

УДК 615.47:616.073

Н. І. ЗАБОЛОТНА, В. В. ШОЛОТА, Б. П. ОЛІЙНИЧЕНКО

ROC – АНАЛІЗ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ АЗИМУТІВ ЗОБРАЖЕНЬ ПЛІВОК ПЛАЗМИ КРОВІ У ДІАГНОСТУВАННІ ПАТОЛОГІЙ МОЛОЧНИХ ЗАЛОЗ

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

Анотація. Проведено ROC – аналіз статистичних параметрів, які характеризують азимуту поляризації лазерних зображень плівок плазми крові людини при діагностуванні та диференціації доброякісних та злоякісних станів молочних залоз, встановлено високий рівень чутливості методу.

Ключові слова: азимут поляризації, діагностика молочних залоз, поляризаційне картографування, плазма крові, статистичні параметри, ROC – аналіз.

Аннотация. Проведено ROC – анализ статистических параметров, характеризующих азимуты поляризации лазерных изображений пленок плазмы крови человека при диагностике и дифференциации доброкачественных и злокачественных состояний молочных желез, установлен высокий уровень чувствительности метода.

Ключевые слова: азимут поляризации, диагностика молочных желез, поляризационное картографирование, плазма крови, статистические параметры, ROC – анализ.

Abstract. The ROC analysis of the statistical parameters characterizing the azimuths of polarization of laser images of human plasma films in the diagnosis and differentiation of benign and malignant conditions of the mammary glands is established, and a high level of sensitivity of the method is established.

Key words: polarization azimuth, mammary gland diagnostics, polarization mapping, blood plasma, statistical parameters, ROC analysis.

ВСТУП

Протікання злоякісних та запальних процесів в молочних залозах характеризується зміною поляризаційної структури плівок плазми крові людини [1-7]. Дослідження, зокрема, азимутів лазерних зображень плівок плазми крові людини дозволяють здійснити візуальний аналіз цих змін. Об'єктивний статистичний аналіз розподілів азимутів лазерних зображень плівок плазми крові, виміряних за допомогою системи двовимірного стокс-поляриметра [4, 8, 9], дозволив визначити інформативні ознаки для подальшої класифікації станів “норма”, “злаякісні утворення”, “мастопатія” молочних залоз.

В роботі [10] проведено оцінювання інформативності поляризаційного картографування азимутів поляризації мікроскопічних лазерних зображень плівок плазми крові для діагностики доброякісних та злоякісних змін молочних залоз, визначення основних та допоміжних операційних характеристик та найбільш діагностично інформативних рішень. Встановлено [10], що найбільш інформативними виявилися статистичні моменти 3-го і 4-го порядків, які характеризують координатні розподіли азимутів поляризації лазерних мікроскопічних зображень плівок плазми крові.

В той же час, для оцінювання точності проведеної класифікації фізіологічних станів “норма”, “злаякісні утворення”, “мастопатія” молочних залоз за статистичними характеристиками розподілів азимутів поляризації лазерних зображень плівок плазми крові необхідно дослідити можливості “сліпого” або рандомізованого методу дослідження препаратів плазми крові, взятої у пацієнтів всіх трьох груп. При цьому оцінювання якості проведеної класифікації пропонується здійснити за допомогою метода аналізу ROC – кривих – операційних кривих спостерігача [12]. Принципом такого аналізу є співставлення чутливості та специфічності класифікації по рівню істинно позитивних рішень.

Мета роботи – оцінювання шляхом проведення ROC – аналізу рівня інформативності та чутливості

методу лазерного мікроскопічного картографування азимутів поляризації зображень плівок плазми крові за умов сліпої діагностики доброякісних та злоякісних станів молочної залози, а також їх диференціації.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДУ ТА МАТЕРІАЛІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Розглянемо загальну суть методу поляризаційного картографування азимутів поляризації зображень плівок плазми крові при діагностиці молочної залози, описаного детально в роботах [3, 4, 7, 10].

Так, зразок плівки плазми крові опромінюють паралельним лінійно поляризованим пучком низькокогерентного напівпровідникового лазера з довжиною хвилі 0,64 мкм і азимутом поляризації α_0 , наприклад, $\alpha_0 = 45^\circ$. Шляхом послідовного повороту площини пропускання системи “поляризатор–аналізатор” стокс–поляриметра на кути $\theta = 0^\circ; 90^\circ; 45^\circ; 135^\circ$ одержують сукупність із чотирьох відфільтрованих розподілів інтенсивностей, які проєкціюємо за допомогою мікрооб’єктиву в площину світлочутливої площадки CCD – камери роздільної здатності ($M \times N$), яка їх реєструє у вигляді відповідних лазерних мікроскопічних зображень $I(45^\circ - 0^\circ)$, $I(45^\circ - 90^\circ)$, $I(45^\circ - 45^\circ)$, $I(45^\circ - 135^\circ)$.

Значення азимута α_{jk} поляризації у точці с координатами (jk), де $j = \overline{1; M}$; $k = \overline{1; N}$, лазерного зображення плівки плазми крові людини визначається за співвідношенням [3,4,7,10]

$$\alpha_{jk} = 0,5 \arctg \left[\frac{I_{jk}(45^\circ - 45^\circ) - I_{jk}(45^\circ - 135^\circ)}{I_{jk}(45^\circ - 0^\circ) - I_{jk}(45^\circ - 90^\circ)} \right]. \quad (1)$$

В якості об’єктів дослідження нами використовувалася серія зразків мазків плазми крові трьох груп пацієнтів:

- здорові люди (донори) – група 1 (30 зразків);
- пацієнти з доброякісними змінами грудної залози – група 2 (30 зразків);
- пацієнти з злоякісними змінами грудної залози – група 3 (30 зразків).

Статистичну структуру координатних розподілів азимутів лазерного зображення плівки плазми крові характеризує сукупність статистичних характеристик відповідного розподілу, яка визначалась у вигляді середнього M_1^α , середньоквадратичного відхилення M_2^α , асиметрії M_3^α та ексцесу M_4^α і наведена в табл. 1 [10].

Таблиця 1

Середнє M_1^α , середньоквадратичне відхилення M_2^α , асиметрія M_3^α та ексцес M_4^α розподілів $\alpha(m \times n)$ лазерних мікроскопічних зображень зразків плівок плазми крові різних груп пацієнтів

M_k^α	Група 1 Норма (30 зразків)	Група 2 Мастопатія (30 зразків)	Група 3 Рак (30 зразків)
M_1^α	$0,69 \pm 0,11$	$0,71 \pm 0,13$	$0,68 \pm 0,12$
M_2^α	$0,15 \pm 0,025$	$0,19 \pm 0,034$	$0,23 \pm 0,041$
M_3^α	$1,54 \pm 0,32$	$1,29 \pm 0,21$	$0,94 \pm 0,16$
M_4^α	$2,15 \pm 0,48$	$1,87 \pm 0,37$	$1,46 \pm 0,31$

Для реалізації даного рандомізованого методу діагностики дослідження проводилося у декілька етапів:

1. Зразки плазми крові, взятої у пацієнтів групи 1 та групи 2 “перемішувалися”.
2. Проводився цикл сліпих вимірювань поляризаційних мап азимутів мікроскопічних лазерних зображень зразків плівок плазми крові обох груп пацієнтів.
3. Обчислювалися статистичні характеристики, які визначають координатні розподіли азимутів поляризації.
4. Визначалися координати точок операційних ROC – кривих для групи 1 та групи 2.
5. Зразки плазми крові, взятої у пацієнтів групи 1 та групи 3 “перемішувалися” та проводилися дослідження згідно п. п. 2 -4.
6. Зразки плазми крові, взятої у пацієнтів групи 2 та групи 3 “перемішувалися” та проводилися дослідження згідно п. п. 2 -4.

ROC – АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОЇ ДІАГНОСТИКИ ДОБРОЯКІСНИХ СТАНІВ МОЛОЧНОЇ ЗАЛОЗИ

Представимо результати ROC – аналізу сліпого методу поляризаційного картографування розподілів азимутів поляризації лазерних мікроскопічних зображень полікристалічних мереж “перемішаних” зразків плівок плазми крові, взятої у здорових жінок (група 1) та пацієнтів з доброякісними змінами молочної залози (група 2). Результати визначення шкали рішень одержувалися за гістограмою розподілу кожного статистичного параметру $M_{i=1,2,3,4}^{\alpha}$, які характеризують координатні розподіли азимута поляризації лазерних мікроскопічних зображень плівок плазми крові.

Спочатку, наприклад, для групи 2 визначався інтервал зміни випадкових значень – .

Визначений інтервал умовно розбивався на чотири рівних відрізки $\left(X_1; X_2 = X_1 + \frac{\Delta X_0}{4}; X_3 = X_1 + \frac{\Delta X_0}{2}; X_4 = X_1 + \frac{3\Delta X_0}{4}; X_5 = X_1 + \Delta X_0 \right)$. На цій основі знаходимо кількість значень (ординати) досліджуваного параметру $N_1(X_1); N_2(X_2); N_3(X_3); N_4(X_4); N_5(X_5)$; і одержуємо рівні категорії рішень по групі хворих пацієнтів $\Delta X_0^{\alpha}(M_{k=1,2,3,4}^{\alpha}) = [X - X_1] = [(X_1 + \Delta X_0) - X_1]$.

Аналогічні дії проводимо у межах групи здорових людей та одержуємо відповідні категорії рішень. Табличне представлення одержаних даних наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Шкала рішень за статистичними параметрами, які характеризують розподіли азимутів мікроскопічних зображень плівок плазми крові пацієнтів групи 1 та групи 2

<i>M</i>	Група	1	2	3	4	5
<i>M</i> ₁	Група 2	6	7	7	7	8
	Група 1	9	7	7	6	6
<i>M</i> ₂	Група 2	6	6	8	8	10
	Група 1	9	8	7	7	6
<i>M</i> ₃	Група 2	3	4	4	7	17
	Група 1	18	6	4	4	3
<i>M</i> ₄	Група 2	3	4	7	5	19
	Група 1	20	5	4	3	3

Обчислюємо табличне представлення (табл. 3) та будуємо ROC-криву (рис. 1) інформативності діагностичного методу для досліджуваного параметру азимутального картографування плівок плазми крові людини при діагностуванні доброякісних станів молочних залоз. При цьому використовуємо параметри чутливості *Se* та специфічності *Sp* методу діагностики в їх класичному розумінні [11,12].

Таблиця 3

Параметри ROC-кривих для – групи 2(мастопатія) – 1 (норма)

<i>M</i>	Параметр	1	2	3	4	5
<i>M</i> ₁	Чутливість <i>Se</i> (<i>Y</i>)	0,22	0,42	0,62	0,82	1,0
	Специфічність <i>Sp</i> (<i>X</i>)	0,17	0,34	0,54	0,74	1,0
<i>M</i> ₂	Чутливість <i>Se</i> (<i>Y</i>)	0,28	0,51	0,74	0,85	1,0
	Специфічність <i>Sp</i> (<i>X</i>)	0,17	0,37	0,57	0,74	1,0
<i>M</i> ₃	Чутливість <i>Se</i> (<i>Y</i>)	0,49	0,69	0,8	0,91	1,0
	Специфічність <i>Sp</i> (<i>X</i>)	0,09	0,2	0,31	0,49	1,0
<i>M</i> ₄	Чутливість <i>Se</i> (<i>Y</i>)	0,54	0,69	0,89	0,91	1,0
	Специфічність <i>Sp</i> (<i>X</i>)	0,09	0,17	0,29	0,43	1,0

Інформативність методу тим більша, чим ближче розташована до лівого верхнього кута системи координат *X*(*Sp*) – *Y*(*Se*) залежність кожного з параметрів $M_{k=1,2,3,4}^{\alpha}$, які характеризують координатні

розподіли азимута поляризації зображення плівок плазми крові, зразки якої досліджувалися сліпим методом у межах об'єднаних груп 1 (донори) та 2 (хворі з доброякісними змінами молочної залози).

Чим більше прилягає ROC-крива до діагоналі, тим інформативність методу є меншою. Як видно з одержаних даних:

- найбільш інформативним є аналіз асиметрії та ексцесу M_3^α і M_4^α координатних розподілів азимутів поляризації зображення плівок плазми крові людини – відповідні ROC-криві достатньо близький до лівого верхнього кута обраної системи координат $X(Sp) - Y(Se)$;
- найменш інформативним є аналіз статистичних параметрів M_1^α і 2-го M_2^α порядку – відповідні ROC-криві близькі до діагоналі обраної системи координат $X(Sp) - Y(Se)$.

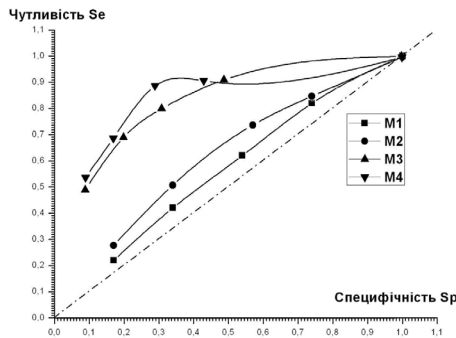


Рис. 1 – ROC –криві інформативності картографування азимутів поляризації лазерних мікроскопічних зображень плівок плазми крові, взятої у пацієнтів групи 1 та групи 2

ROC – АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОЇ ДІАГНОСТИКИ ЗЛОЯКІСНИХ СТАНІВ МОЛОЧНОЇ ЗАЛОЗИ

Представимо результати ROC – аналізу сліпого методу поляризаційного картографування розподілів азимутів поляризації лазерних мікроскопічних зображень полікристалічних мереж “перемішаних” зразків плівок плазми крові, взятої у здорових жінок (група 1) та пацієнтів з доброякісними змінами молочної залози (група 2). Результати визначення шкали рішень (табл. 4) одержувалися за гістограмою розподілу кожного із статистичних параметрів $M_{i=1;2;3;4}^\alpha$, які характеризують координатні розподіли азимута поляризації лазерних мікроскопічних зображень плівок плазми крові.

Табл. 5 і рис. 2 ілюструють параметри та залежності, визначених на основі шкали рішень (табл.5), ROC-кривих методу сліпого картографування азимутів поляризації зразків плівок плазми крові у межах об'єднаних груп донорів (група 1) та хворих на рак молочної залози (група 3).

З результатів ROC-аналізу слідує високий рівень інформативності аналізу, заснованого на визначенні асиметрії та ексцесу $M_{k=3;4}^\alpha$, які характеризують мапи азимута поляризації мікроскопічних зображень плівок плазми крові, взятої у пацієнтів з групи 1 та групи 2. Найменш інформативним виявився аналіз параметрів M_1^α , M_2^α координатних розподілів азимута поляризації – відповідні ROC-криві близькі до діагоналі обраної системи координат $X(Sp) - Y(Se)$.

Таблиця 4

Шкала рішень за статистичними параметрами, які характеризують розподіли азимутів мікроскопічних зображень плівок плазми крові пацієнтів групи 1 та групи 3

M	Група	1	2	3	4	5
M_1	Група 3	5	6	7	7	10
	Група 1	9	8	8	6	4
M_2	Група 3	4	6	7	7	11
	Група 1	10	9	8	5	3
M_3	Група 3	2	3	3	6	21
	Група 1	16	6	5	4	4
M_4	Група 3	2	3	3	4	23
	Група 1	18	3	5	4	5

Таблиця 5

Параметри ROC-кривих для – групи 3(рак) – 1 (норма)						
M	Параметр	1	2	3	4	5
M_1	Чутливість $Se(Y)$	0,28	0,48	0,68	0,86	1,0
	Специфічність $Sp(X)$	0,11	0,29	0,51	0,74	1,0
M_2	Чутливість $Se(Y)$	0,32	0,52	0,72	0,9	1,0
	Специфічність $Sp(X)$	0,08	0,23	0,46	0,71	1,0
M_3	Чутливість $Se(Y)$	0,6	0,77	0,86	0,94	1,0
	Специфічність $Sp(X)$	0,11	0,22	0,37	0,54	1,0
M_4	Чутливість $Se(Y)$	0,66	0,77	0,86	0,94	1,0
	Специфічність $Sp(X)$	0,14	0,26	0,4	0,49	1,0

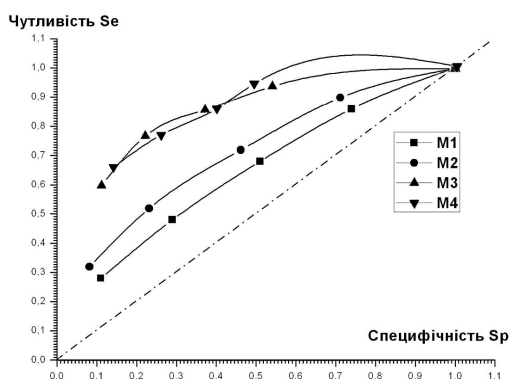


Рис. 2 ROC –криві інформативності картографування азимутів поляризації лазерних мікроскопічних зображень плівок плазми крові, взятої у пацієнтів групи 1 та групи 3

ROC – АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОЇ ДИФЕРЕНЦІАЦІЇ ДОБРОЯКІСНИХ І ЗЛОЯКІСНИХ СТАНІВ МОЛОЧНОЇ ЗАЛОЗИ

Розглянемо результати дослідження інформативності методу діагностування молочних залоз, заснованого на картографуванні розподілів азимута поляризації мікроскопічних зображень плівок плазми крові, взятої у пацієнтів з доброякісними та злоякісними змінами молочної залози, сліпим методом ROC – аналізу для диференціації таких станів. Таблиця 6 містить результати рішень визначення стану пацієнта у межах об'єднаних груп 2 і 3 за обчисленими статистичними параметрами $M_{i=1;2;3;4}^{\alpha}$, які характеризують мапи азимута поляризації мікроскопічних зображень зразків плівок плазми крові. У табл. 7 представлено визначені на основі даних таблиці 7 параметри ROC-аналізу. Рис. 3 ілюструє серію ROC-кривих для набору статистичних параметрів $M_{k=1;2;3;4}^{\alpha}$

З результатів ROC-аналізу випливає високий рівень інформативності аналізу, заснованого на визначенні асиметрії та ексцесу $M_{k=3;4}^{\alpha}$, які характеризують мапи азимута поляризації мікроскопічних зображень плівок плазми крові, не тільки у діагностиці але й у диференціації доброякісних та злоякісних станів молочної залози пацієнтів з групи 2 та групи 3 (рис. 3).

Отже, лазерна мікроскопія мап азимутів поляризації лазерних зображень плівок плазми крові виявилася інформативною та чутливою і за умов сліпої диференціації доброякісних і злоякісних змін молочної залози.

Виявлено, що даний метод є достатньо чутливим до визначення стану захворювання, але при цьому формується значна кількість хибно позитивних діагнозів. Виходячи з цього таку методику доцільно застосовувати на ранніх етапах захворювання, а сам тест використовувати у якості дискримінатора.

Таблиця 6

Шкала рішень за статистичними моментами, які характеризують розподіли азимутів мікроскопічних зображень плівок плазми крові пацієнтів групи 2 та групи 3

M	Група	1	2	3	4	5
M_1	Група 3	5	6	8	6	10
	Група 2	11	7	6	5	6
M_2	Група 3	5	6	6	7	11
	Група 2	13	7	6	5	4
M_3	Група 3	7	3	2	8	15
	Група 2	16	8	4	3	4
M_4	Група 3	8	2	2	7	16
	Група 2	18	7	2	4	4

Таблиця 7

Параметри ROC-кривих для – групи 3(рак) – 2 (доброякісні зміни)

M	Параметр	1	2	3	4	5
M_1	Чутливість $Se(Y)$	0,29	0,46	0,69	0,86	1,0
	Специфічність $Sp(X)$	0,17	0,31	0,49	0,69	1,0
M_2	Чутливість $Se(Y)$	0,32	0,51	0,72	0,86	1,0
	Специфічність $Sp(X)$	0,11	0,26	0,43	0,63	1,0
M_3	Чутливість $Se(Y)$	0,43	0,66	0,72	0,8	1,0
	Специфічність $Sp(X)$	0,11	0,2	0,31	0,54	1,0
M_4	Чутливість $Se(Y)$	0,46	0,66	0,72	0,77	1,0
	Специфічність $Sp(X)$	0,11	0,23	0,29	0,49	1,0

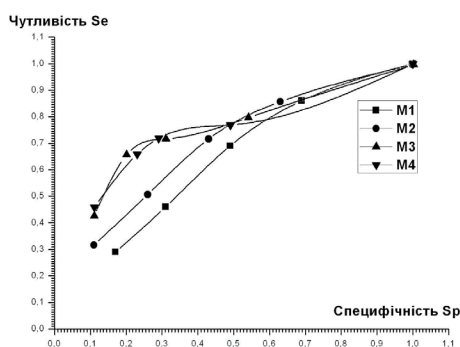


Рис. 3 ROC –криві інформативності картографування азимутів поляризації лазерних мікроскопічних зображень плівок плазми крові, взятої у пацієнтів групи 3 та групи 2

ВИСНОВКИ

Встановлено за допомогою ROC-аналізу високий рівень інформативності та чутливості методу лазерного мікроскопічного картографування азимутів поляризації зображень плівок плазми крові за умов сліпої діагностики: доброякісних змін молочної залози; злоякісних змін молочної залози; у диференціації доброякісних та злоякісних станів молочної залози.

Виявлено, що даний метод є достатньо чутливим до визначення стану захворювання, але при цьому формується значна кількість хибно позитивних діагнозів. Виходячи з цього таку методику доцільно застосовувати на ранніх етапах захворювання, а сам тест використовувати у якості дискримінатора.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Differential phase analysis of laser images of a polycrystalline component of blood plasma in diagnostics of pathological changes in mammary gland / O. P. Mintser, N. I. Zabolotna; B. P. Oliinychenko, P. Komada // Proc. SPIE. – 2012. – Vol. 8698, P. 86980D.
2. 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.
3. Мінцер О. П. Аналіз розподілів азимутів та еліптичностей поляризації лазерних зображень плазми крові для діагностики патологічних змін молочних залоз / О. П. Мінцер, С. В. Павлов, Н. І. Заболотна, [та ін.] // Фотобіологія та фотомедицина. – 2011. – № 1. – С. 118-123.
4. Інтелектуалізована система поляризаційного картографування плівок плазми крові у діагностиці онкологічного стану молочних залоз / Н. І. Заболотна, Д. Ю. Локотей, Б. П. Олійниченко // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2016. – № 1(31) – С. 36-46.
5. Zabolotna N.I. System of Mueller-Jones matrix polarizing mapping of blood plasma films in breast pathology / N. I. Zabolotna, K. O. Radchenko, M. H. Tarnovsiky // Proc. of SPIE. – 2017. – Vol.10407. – P.1040714.
6. Zabolotna N. I. Method and system of Jones-matrix mapping of blood plasma films with “fuzzy” analysis in differentiation of breast pathology changes / N. I. Zabolotna, K. O. Radchenko, Oleksandr V. Karas // Proc. of SPIE . – 2018. – Vol. 10612. – P. 106121P .
7. Патент на кор. модель №116654 Україна. Спосіб лазерної поляризаційної діагностики раку молочної залози за поляризаційними мапами плазми крові людини / Заболотна Н. І., Павлов С. В., Олійниченко Б. П.; заявник та патентовласник Вінницький нац. техніч. унів-т; u 2016 13394. – Опубл. 25.05.2017. Бюл. 10.
8. 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.
9. Zabolotna N. I. A multifunctional automated system of 2D laser polarimetry of biological tissues / N. I. Zabolotna, K. O. Radchenko // Proc. SPIE. – 2014. – Vol. 9205. – P. 92050V.
10. Дроненко О. В. Застосування системи поляризаційного картографування азимутів лазерних зображень плівок плазми крові у діагностиці патології молочних залоз / О. В. Дроненко, К. О. Радченко, І. В. Колотченко // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2013. – № 1. – С. 73-81.
11. Королюк И. П. Доказательная радиология: основные принципы и подходы к ее реализации / И. П. Королюк // Радиология – практика. – 2007. – № 5. – С. 7-21.
12. Королюк И. П. ROC- анализ (операционные характеристики наблюдателя): базовые принципы и применение в лучевой диагностике / И. П. Королюк // Медицинская визуализация. – 2013. – С. 113-123.

REFERENCES

1. Differential phase analysis of laser images of a polycrystalline component of blood plasma in diagnostics of pathological changes in mammary gland / O. P. Mintser, N. I. Zabolotna; B. P. Oliinychenko, P. Komada // Proc. SPIE. – 2012. – Vol. 8698, P. 86980D.
2. 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.
3. Mintser O. P. Analiz rozpodiliv azymutiv ta eliptychnostei poliaryzatsii lazernykh zobrazhen plazmy krovi dlia diahnostryky patolohichnykh zmin molochnykh zaloz / O. P. Mintser, S. V. Pavlov, N. I. Zabolotna, [ta in.] // Fotobiologhiia ta fotomedytsyna. – 2011. – № 1. – S. 118-123.
4. Intelktualizovana systema poliaryzatsiinoho kartohrafuvannia plivok plazmy krovi u diahnostrytsi onkolohichnoho stanu molochnykh zaloz / N. I. Zabolotna, D. Y. Lokotei, B. P. Oliinychenko // Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnolohii. – 2016. – № 1 (31). – S. 36-46.
5. Zabolotna N. I. System of Mueller-Jones matrix polarizing mapping of blood plasma films in breast pathology / N. I. Zabolotna, K. O. Radchenko, M. H. Tarnovsiky // Proc. of SPIE. – 2017. – Vol. 10407. – P. 1040714.
6. Zabolotna N. I. Method and system of Jones-matrix mapping of blood plasma films with “fuzzy”

- analysis in differentiation of breast pathology changes / N. I. Zabolotna, K. O. Radchenko, Oleksandr V. Karas // Proc. of SPIE . – 2018. – Vol. 10612. – P. 106121P .
7. Patent na kor. model №116654 Ukraina. Sposib lazernoi poliaryzatsiinoi diahnostryky raku molochnoi zalozy za poliaryzatsiinymy mapamy plazmy krovi liudyny / Zabolotna N. I., Pavlov S. V., Oliinychenko B. P; zaiavnyk ta patentovlasnyk Vinnytskyi nats. tekhnich. univ-t; u 2016 13394. – Opubl. 25.05.2017. Biul. 10.
 8. Zabolotna N. I. Arkhitektura i alhorytmy funktsionuvannia ta analizu danykh dvovymirnykh system lazernoi poliarymetrii biolohichnykh tkanyn / N. I. Zabolotna // Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnolohii. – 2013. – № 1(25). – S. 54-65.
 9. Zabolotna N. I. A multifunctional automated system of 2D laser polarimetry of biological tissues / N. I. Zabolotna, K. O. Radchenko // Proc. SPIE. – 2014. – Vol. 9205. – P. 92050V.
 10. Dronenko O. V. Zastosuvannia systemy poliaryzatsiinoho kartohrafuvannia azymutiv lazernykh zobrazhen plivok plazmy krovi u diahnostrytsi patolohii molochnykh zaloz / O. V. Dronenko, K. O. Radchenko, I. V. Kolotchenko // Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnolohii. – 2013. – № 1. – S. 73-81.
 11. Koroliuk I. P. Dokazatelna radyolohyia: osnovnye pryntsypy y podkhody k ee realizatsyy / I. P. Koroliuk // Radyolohyia – praktyka. – 2007. – № 5. – S. 7-21.
 12. Koroliuk I. P. ROC- analiz (operatsyonnye kharakterystyky nabliudatelia): bazovye pryntsypy y prymerenye v luchevoi dyahnostryke / I. P. Koroliuk // Medytsynskaia vyzualyzatsyia. – 2013. – S. 113-123.

Надійшла до редакції 03.05.2017р.

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

ШОЛОТА ВЛАДИСЛАВА ВЛАДИСЛАВІВНА – студентка кафедри автоматики та інформаційно-вимірювальної техніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна, E-mail: vladislava.sholota@gmail.com

ОЛІЙНИЧЕНКО БОГДАН ПЕТРОВИЧ – лікар, Інститут планування сім'ї, м. Вінниця, Україна