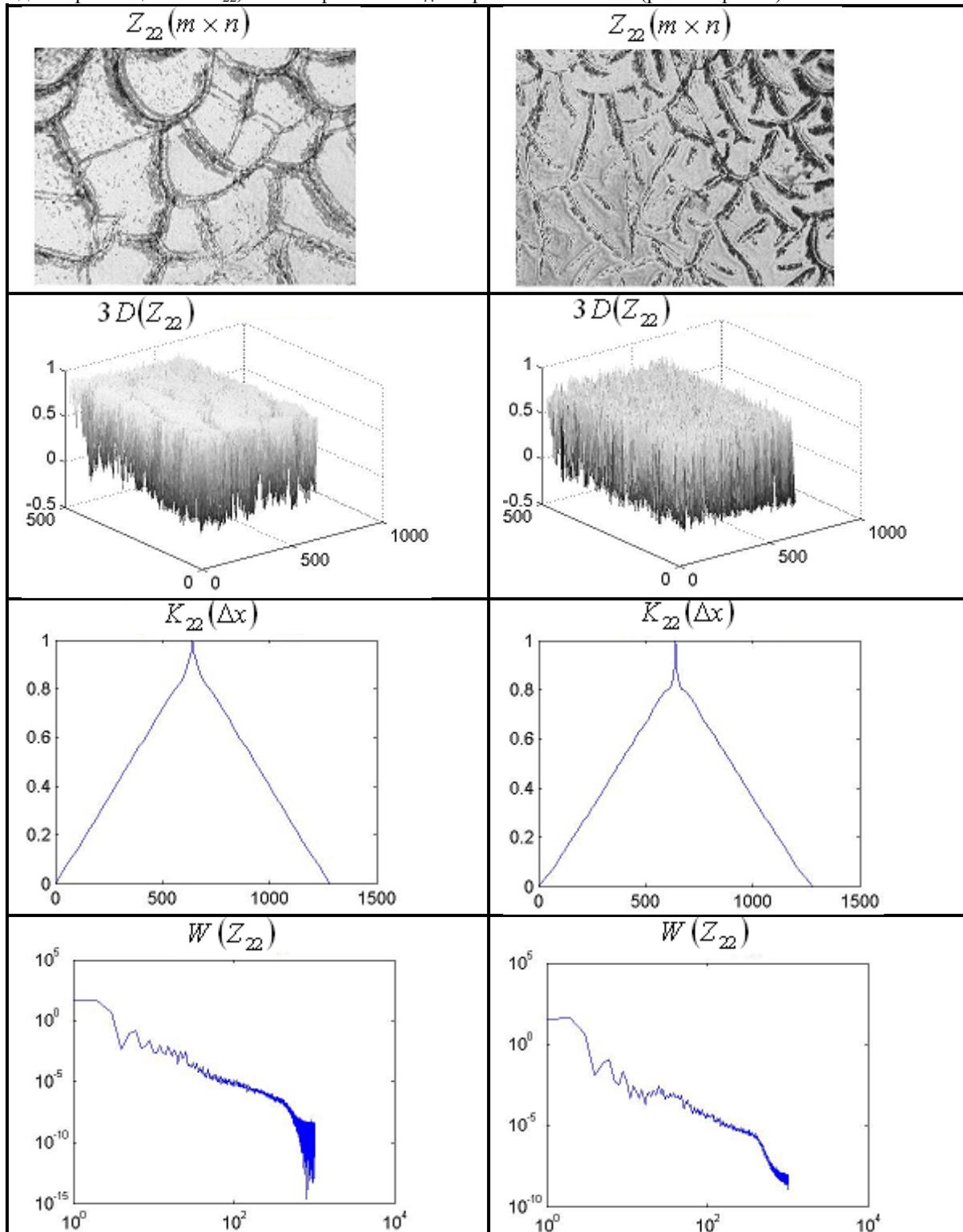


Рис. 2. Координатна ( $m \times n$ ,  $3D$ ), кореляційна ( $K_{22}(\Delta x)$ ) і фрактальна ( $W(Z_{22})$ ) структура розподілу "орієнтаційного" матричного елементу  $Z_{22}$  плазми крові здорової людини (лівий стовпчик) і хворого на рак шлунка (правий стовпчик).

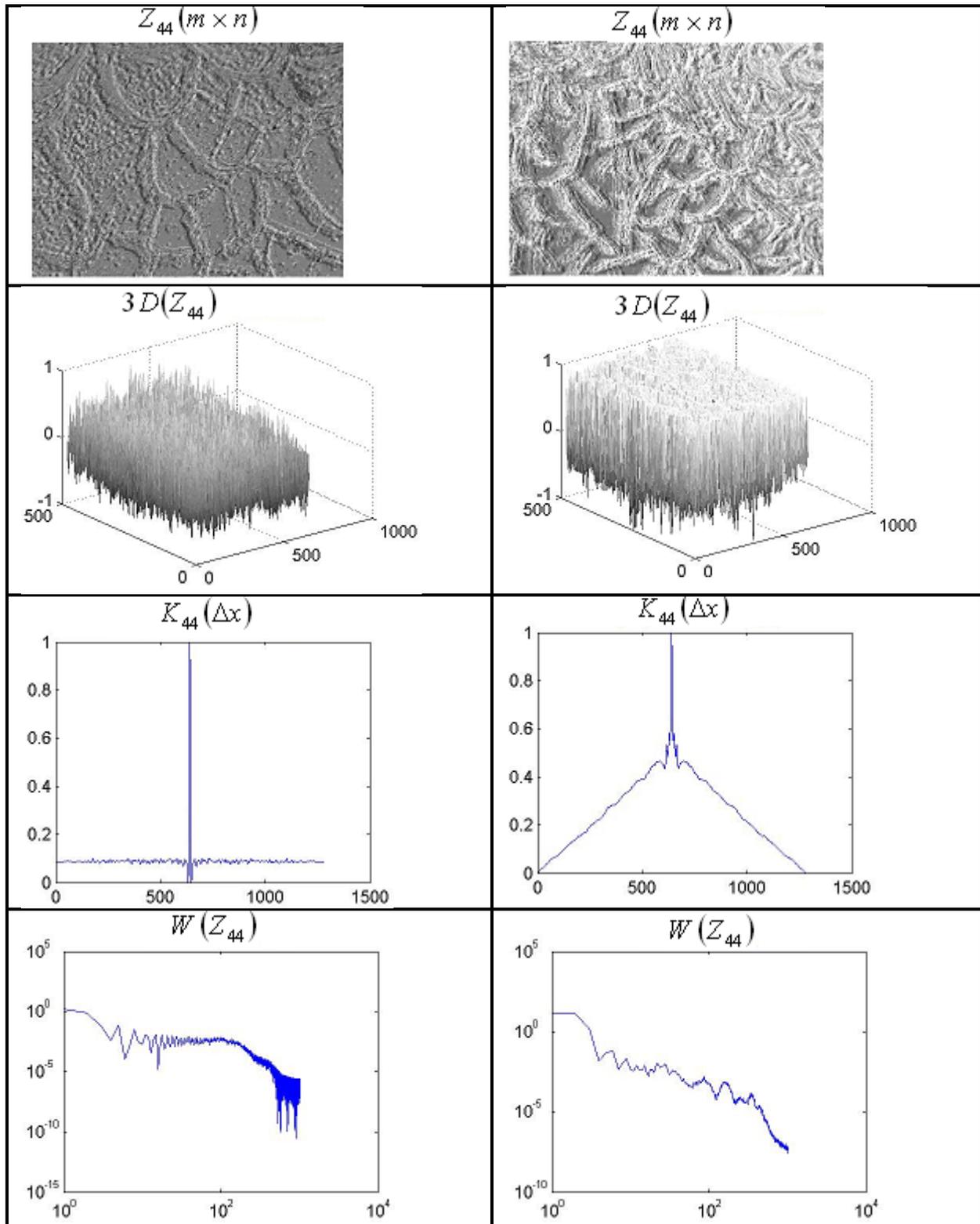


Рис. 3. Координатна ( $m \times n$ ,  $3D$ ), кореляційна ( $K_{44}(\Delta x)$ ) і фрактальна ( $W(Z_{44})$ ) структура розподілу “фазового” матричного елементу  $Z_{44}$  плазми крові здорової людини (лівий стовпчик) і хворого на рак шлунка (правий стовпчик).

Таблиця 1.

Статистичні  $M_{i=1;2;3;4}$ , кореляційні  $Q_{i=2;3;4}$   $Q_{i=2;3;4}$  і спектральні  $W_{i=1;2;3;4}$  моменти координатних розподілів елементів  $Z_{ik}(m \times n)$  матриці Мюллера плазми крові здорової і хворої на рак людини

$R_{i=1;2;3;4}$	$Z_{22}$		$Z_{24}$		$Z_{44}$	
	Норма	Рак	Норма	Рак	Норма	Рак
$M_1$	0,35	0,26	0,09	0,12	0,07	0,21
$M_2$	0,23	0,11	0,13	0,17	0,04	0,17
$M_3$	0,58	0,83	1,41	1,21	2,59	0,71
$M_4$	0,93	1,64	2,18	1,89	4,96	1,14
$Q_2$	0,22	0,19	0,09	0,07	0,0015	0,1
$Q_3$	0,37	0,55	1,61	1,87	4,19	1,27
$Q_4$	0,68	1,17	2,32	2,11	17,26	3,18
$W_1$	0,59	0,54	0,41	0,49	0,53	0,38
$W_2$	0,21	0,24	0,18	0,22	0,34	0,14
$W_3$	0,17	0,26	0,31	0,39	1,76	0,93
$W_4$	0,41	0,64	1,13	1,44	2,06	1,11

Мюллер – матричні зображення  $Z_{ik}(m \times n)$  півок плазми крові сформовані ділянками різної конфігурації і площі. Розміри і форма таких доменів корелюють з орієнтаційно - фазовою структурою полікристалічних білкових мереж шарів плазми крові.

Кореляційна структура координатних розподілів всіх елементів матриці Мюллера дослідженої біологічної рідини, як відомо з [7], складається з випадкової ( $K_{ik}(\Delta x)$ ) та стохастичної компонентів. Аналітично це впливає із особливостей автокореляційних залежностей  $K_{ik}(\Delta x)$  - монотонно спадаючі залежності з осциляціями відносних значень.

Півширина  $L$  автокореляційних функцій  $K_{ik}(\Delta x)$  координатних розподілів “орієнтаційних”  $Z_{22}$  матричних елементів досить близька для плазми крові здорової і хворої на рак шлунка людини.

Інша картина спостерігається для кореляційної структури “фазового” елементу  $Z_{44}(m \times n)$  матриці Мюллера різних типів плазми. Так, для полікристалічної мережі плазми крові здорової людини характерна практично на два порядки менша півширина автокореляційних залежностей  $K_{44}(\Delta x)$ .

Даний факт можна пов’язати із зростанням двопронезаломлення (за рахунок росту концентрації глобуліну) полікристалічної мережі амінокислот плазми крові людини з раком шлунку.

$\log - \log$  залежності спектрів потужності Мюллер – матричних зображень  $Z_{22}(m \times n)$  характеризуються двома нахилами апроксимуючої кривої  $W(\eta)$ . Для координатних розподілів значень “фазових” матричних елементів  $Z_{44}(m \times n)$  залежності  $W(\eta)$  трансформуються у статистичні ( $\eta \neq const$ ) криві лінії.

Кількісні дані про статистичну, кореляційну і фрактальну структуру сукупності Мюллер – матричних зображень “орієнтаційного”  $Z_{22}$ , “орієнтаційно-фазового”  $Z_{24}$ , “фазового”  $Z_{44}$  елементів плазми крові обох типів наведені у табл. 1.

Мюллер – матричні зображення “орієнтаційного”  $Z_{22}(m \times n)$  елементу шарів плазми крові хворої людини характеризуються відмінностями у значеннях статистичних моментів 3-го (у 1,5 рази) і 4-го порядків (у 1,75 разів) для здорової та хворої на рак людини.

Достатньо чутливими до орієнтаційних механізмів перетворення параметрів лазерного випромінювання двопронезаломлюючою полікристалічною мережею амінокислот виявився 4-й кореляційний момент, величина якого для плазми крові здорової людини у 2 рази більша, ніж у випадку раку шлунку.

Статистичні  $M_{i=1;2;3;4}$ , кореляційні  $Q_{i=2;3;4}$  і спектральні  $W_{i=1;2;3;4}$  моменти, що характеризують координатні ( $m \times n$ ), автокореляційні  $K_{24}(\Delta x)$  і логарифмічні залежності спектрів потужності  $\log W_{24} - \log l^{-1}$  розподілів “орієнтаційно - фазових”  $Z_{24}(m \times n)$  елементів матриці Мюллера обох типів полікристалічних білкових мереж, виявилися недостатніми для диференціації досліджуваних зразків плазми.

Найбільш діагностично чутливими до зміни оптичної анізотропії плазми крові людини з раком шлунку є практично вся сукупність статистичних  $M_{i=1,2,3,4}$ , кореляційних  $Q_{i=2,3,4}$  і спектральних  $W_{i=1,2,3,4}$  моментів мюллер – матричних зображень “фазових”  $Z_{44}(m \times n)$  елементів.

Так, відмінності:

між статистичними моментами  $M_{i=1,2,3,4}$  лежать у межах від 3-х до 4-х разів;

кореляційні моменти  $Q_{i=2,3,4}$  відрізняються у межах від 3-х до 100 разів;

спектральні моменти  $W_{i=1,2,3,4}$  відрізняються у 1,5 – 2 рази.

Отже, з одержаних даних слідує об’єктивна можливість проведення діагностування раку шлунку, використовуючи для ідентифікації цього захворювання такі інформативні ознаки як: значення другого, третього, четвертого статистичних моментів та третього і четвертого кореляційних моментів мюллер – матричних зображень “орієнтаційного”  $Z_{22}(m \times n)$  елементу шарів плазми крові і/або значення повних наборів 1-го – 4-го порядку статистичних, кореляційних та спектральних моментів мюллер – матричних зображень “фазового”  $Z_{44}(m \times n)$  елементу. Побудова вирішального правила, на підставі якого здійснюється ідентифікації захворювання на рак шлунку за описаними інформативними ознаками, здійснюється традиційними програмними засобами системи MATLAB.

### ВИСНОВКИ

Поляризаційна візуалізація “орієнтаційних” і “фазових” мюллер- матричних зображень плівок плазми крові людини в системі мюллер-матричного картографування біологічних шарів виявляє суттєву різницю в зображеннях зразків здорової та хворої на рак шлунка людини.

Проведення інтелектуального аналізу зазначених мюллер-матричних зображень плівок плазми крові на основі комплексного статистичного, кореляційного та фрактального підходів, реалізованих за допомогою середовища MATLAB, дозволило визначити значення другого, третього, четвертого статистичних моментів та третього і четвертого кореляційних моментів мюллер – матричних зображень “орієнтаційного” елементу шарів плазми крові і/або значення повних наборів 1-го – 4-го порядку статистичних, кореляційних та спектральних моментів мюллер – матричних зображень “фазового” елементу як інформативні ознаки для ідентифікації раку шлунка.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Оптическая биомедицинская диагностика: [в 2 т.] / [Пер. с англ. под ред. В. В. Тучина]. – М.: Физматлит, 2007. – Т. 1. – 560 с.
2. Оптическая биомедицинская диагностика: [в 2 т.] / [Пер. с англ. под ред. ред. В. В. Тучина]. – М.: Физматлит, 2007. – Т. 2. – 368 с.
3. Angelo Pierangelo A. Ex-vivo characterization of human colon cancer by Mueller polarimetric imaging / A. Pierangelo, A. Benali, M.-R. Antonelli [et al.] // Optics express. – 2011. - Vol. 19. – P.1582 – 1593.
4. Mueller matrix microscope: a quantitative tool to facilitate detections and fibrosis scorings of liver cirrhosis and cancer tissues / Ye Wang, Honghui He, Jintao Chang [et al.] // Journal of Biomedical Optics.- 2016. - Vol. 21(7). – 071112.
5. Sanaz Alalia, Alex Vitkin Polarized light imaging in biomedicine: emerging Mueller matrix methodologies for bulk tissue assessment / Sanaz Alalia, Alex Vitkin // Journal of Biomedical Optics. – 2015. – Vol. 20(6). - ID 061104.
6. Лазерна поляриметрична діагностика в біології та медицині / О. Г. Ушенко, В. П. Пішак, О. В. Ангельський [та ін.]; за ред. В. П. Пішака, О.Г. Ушенка. – Чернівці : Медакадемія, 2000. – 305 с.
7. Основи лазерної поляриметрії. Біологічні рідини / Ушенко О. Г., Бойчук Т.М., Заболотна Н. І. [та ін.]; під ред. О. Г. Ушенка, Т. М. Бойчука – Чернівці: Чернівецький нац. Ун – т, 2011. – 656 с.
8. Investigation of 2D Mueller matrix structure of biological tissues for pre-clinical diagnostics of their pathological states / O.V. Angelsky, Yu.Ya. Tomka, A.G. Ushenko [ et al.] // J. Phys. D: Appl. Phys. – 2005. - Vol. 38. – P. 4227-4235.
9. Statistical, Correlation and Topological Approaches in Diagnostics of the Structure and Physiological State of Birefringent Biological Tissues / O. V. Angelsky, A. G. Ushenko, Yu. A. Ushenko [ et al.] // Handbook of Photonics for Biomedical Science; Ed. by Valery V. Tuchin – London. : CRC Press, 2010. – P. 283-322.
10. Заболотна Н.І. Аналітичні основи двовимірної мюллер-матричної томографії оптично товстих багатшарових біологічних тканин. Кореляційний і фрактальний підходи / Н.І. Заболотна // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2010.

- №2. – С.157-163.
11. Заболотна Н.І. Метод та система поляризаційного відтворення координатних розподілів елементів матриці Мюллера двошарових сіток біологічних кристалів / Н.І. Заболотна // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2012. - №1(23). – С.99-109.
  12. Заболотна Н.І. Статистична, кореляційна і фрактальна структура мюллер – матричних зображень багат шарових біологічних тканин / Н.І. Заболотна, К.О. Радченко, С.В. Костюк // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2013. - №2( 26).- С.58-66.
  13. Zabolotna N.I. Diagnostic capabilities of polarization reproduction of Mueller-matrix images of the cervix subsurface tissue layer / N.I. Zabolotna, K.O. Radchenko // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2014. – №1. – С.159–163.
  14. System of polarization phasometry of polycrystalline blood plasma networks in mammary gland pathology diagnostics / N. I. Zabolotna , B. P. Oliinychenko, K.O. Radchenko, [et al.] // Proc. of SPIE. – 2015. - Vol. 9613. – P. 961311.
  15. Езофагогастрофіброскопія з лазерною комп'ютерною оцінкою біоптатів як перспективний метод діагностики передракових процесів та раку шлунка / Т. Г. Мойсюк, О. П. Пересунько, О. І. Іващук [та ін.] // Науковий вісник Ужгородського університету, серія «Медицина». – 2013. - №2 (47). – С. 73 – 77.
  16. Заболотна Н.І. Архітектура і алгоритми функціонування та аналізу даних двовимірних систем лазерної поляриметрії біологічних тканин / Н.І. Заболотна // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2013. - №1( 25). – С.54-65.

#### REFERENCES

1. Optycheskaya byomedytsynskaya dyahnostyka: [v 2 t.] / [Per. s anhl. pod red. V. V. Tuchyna]. – М.: Fyzmatlyt, 2007. – Т. 1. – 560 s.
2. Optycheskaya byomedytsynskaya dyahnostyka: [v 2 t.] / [Per. s anhl. pod red. red. V. V. Tuchyna]. – М.: Fyzmatlyt, 2007. – Т. 2. – 368 s.
3. Angelo Pierangelo Ex-vivo characterization of human colon cancer by Mueller polarimetric imaging / Angelo Pierangelo, A. Benali, M.-R. Antonelli [et al.] // Optics express. – 2011. - Vol. 19– P.1582 – 1593.
4. Mueller matrix microscope: a quantitative tool to facilitate detections and fibrosis scorings of liver cirrhosis and cancer tissues / Ye Wang, Honghui He, Jintao Chang [et al.] // Journal of Biomedical Optics.- 2016. - Vol. 21(7). – 071112.
5. Sanaz Alalia, Alex Vitkin Polarized light imaging in biomedicine: emerging Mueller matrix methodologies for bulk tissue assessment / Sanaz Alalia, Alex Vitkin // Journal of Biomedical Optics. – 2015. – Vol. 20(6). - ID 061104.
6. Lazerna polyarymetrychna diahnostyka v biolohiyi ta medytsyni / O. H. Ushenko, V. P. Pishak, O. V. Anhel's'kyy [ ta in.]; za red. V. P. Pishaka, O.H. Ushenka. – Chernivtsi : Medakademiya, 2000. – 305 c.
7. Osnovy lazernoyi polyarymetriyi. Biolohichni ridyny / Ushenko O. H., Boychuk T.M., Zabolotna N. I. [ta in.]; pid red. O. H. Ushenka, T. M. Boychuka – Chernivtsi: Chernivets'kyy nats. Un – t, 2011. – 656 s.
8. Investigation of 2D Mueller matrix structure of biological tissues for pre-clinical diagnostics of their pathological states / O.V. Angelsky, Yu.Ya. Tomka, A.G. Ushenko [ et al.] // J. Phys. D: Appl. Phys. – 2005. - Vol. 38. – P. 4227-4235.
9. Statistical, Correlation and Topological Approaches in Diagnostics of the Structure and Physiological State of Birefringent Biological Tissues / O. V. Angelsky, A. G. Ushenko, Yu. A. Ushenko [ et al.] // Handbook of Photonics for Biomedical Science; Ed. by Valery V. Tuchin – London. : CRC Press, 2010. – P. 283-322.
10. Zabolotna N.I. Analitychni osnovy dvovymirnoyi myuller-matrychnoyi tomohrafiyi optychno tovstyx bahatosharovykh biolohichnykh tkanyn. Korelyatsiynny i fraktal'nyy pidkhody / N.I. Zabolotna // Vymiryval'na ta obchyslyval'na tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – 2010. - №2. – S.157-163.
11. Zabolotna N.I. Metod ta systema polyaryzatsiynoho vidtvorennya koordynatnykh rozpodiliv elementiv matrytsi Myullera dvosharovykh sitok biolohichnykh krystaliv / N.I. Zabolotna // Optyko-elektronni informatsiyno-enerhetychni tekhnolohiyi. – 2012. - №1(23). – S.99-109.
12. Zabolotna N.I. Statystychna, korelyatsiyna i fraktal'na struktura myuller – matrychnykh

- zobrazhen' bahatosharovykh biolohichnykh tkanyn / N.I. Zabolotna, K.O. Radchenko, S.V. Kostyuk // Optyko-elektronni informatsiyno-enerhetychni tekhnolohiyi. – 2013. - №2( 26).- S.58-66.
13. Zabolotna N.I. Diagnostic capabilities of polarization reproduction of Mueller-matrix images of the cervix subsurface tissue layer / N.I. Zabolotna, K.O. Radchenko // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2014. – №1. – С.159–163.
  14. System of polarization phasometry of polycrystalline blood plasma networks in mammary gland pathology diagnostics / N. I. Zabolotna , B. P. Oliinychenko, K.O. Radchenko, [et al. ] // Proc. of SPIE. – 2015. - Vol.9613. – P. 961311.
  15. Ezofahohastrofibroskopiya z lazernoyu komp"yuternoyu otsinkoyu biopativ yak perspektyvnyy metod diahnostryky peredrakovykh protsesiv ta raku shlunka / T. H. Moysyuk, O. P. Peresun'ko, O. I. Ivashchuk [et al.]// Naukovyy visnyk Uzhhorods'koho universytetu, seriya «Medytsyna». – 2013. - №2 (47). – S. 73 – 77.
  16. Zabolotna N.I. Arkhitektura i alhorytmy funktsionuvannya ta analizu danykh dvovymirnykh system lazernoyi polyaryometriyi biolohichnykh tkanyn / N.I. Zabolotna // Optyko-elektronni informatsiyno-enerhetychni tekhnolohiyi. – 2013. - №1( 25). – S.54-65.

Надійшла до редакції 17.09.2017 р.

**ЗАБОЛОТНА НАТАЛІЯ ІВАНІВНА** – к.т.н., доцент, доцент кафедри лазерної та оптико-електронної техніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна,

**E-mail:** [Natalia.zabolotna@gmail.com](mailto:Natalia.zabolotna@gmail.com)

**ШОЛОТА ВЛАДИСЛАВА ВЛАДИСЛАВІВНА** – студентка кафедри автоматики та інформаційно-вимірювальної техніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна,

**E-mail:** [vladislava.sholota@gmail.com](mailto:vladislava.sholota@gmail.com)