

УДК 616-073.086.2

Т. М. Бойчук
***О. Г. Ушенко**
В. О. Баланецька
П. М. Григоришин

ДИФЕРЕНЦІАЦІЯ ПОЛЯРИЗАЦІЙНИХ ПОЛІКРИСТАЛІЧНИХ МЕРЕЖ ПЛІВОК ЖОВЧІ ЛЮДИНИ

Буковинський державний медичний
університет, м. Чернівці
*Чернівецький національний
університет імені Юрія Федьковича

Ключові слова: лазерна поляри-
метрія, жовч, людина.

Резюме. Робота спрямована на використання сингулярно-параметричного підходу до аналізу джонс-матричних зображень. Визначені діагностичні критерії – координатні, кореляційні і спектральні моменти 1-го – 4-го порядків розподілів випадкових значень інтенсивності при диференціації полікристалічних мереж плівок жовчі людини в нормі та патології.

Вступ

Когерентність лазерних променів зумовила необхідність розробки інших підходів до аналізу полів розсіяного випромінювання – фрактальна оптика, сингулярна оптика [1, 2]. На їхній основі визначено прямі взаємозв'язки між набором статистичних моментів 1-го – 4-го порядків, функцій автокореляції, фрактальних розмірностей, які характеризують оптико-анізотропну структуру біологічних тканин і поляризаційними параметрами (координатні розподіли азимутів і еліптичності поляризації, елементи матриці Мюллера) їхніх лазерних зображень. Існує широке коло менш вивчених біологічних об'єктів іншого типу. У першу чергу до них належать різноманітні рідини – кров, жовч, синовіальна рідина, ліквор та ін. Подальший розвиток нових підходів до аналізу векторної структури полів лазерного випромінювання, перетвореного не тільки оптико-анізотропними шарами біологічних тканин, але й плівками біологічних рідин, зокрема полікристалічними їхніми мережами білків [3]. Дослідження зумовлене необхідністю розробки нових модельних уявлень про процеси перетворення амплітудно-фазових параметрів лазерного випромінювання полікристалічними мережами плівок біологічних рідин; пошуку нових методів статистичної, фрактальної, поляризаційно-сингулярної структури таких мереж для розробки об'єктивних методик оцінювання та диференціації таких змін, зумовлених виникненням патології людського організму [4-6].

Мета дослідження

Вдосконалення використання сингулярно-параметричного підходу до аналізу джонс-матричних зображень та розподілів випадкових значень інтенсивності при диференціації полікристалічних мереж плівок жовчі людини в нормі та патології.

Матеріал і методи

В експерименті використовувалися мазки жовчі в нормі (18 зразків) та жовчокам'яна хвороба людини (18 зразків).

Оптичні властивості парціальних кристалів плівки біологічних рідин описуються оператором Джонса $\{C\}$:

$$\{C\} = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos^2 \rho + \sin^2 \rho \exp(-i\delta) & \cos \rho \sin \rho [1 - \exp(-i\delta)] \\ \cos \rho \sin \rho [1 - \exp(-i\delta)] & \sin^2 \rho + \cos^2 \rho \exp(-i\delta) \end{pmatrix},$$

тут ρ – напрямок оптичної осі; $\delta = 2\pi/\lambda \Delta n d$ – фазовий зсув між ортогональними складовими E_x і E_y амплітуди опромінюючої лазерної хвилі довжиною λ ; Δn – показник двопроромнезаломлення.

Для оцінки координатних розподілів $\chi_{ik}(x, y)$ визначаються їхні гістограми. Після чого розраховується сукупність їхніх статистичних моментів 1-го- 4-го порядків: M, σ, A, E .

Статистичний момент першого порядку характеризує середнє значення величин координатних розподілів джонс-матричних елементів

$$M = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N |(\chi_{ik})_j|$$

Під статистичним моментом 2-го порядку σ (дисперсія у випадку центрального симетричного розподілу $M = 0$) розподілу $\chi_{ik}(x, y)$ будемо розуміти міру розкиду даної випадкової величини, тобто її відхилення від математичного очікування

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (\chi_{ik})_j^2}$$

Асиметрією A або статистичним моментом 3-го порядку – є величина, яка характеризує відхилення від нормального розподілу величин χ_{ik}

$$A = \frac{1}{\sigma^3} \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (\chi_{ik})_j^3$$

Під ексцесом E , або статистичним моментом 4-го порядку, будемо розуміти міру гостроти “піка” розподілу величини того чи іншого матричного елемента χ_{ik}

$$E = \frac{1}{\sigma^4} \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (\chi_{ik})_j^4$$

В основу кореляційного підходу до оцінювання структури джонс-матричних полікристалічних мереж покладений відомий метод автокореляційного аналізу джонс-матричних зображень $\chi_{ik}(x, y)$ [7, 8] з використанням кореляційної функції $G_{ik}(\Delta x, \Delta y)$ (в подальшому автокореляційна функція) такого вигляду:

$$G_{ik}(\Delta x, \Delta y) = \lim_{\substack{x \rightarrow 0 \\ y \rightarrow 0}} \frac{1}{m \times n} \int_0^m \int_0^n [\chi_{ik}(x_1 + m, y_1 + n)] [\chi_{ik}(x - \Delta x, y - \Delta y)] dx dy,$$

тут $(\Delta x, \Delta y)$ “кроки” з якими змінюються координати (x, y) розподілів дійсної та уявної складової елементів матриці Джонса χ_{ik} ; $m; n$ – кількість пікселів у рядку і стовпчику приймальної площини цифрової камери.

З метою об’єктивізації порівняльного аналізу таких автокореляційних залежностей введемо поняття кореляційних моментів 1-го – 4-го порядків $K_{j=1;2;3;4}$:

$$K_1 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N |(G_{ik}(\Delta x; \Delta y))_j|;$$

$$K_2 = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (G_{ik}(\Delta x; \Delta y))_j^2};$$

$$K_3 = \frac{1}{K_2^3} \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (G_{ik}(\Delta x; \Delta y))_j^3;$$

$$K_4 = \frac{1}{K_2^4} \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (G_{ik}(\Delta x; \Delta y))_j^4$$

Оцінювання ступеня самоподібності або повторюваності на різних геометричних (d) масштабах структури координатних розподілів дійсної та уявної складової елементів χ_{ik} матриць Джонса різних типів полікристалічних мереж проводилося шляхом розрахунку логарифмічних залежностей спектрів потужності шляхом знаходження логарифмічних залежностей – спектрів потужності $J(G_{ik})$:

$$J(G_{ik}) = \int_{-\infty}^{+\infty} G_{ik} \cos 2\pi v \cdot dv$$

Логарифмічні залежності апроксимувалися методом найменших квадратів в криві $\Phi(\eta)$ для прямих ділянок, яких визначалися кути нахилу і відповідна їм фрактальна розмірність $D = 3 - \text{tg} \eta$.

Для вимірювання сукупності координатних розподілів дійсної та уявної складової елементів матриці Джонса плівок жовчі використовували оптичну схему поляриметра (рис. 1). Освітлення проводилося паралельним ($\emptyset = 10^4$ мкм) пучком He-Ne лазера ($\lambda = 0,6328$ мкм, $W = 5,0$ мВт). Поляризаційний освітлювач складається з чвертьхвильових пластинок 3; 5 і поляризатора 4, що забезпечує формування лазерного пучка з довільним азимутом $0^\circ \leq \alpha_0 \leq 180^\circ$ або еліптичністю $0^\circ \leq \beta_0 \leq 90^\circ$ поляризації.

Поляризаційні зображення плівок жовчі за допомогою мікрооб’єктива 7 (збільшення 4x) проектувалися на площу світлочутливої площини (800x600 пікселів) CCD-камери 10, яка забезпечувала діапазон вимірювання структурних елементів зображення для наступних розмірів 2-2000 мкм.

Умови експерименту підбиралися так, щоб практично усунути просторово-кутову апертурну фільтрацію при формуванні зображень плівок жовчі. Це забезпечувалося узгодженням кутових характеристик індикатрис розсіювання світла зразками плівок жовчі ($\Omega \approx 16^\circ$) і кутової апертури мікрооб’єктива ($\Delta\omega = 20^\circ$). Тут Ω – кутовий конус індикатрис, в якому сконцентровано 98% всієї енергії розсіяного випромінювання. Аналіз зображень плівок жовчі здійснювався за допомогою аналізатора 9 та чвертьхвильової пластинки 8.

Обговорення результатів дослідження

Досліджувались об’єкти плівки жовчі двох типів: здорової людини – рис. 2а; хворих на жовчнокам’яну хворобу – рис. 2б.

З порівняльного аналізу лазерних зображень мазків жовчі обох типів випливає подібність геометричної структури оптико-анізотропних кластерів. Більший рівень просвітлення зображення жовчі хворої людини свідчить на деяку перевагу фазової модуляції. Тому на першому етапі досліджувалися діагностичні можливості безпосереднього статистичного, кореляційного та фазового аналізу координатних розподілів параметрів уявної складової “фазових” елементів $\chi_{12;21}(m \times n)$ матриці Джонса оптично-тонких шарів жовчі обох типів.

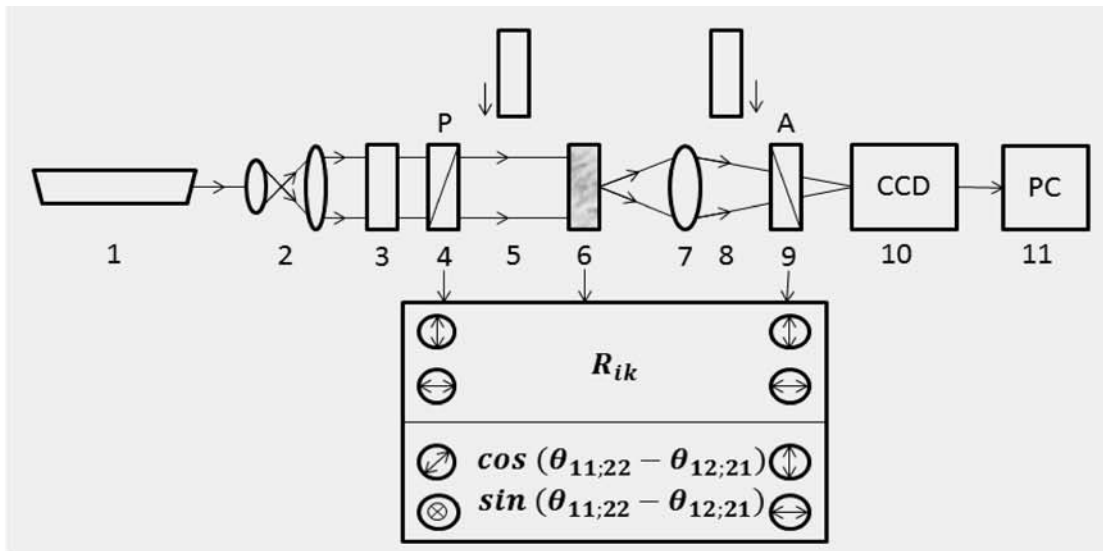


Рис. 1. Оптична схема поляриметра:

1 – He-Ne лазер; 2 – коліматор; 3 – стаціонарна чвертьхвильова пластинка; 5, 8 – механічно рухомі чвертьхвильові пластинки; 4, 9 – поляризатор і аналізатор відповідно; 6 – об’єкт дослідження; 7 – мікрооб’єктив; 10 – CCD-камера; 11 – персональний комп’ютер

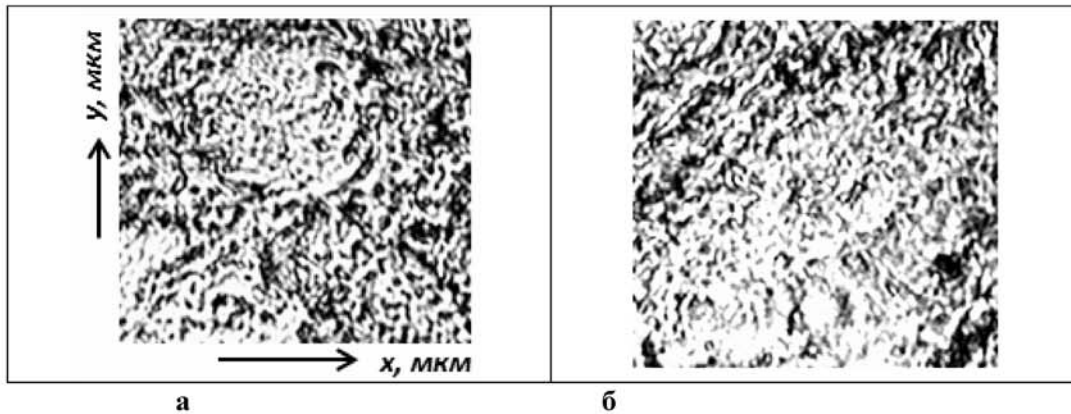


Рис. 2. Поляризаційні зображення кластерних полікристалічних мереж шарів жовчі людини різного фізіологічного стану

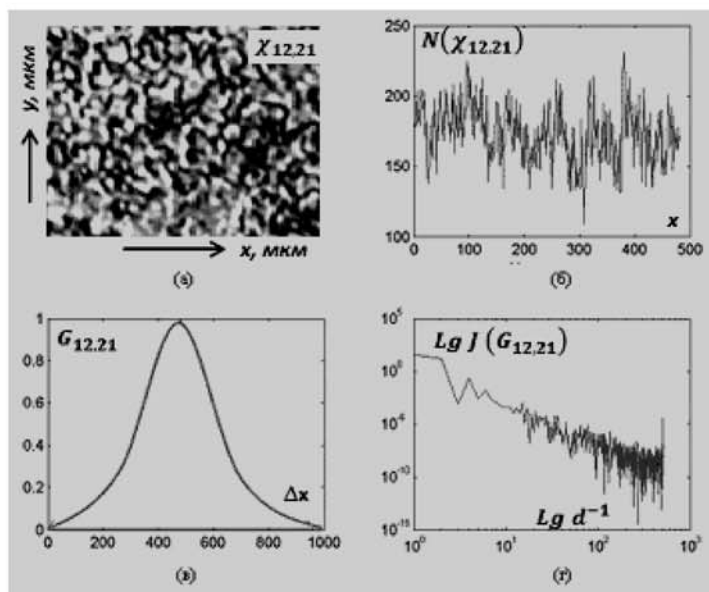


Рис. 3. Координатна (а), імовірнісна (б), кореляційна (в) та самоподібна (г) структура параметрів уявної складової елементу матриці Джонса $\chi_{12;21}$ полікристалічної мережі плівки жовчі здорової людини

На рис. 3, 4 зображено координатні розподіли параметрів уявної складової “фазових” елементів матриці Джонса $\chi_{12,21}(m \times n)$ полікристалічної мережі жовчі здорової (рис. 3) і хворої на жовчнокам’яну хворобу (рис. 4) людини та відповідні гістограми $N(\chi_{12,21})$, автокореляційні функції $G_{12,21}(\Delta x)$ логарифмічні спектральні залежності $LgJ(G_{12,21})$ таких розподілів.

Порівняльний аналіз сукупності координатних розподілів параметрів уявної складової “фазових” елементів $\chi_{12,21}(m \times n)$ матриці Джонса кластерних оптико-анізотропних мереж плівок жовчі обох типів виявив близькість імовірнісної $N(\chi_{12,21})$ (рис. 3, 4, фрагменти (б)), кореляційної $G_{12,21}(\Delta x)$ (рис. 3, 4, фрагменти (в)) і самоподібної $LgJ(G_{12,21})$ (рис. 5.8, 5.9, фрагменти (г)) структури.

Приведені результати дослідження координатної $\chi_{12,21}(m \times n)$ (а), ймовірнісної $N(\chi_{12,21})$ (б), кореляційної $G_{12,21}(\Delta x)$ (в) і самоподібної $LgJ(G_{12,21})$ (г) структури розподілів характеристичних значень параметрів уявної складової елемента матриці Джонса $\chi_{12,21} = 0$ полікристалічної мережі плівок жовчі здорової і хворої людини.

Загальна кількість характеристичних значень координатного розподілу $\chi_{12,21}(m \times n)$ параметрів уявної складової “фазового” матричного елемента (рис. 3 і 4, фрагменти (а)) для шару жовчі у випадку жовчнокам’яної хвороби зростає практично у 2 рази (рис. 2 і 3, фрагменти (б)).

Автокореляційні функції розподілів кількості $(N_{12,21}(x) \equiv (N_{12,21}^{(1)}, N_{12,21}^{(2)}, \dots, N_{12,21}^{(m)}))$ характеристичних значень для обох типів зразків жовчі спадають (рис. 3 і 4, фрагменти (г)), що вказує на координатно впорядкований закон зміни значень параметрів уявної складової “фазових” елементів матриці Джонса.

Множини значень фрактальні – логарифмічні $N_{12,21}(x) \equiv (N_{12,21}^{(1)}, N_{12,21}^{(2)}, \dots, N_{12,21}^{(m)})$ залежності спектрів потужності (рис. 3 і 4, фрагменти (г)) розподілу кількості значень $\chi_{12,21} = 0$ характеризуються одним кутом нахилу.

Кількісно статистичну, кореляційну, самоподібну структуру розподілів кількості характеристичних значень параметрів уявної складової джонс-матричних зображень плівок жовчі обох типів ілюструє набір моментів 1-го – 4-го порядків, величини та діапазони зміни яких наведені в таблиці.

З даних таблиці випливає, що до основних критеріїв діагностики латентного перебігу жовчнокам’яної хвороби можна віднести статистичні моменти 1-го – 4-го порядків, які характеризують розподіл кількості характеристичних значень у джонс-матричних зображеннях параметрів уявної складової “фазових” елементів оптико-анізотропних кластерних мереж жовчі людини.

Встановлені відмінності між величинами статистичних моментів параметрів уявної складової джонс-матричних зображень жовчі контрольної групи пацієнтів і хворих на жовчнокам’яну хворобу – середнє значення збільшене до 3 разів; дисперсія зменшена у 1,53 раза; асиметрія збільшена у 1,7 раза і ексцес збільшений 1,8 раза.

Таким чином на основі сингулярно-параметричного підходу до аналізу розподілів параметрів уявної складової $\chi_{12,21}(m \times n)$ наведено матеріали дослідження статистичних, кореляційних і спектральних моментів 1-го – 4-го порядків. Запропоновано критерії об’єктивної класифікації поляризаційних властивостей полікристалічних мереж біологічних кристалів у плівках жовчі в нормі та патології.

Висновки

Для класифікації поляризаційних проявів оптичної анізотропії полікристалічних мереж плівок жовчі людини запропоновано комплексний статистичний, кореляційний і фрактальний масштабно-селективний аналіз координатної структури уявної складової джонс-матричних зображень. На цій основі встановлені взаємозв’язки між статистичними, кореляційними та спектральними моментами 1-го – 4-го порядків, які характеризують координатні розподіли елементів матриці Джонса для диференціації поляризаційних властивостей кластерних оптико-анізотропних мереж плівок жовчі в нормі та жовчнокам’яної хвороби людини.

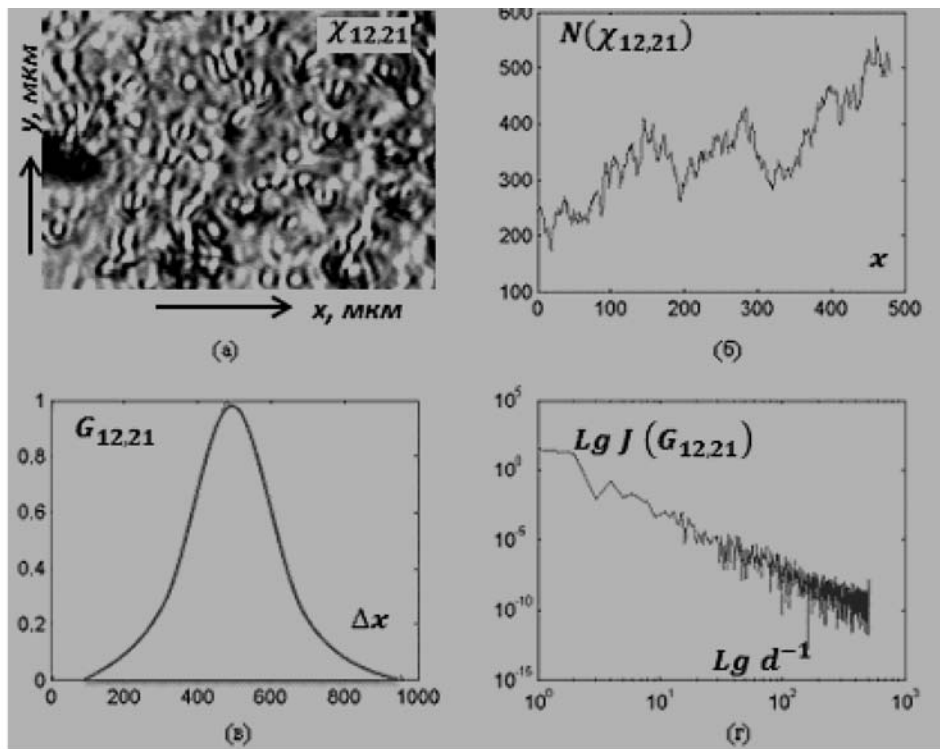


Рис. 4. Координатна (а), імовірнісна (б), кореляційна (в) та самоподібна (г) структура параметрів уявної складової елемента матриці Джонса $\chi_{12,21}$ полікристалічної мережі плівки жовчі хворої людини

Таблиця

Статистичні, кореляційні та спектральні параметри розподілів характеристичних значень параметрів уявної складової джонс-матричних зображень елемента $\chi_{12,21}(m \times n) = 0$ кластерних мереж плівок жовчі людини

Параметри	статистичні		кореляційні		спектральні	
	норма	патологія	норма	патологія	норма	патологія
1-й момент	0,18 $\pm 0,038$	0,51 $\pm 0,11$	0,48 $\pm 0,092$	0,41 $\pm 0,083$	0,17 $\pm 0,036$	0,19 $\pm 0,043$
2-й момент	0,29 $\pm 0,066$	0,19 $\pm 0,034$	0,18 $\pm 0,041$	0,23 $\pm 0,049$	0,16 $\pm 0,035$	0,13 $\pm 0,024$
3-й момент	0,47 $\pm 0,099$	0,84 $\pm 0,189$	0,16 $\pm 0,029$	0,21 $\pm 0,041$	0,11 $\pm 0,023$	0,17 $\pm 0,035$
4-й момент	0,38 $\pm 0,075$	0,65 $\pm 0,15$	0,25 $\pm 0,053$	0,32 $\pm 0,065$	0,18 $\pm 0,041$	0,25 $\pm 0,054$

Перспективи подальших досліджень

Використання сингулярно-параметричного підходу до аналізу джонс-матричних зображень полікристалічних мереж плівок біологічних рідин для диференціації їхніх поляризаційних властивостей.

Література. 1. Angelsky O.V. Fractal description of rough surfaces / O.V. Angelsky, D.N. Burkovets, A.V. Kovalchuk, S.G. Hanson. // Appl. Opt. – 2002. – Vol. 41. – P. 4620-4629. 2. Whitehouse D.J. Fractal or fiction / D.J. Whitehouse // Wear. – 2001. – Vol. 249. – P. 345-353. 3. Основи поляриметрії. Вектор-параметрична діагностика патологічного стану біологічних тканин людини / О.Г. Ушенко, Т.М. Бойчук, О.П. Пересунько, В.П. Унгуран. – Чернівці: Чернівецький нац. ун-т, 2010. – 576 с. 4. Birefringence characterization of biological tissue by use of optical coherence tomography / M.J. Everett, K. Shoenerberger,

B.W. Colsto, L.B. da Silva // Opt. Lett.– 1998. – Vol. 23. – P. 228-230. 5. Ushenko A.G. Laser Polarimetry of Biological Tissue: Principles and Applications / A.G. Ushenko, V.P. Pishak // In Handbook of Coherent-Domain Optical Methods: Biomedical Diagnostics, Environmental and Material Science. V.V. Tuchin, Ed. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2004. – Vol. 1. – P. 93-138. 6. Statistical, Correlation and Topological Approaches in Diagnostics of the Structure and Physiological State of Biotissues and their Physiological State Diagnostics / Ye.G. Ushenko, Yu.A. Ushenko, O.I. Olar [et al.] // 5th International Conference “Mechatronics-2004”. Warszawa, 2004. – P. 315-317. 8. Основи лазерної поляриметрії. Біологічні тканини людини. Монографія / [О.Г. Ушенко, Ю.О. Ушенко, Ю.Я. Томка та ін.]; під ред. О.Г. Ушенко. – [ч. 1]. – Чернівці: Чернівецький нац. ун-т, 2010. – 588 с.

**ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ
ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ПЛЕНОК
ЖЕЛЧИ ЧЕЛОВЕКА**

*Т.М. Бойчук, А.Г. Ушенко,
В.А. Баланецкая, П.М. Григоришин*

Резюме. Работа направлена на использование сингулярно-параметрического подхода к анализу джонс-матричных изображений. Определены диагностические критерии – координатные, корреляционные и спектральные моменты 1-го – 4-го порядков распределений случайных величин интенсивности при дифференциации поликристаллических сетей пленок желчи человека в норме и патологии.

Ключевые слова: лазерная поляриметрия, желчь, человек.

**DIFFERENTIATION OF POLARIZABLE
POLYCRYSTALLINE NETWORKS OF HUMAN BILE
FILMS**

*T.M. Boychuk, A.G. Ushenko,
V.A. Balanetskaya, P.M. Grigoryshyn*

Abstract. The article is focused on the singular-parametric approach used to analyse Jones matrix images. The diagnostic criteria – coordinate, correlation and spectral moments of the 1st-4th order of intensity distributions for random variables in the differentiation of polycrystalline networks of human bile films in health and pathological states have been defined.

Key words: laser polarimetry, bile, man.

**Bukovyna State Medical University (Chernivtsi)
Yu. Fedkovych National University Chernivtsi**

Clin. and experim. pathol. - 2013. - Vol. 12, №2 (44). - P.25-30.

Надійшла до редакції 17.05.2013

Рецензент – проф. В. Ф. Мислицький

*© Т. М. Бойчук, О. Г. Ушенко, В. О. Баланецька,
П. М. Григоришин, 2013*