

## СУДОВО-МЕДИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ДАВНОСТІ УТВОРЕННЯ УШКОДЖЕНЬ ВНУТРІШНІХ ОРГАНІВ ЛЮДИНИ МЕТОДОМ РЕКОНСТРУКЦІЇ ОПТИЧНОЇ АКТИВНОСТІ ГІСТОЛОГІЧНИХ ЗРІЗІВ

Литвиненко О.Ю.<sup>1</sup>, Ванчуляк О.Я.<sup>1</sup>, Ушенко Ю.О.<sup>2</sup>, Мотрич А.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Буковинський державний медичний університет, м. Чернівці, Україна

<sup>2</sup>Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, м. Чернівці, Україна

**Резюме.** У статті наведені результати експериментальної апробації методики томографічної реконструкції мап циркулярного двопронезаломлення молекулярних комплексів у цифровому гістологічному дослідженні давності ушкодження тканин внутрішніх органів (мозку, печінки та нирки); часового моніторингу величини середнього, дисперсії, асиметрії й ексцесу, що характеризують розподіли величини оптичної активності гістологічних зрізів мозку, печінки та нирки; виявлення часової тривалості лінійної зміни статистичних параметрів і точності встановлення давності ушкодження внутрішніх органів людини цифровими гістологічними методами поляризаційної реконструкції (томографії) циркулярного двопронезаломлення молекулярних комплексів.

**Мета роботи.** Розроблення методики визначення давності ушкодження внутрішніх органів людини цифровими гістологічними методами поляризаційної реконструкції циркулярного двопронезаломлення молекулярних комплексів.

**Матеріали та методи.** Об'єктом дослідження були гістології зразків внутрішніх органів людини (мозок, нирка та печінка) з різною давністю ушкодження від 1 до 120 годин. Для контролю використовували зразки біологічних тканин (БТ) померлих від ішемічної хвороби серця (ІХС) з різною давністю ушкодження від 1 до 120 годин. Дослідження проводили, застосовуючи методику поляризаційної реконструкції циркулярного двопронезаломлення молекулярних комплексів.

**Результати.** Визначений набір діагностично-актуальних взаємозв'язків між часовими змінами статистичної структури топографічних мап циркулярного двопронезаломлення оптично активних молекулярних комплексів гістологічних зрізів внутрішніх органів людини з різною давністю ушкодження та варіаціями величини середнього, дисперсії, асиметрії й ексцесу, що характеризують розподіли величини даного параметра анізотропії.

**Висновок.** Розроблений новий оригінальний метод томографії оптичної активності молекулярних комплексів тканин внутрішніх органів людини в цифровому гістологічному дослідженні давності ушкодження тканин мозку, печінки та нирки, а також міокарда та легеневої тканини на часовому інтервалі від 1 до 120 годин.

**Ключові слова:** дисперсія, асиметрія, поляризаційно-цифрова гістологія, азимут поляризації.

Серед чисельних напрямів оптичної діагностики БТ важливе місце займає Мюллер-матрична поляриметрія (ММП). [1-6] Цей метод дає виключно повну інформацію про поляризаційні прояви оптичних властивостей БТ. Новим рівнем ММП оптично-тонких, не деполаризуючих біологічних шарів стало розроблення методик відтворення розподілів параметрів фазової й амплітудної анізотропії. [8-20]

Наша стаття спрямована на судово-медичну апробацію методики поляризаційної реконструкції (томографії) полікристалічної структури гістологічних зрізів БТ у визначенні давності утворення ушкоджень внутрішніх органів людини.

**Мета роботи.** Розроблення методики визначення давності ушкодження внутрішніх органів людини цифровими гістологічними методами поляризаційної реконструкції циркулярного двопронезаломлення молекулярних комплексів.

**Матеріали та методи.** Дизайн поляризаційної томографії полікристалічної структури гістологічних зрізів БТ внутрішніх органів людини ілюструє структурно-логічна схема, що приведена на рис. 1.

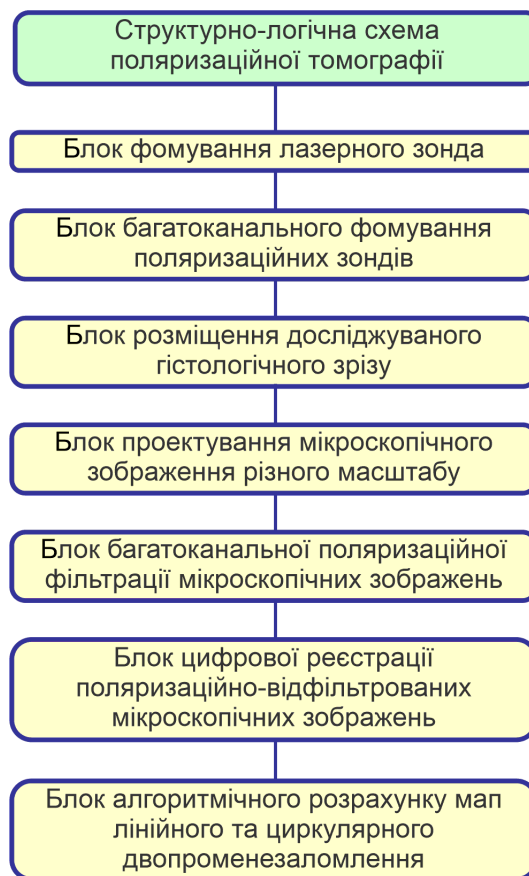


Рис. 1. Структурно-логічна схема поляризаційної реконструкції параметрів полікристалічної складової гістологічних зрізів біологічних тканин внутрішніх органів людини.

Були сформовані наступні групи дослідних зразків гістологічних зрізів внутрішніх органів (міокарда та легеневої тканини) людини: контрольна з померлих від ІХС та дослідні з різною давністю ушкодження (табл. 1).

Таблиця 1

### Групи дослідних зразків гістологічних зрізів внутрішніх органів

Внутрішній орган	Групи									
	контрольна	дослідні з різною давністю ушкодження, год								
Мозок, нирка, печінка	померлі від ІХС (21)	1	6	12	18	24	48	72	96	120
		21	21	21	21	21	21	21	21	21

Статистичний аналіз даних цифрової поляризаційної гістології виконувався з використанням програмного продукту MATLAB 6 за наступним алгоритмом:

- введення масиву даних про координатні розподіли величини азимута й еліптичності поляризації;
- визначення гистограми розподілу – оператор HIST;
- розрахунок статистичних моментів 1-4-го порядків – оператор STAT:
  - ❖ середнє розподілу, що характеризує середнє значення величини діагностичного параметра;
  - ❖ дисперсія розподілу, що окреслює середньоквадратичний розкид величини діагностичного параметра;
  - ❖ асиметрія розподілу, що характеризує відхилення від нормального розподілу випадкової величини;
  - ❖ ексцес розподілу, що окреслює ступінь гостроти «піка» розподілу випадкової величини.

В основу розроблення алгоритму встановлення давності утворення ушкоджень внутрішніх органів людини ми поклали результати з визначення давності настання смерті (ДНС), що були одержані науковою групою під керівництвом професора В.Т. Бачинського (Буковинський

державний медичний університет). [21-24]

Головною парадигмою цих методик є часовий моніторинг зміни статистичних параметрів, що характеризують некротичні зміни морфологічної структури БТ у постмортальному періоді.

Критерієм виявлення інтервалу визначення ДНС є часовий інтервал неперервної лінійної зміни величини статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли поляризаційних параметрів мікроскопічних зображень зі збільшенням  $\times 4$ , яке забезпечує аналіз морфологічної структури різноманітних біологічних тканин.

Розроблений підхід став базисом нашого узагальнення на випадок встановлення давності ушкодження внутрішніх органів людини на різних оптичних збільшеннях від  $\times 4$  до  $\times 40$ , а також з використанням азимутально-стабільних поляризаційних мап гістологічних зрізів досліджуваних тканин.

Були встановлені наступні співвідношення для визначення давності (часу  $\tau^*$ ) ушкодження внутрішніх органів людини з точністю  $\Delta\tau^*$ :

$$\tau^* = (SM_i^{(1)} - SM_i^{(0)}) \frac{\tau_2 - \tau_1}{SM_i^{(2)} - SM_i^{(1)}},$$

де  $SM_i^{(0)}$  – величина статистичного моменту, що обчислена для поляризаційної, Мюллер-матричної або томографічної мапи гістологічного зрізу неушкодженої тканини внутрішнього органа;

$\tau_1$  – час початку вимірювань величини статистичних моментів 1-4-го порядків  $SM_i^{(1)}$ ;

$\tau_2$  – час завершення лінійної зміни величини статистичних моментів 1-4-го порядків  $SM_i^{(2)}$ ;

$\tau_0$  – невідомий час виникнення ушкодження.

### Результати.

Диференціальна цифрова гістологічна діагностика давності утворення ушкоджень мозку людини методом томографії циркулярного двопронезаломлення. Подальше розширення функціональних можливостей і довготривалої діагностичної чутливості цифрової гістологічної методики поляризаційної томографії визначення давності ушкоджень внутрішніх органів людини забезпечило використання великомасштабного ( $\times 40$ ) поляризаційно-томографічного відтворення оптичної активності зразків тканини мозку контрольної та сукупності дослідних вибірок (рис. 2, табл. 2).

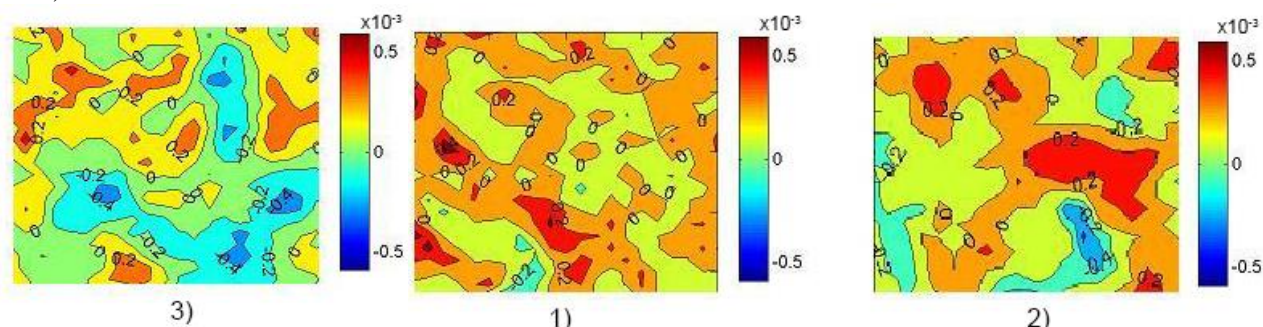


Рис. 2. Мапи розподілів величини циркулярного двопронезаломлення ( $\times 40$ ) гістологічних зрізів мозку померлих з контрольної (1) і дослідних груп з різною давністю ушкодження (6 год – (2), 18 год – (3)).

Були встановлені наступні характеристики цифрового гістологічного статистичного моніторингу зміни величини середнього, дисперсії, асиметрії й ексцесу, що характеризують координатні великомасштабні мапи топографічної структури оптичної активності речовини репрезентативних вибірок зразків тканини мозку з контрольної та сукупності дослідних груп:

- статистичні моменти 1-го (середнє) та 2-го (дисперсія) порядків – два лінійних інтервали 1-24 год та 24-72 год, діапазони зміни власних значень 1,03 та 0,71 відповідно;
- статистичний момент 3-го порядку (асиметрія) – два лінійних інтервали максимальної часової зміни 1-24 год та 24-120 год, діапазон зміни власних значень 3,01;

- статистичний момент 4-го порядку (ексцес) – два лінійних інтервали максимальної часової зміни 1-24 год та 24-120 год, діапазон зміни власних значень 4,19.

Таблиця 2

**Часова динаміка зміни статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли величини циркулярного двопронезаломлення ( $\times 40$ ) гістологічних зрізів мозку**

T, год	2	4	6	12	18
$SM_1 \times 10^{-3}$	0,97 $\pm$ 0,041	0,84 $\pm$ 0,032	0,71 $\pm$ 0,029	0,57 $\pm$ 0,022	0,43 $\pm$ 0,019
p	<0,05				
$SM_2 \times 10^{-3}$	0,84 $\pm$ 0,031	0,78 $\pm$ 0,026	0,72 $\pm$ 0,022	0,61 $\pm$ 0,021	0,49 $\pm$ 0,018
p	<0,05				
$SM_3$	0,57 $\pm$ 0,021	0,73 $\pm$ 0,031	0,92 $\pm$ 0,037	1,31 $\pm$ 0,052	1,69 $\pm$ 0,068
p	<0,05				
$SM_4$	0,65 $\pm$ 0,026	0,89 $\pm$ 0,037	1,38 $\pm$ 0,049	1,81 $\pm$ 0,073	2,34 $\pm$ 0,099
p	<0,05				
T, год	24	48	72	96	120
$SM_1 \times 10^{-3}$	0,19 $\pm$ 0,008	0,07 $\pm$ 0,003	0,02 $\pm$ 0,001	0,03 $\pm$ 0,002	0,02 $\pm$ 0,001
p	<0,05			>0,05	
$SM_2 \times 10^{-3}$	0,37 $\pm$ 0,015	0,25 $\pm$ 0,013	0,13 $\pm$ 0,005	0,14 $\pm$ 0,009	0,13 $\pm$ 0,006
p	<0,05			>0,05	
$SM_3$	2,06 $\pm$ 0,105	2,44 $\pm$ 0,12	2,82 $\pm$ 0,13	3,19 $\pm$ 0,14	3,58 $\pm$ 0,15
p	<0,05				
$SM_4$	2,82 $\pm$ 0,13	3,36 $\pm$ 0,16	3,83 $\pm$ 0,18	4,39 $\pm$ 0,21	4,84 $\pm$ 0,22
p	<0,05				

Диференційна цифрова гістологічна діагностика давності утворення ушкоджень печінки людини методом томографії циркулярного двопронезаломлення. Функціональні можливості в плані розширення довготривалості діагностичної чутливості методики цифрової гістологічної поляризаційної томографії оптичної активності молекулярних комплексів для визначення давності ушкоджень внутрішніх органів людини були продемонстровані шляхом застосування великомасштабної ( $\times 40$ ) реконструкції топографічних розподілів величини циркулярного двопронезаломлення зразків тканини печінки з контрольної та сукупності дослідних репрезентативних вибірок з наступним аналізом одержаних даних у межах статистичного підходу (рис. 3, табл. 3).

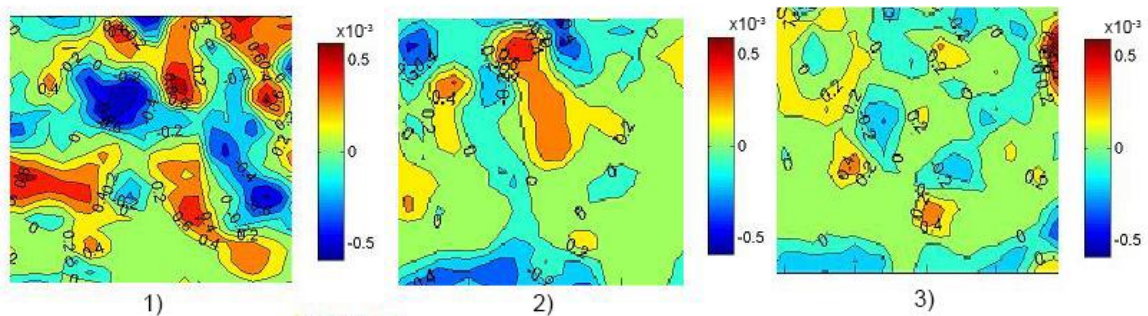


Рис. 3. Мапи розподілів величини циркулярного двопронезаломлення ( $\times 40$ ) гістологічних зрізів печінки померлих з контрольної групи (1), дослідних груп з різною давністю ушкодження (6 год – (2), 18 год – (3)).

Було показано, що використання статистичного аналізу часової динаміки зміни топографічних великомасштабних поляризаційних томограм ступеня циркулярного двопронезаломлення оптично активних молекулярних комплексів зразків гістологічних зрізів печінки забезпечило максимально можливі діапазони (до 120 год) установа давності ушкодження шляхом детектування лінійних інтервалів зміни величини середнього, дисперсії, асиметрії й ексцесу, що характеризують розподіли величини двопронезаломлення



репрезентативних вибірок зразків з контрольної та сукупності дослідних груп:

- статистичний момент 1-го порядку, що окреслює середнє розподілу величини циркулярного двопронезаломлення – два лінійних інтервали 1-24 год та 24-72 год, діапазон зміни власних значень 0,7;
- статистичний момент 2-го порядку, що характеризує дисперсію розкиду випадкової величини оптичної активності – два лінійних інтервали 1-24 год та 24-72 год, діапазон зміни власних значень 0,57;
- статистичний момент 3-го порядку, що окреслює асиметрію розподілу величини циркулярного двопронезаломлення молекулярних комплексів – два лінійних інтервали 1-24 год та 24-120 год, діапазон зміни власних значень 5,49;
- статистичний момент 4-го порядку, що характеризує ексцес розподілу величини циркулярного двопронезаломлення – два лінійних інтервали 1-24 год та 24-120 год, діапазон зміни власних значень 6,46.

Таблиця 3

**Часова динаміка зміни статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли величини циркулярного двопронезаломлення ( $\times 40$ ) гістологічних зрізів печінки**

Т, год	2	4	6	12	18
$SM_1 \times 10^{-3}$	0,72 $\pm$ 0,034	0,66 $\pm$ 0,031	0,59 $\pm$ 0,023	0,45 $\pm$ 0,019	0,32 $\pm$ 0,012
p	<0,05				
$SM_2 \times 10^{-3}$	0,59 $\pm$ 0,024	0,53 $\pm$ 0,031	0,47 $\pm$ 0,019	0,35 $\pm$ 0,013	0,23 $\pm$ 0,008
p	<0,05				
$SM_3$	0,83 $\pm$ 0,032	1,18 $\pm$ 0,041	1,53 $\pm$ 0,057	2,23 $\pm$ 0,092	2,93 $\pm$ 0,11
p	<0,05				
$SM_4$	0,95 $\pm$ 0,035	1,35 $\pm$ 0,058	1,78 $\pm$ 0,067	2,53 $\pm$ 0,011	3,34 $\pm$ 0,15
p	<0,05				
Т, год	24	48	72	96	120
$SM_1 \times 10^{-3}$	0,21 $\pm$ 0,008	0,08 $\pm$ 0,004	0,02 $\pm$ 0,005	0,03 $\pm$ 0,006	0,04 $\pm$ 0,005
p	<0,05			>0,05	
$SM_2 \times 10^{-3}$	0,11 $\pm$ 0,004	0,05 $\pm$ 0,013	0,02 $\pm$ 0,012	0,03 $\pm$ 0,012	0,02 $\pm$ 0,012
p	<0,05			>0,05	
$SM_3$	3,68 $\pm$ 0,15	4,33 $\pm$ 0,18	5,04 $\pm$ 0,22	5,74 $\pm$ 0,25	6,32 $\pm$ 0,28
p	<0,05				
$SM_4$	4,16 $\pm$ 0,16	4,96 $\pm$ 0,22	5,76 $\pm$ 0,26	6,63 $\pm$ 0,29	7,41 $\pm$ 0,34
p	<0,05				

Диференційна цифрова гістологічна діагностика давності утворення ушкоджень нирки людини методом томографії циркулярного двопронезаломлення. Великомасштабні ( $\times 40$ ) томограми оптичної активності гістологічних зрізів нирки з контрольної (1) і дослідних ((2), (3)) груп представлені на рис. 4.

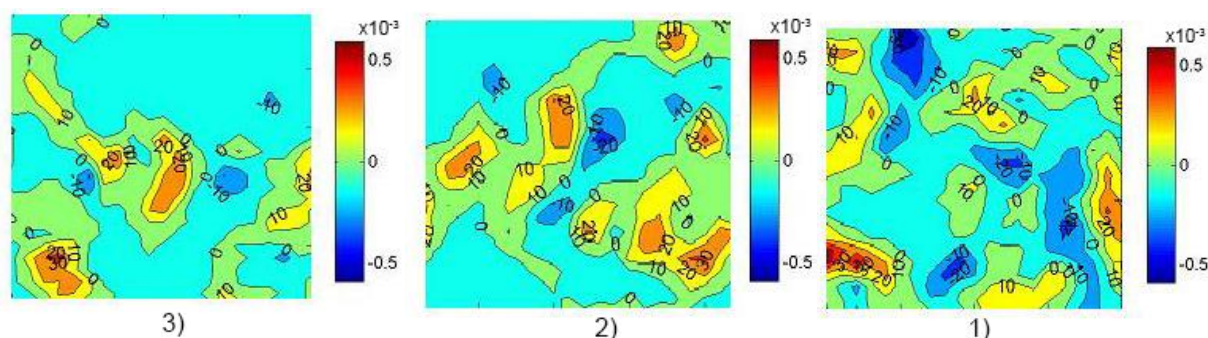


Рис. 4. Мапи розподілів величини циркулярного двопронезаломлення ( $\times 40$ ) гістологічних зрізів нирки.

Статистичний аналіз часової динаміки трансформації топографічної структури великомасштабних поляризаційно-відтворених (алгоритмічно реконструйованих) томограм ступеня циркулярного двопротенезаломлення оптично активних молекулярних комплексів зразків гістологічних зрізів нирки забезпечив досягнення, як і у випадках цифрового гістологічного дослідження томограм тканин нирки (табл. 4), максимально можливих діапазонів (до 120 год) установлення давності ушкодження:

- статистичний момент 1-го порядку (середнє) – два лінійних інтервали 1-24 год та 24-72 год, діапазон зміни власних значень 0,7;
- статистичний момент 2-го порядку (дисперсія) – два лінійних інтервали 1-24 год та 24-72 год, діапазон зміни власних значень 0,57;
- статистичний момент 3-го порядку (асиметрія) – два лінійних інтервали 1-24 год та 24-120 год, діапазон зміни власних значень 5,49;
- статистичний момент 4-го порядку (ексцес) – два лінійних інтервали 1-24 год та 24-120 год, діапазон зміни власних значень 6,46.

Таблиця 4

**Часова динаміка зміни статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли величини циркулярного двопротенезаломлення ( $\times 40$ ) гістологічних зрізів нирки**

T, год	2	4	6	12	18
$SM_1 \times 10^{-3}$	0,79 $\pm$ 0,029	0,72 $\pm$ 0,024	0,65 $\pm$ 0,022	0,51 $\pm$ 0,019	0,34 $\pm$ 0,012
p	<0,05				
$SM_2 \times 10^{-3}$	0,68 $\pm$ 0,027	0,605 $\pm$ 0,023	0,53 $\pm$ 0,019	0,39 $\pm$ 0,014	0,25 $\pm$ 0,011
p	<0,05				
$SM_3$	0,67 $\pm$ 0,025	1,09 $\pm$ 0,048	1,52 $\pm$ 0,067	2,41 $\pm$ 0,11	3,21 $\pm$ 0,14
p	<0,05				
$SM_4$	0,77 $\pm$ 0,028	1,26 $\pm$ 0,051	1,72 $\pm$ 0,073	2,68 $\pm$ 0,11	3,51 $\pm$ 0,15
p	<0,05				
T, год	24	48	72	96	120
$SM_1 \times 10^{-3}$	0,21 $\pm$ 0,008	0,09 $\pm$ 0,003	0,02 $\pm$ 0,001	0,03 $\pm$ 0,002	0,02 $\pm$ 0,001
p	<0,05			>0,05	
$SM_2 \times 10^{-3}$	0,11 $\pm$ 0,004	0,055 $\pm$ 0,002	0,03 $\pm$ 0,001	0,04 $\pm$ 0,002	0,03 $\pm$ 0,002
p	<0,05			>0,05	
$SM_3$	4,04 $\pm$ 0,18	4,92 $\pm$ 0,21	5,71 $\pm$ 0,25	6,49 $\pm$ 0,29	7,21 $\pm$ 0,32
p	<0,05				
$SM_4$	4,22 $\pm$ 0,19	5,16 $\pm$ 0,22	6,03 $\pm$ 0,27	6,32 $\pm$ 0,28	7,11 $\pm$ 0,31
p	<0,05				

Часові інтервали та точність цифрової гістології методом поляризаційної реконструкції оптичної активності. Дані наведені в табл. 5.

#### **Висновки.**

1. Розроблений новий оригінальний метод томографії оптичної активності молекулярних комплексів тканин внутрішніх органів людини в цифровому гістологічному дослідженні давності ушкодження тканин мозку, печінки та нирки, а також міокарда та легеневої тканини на часовому інтервалі від 1 год до 120 год.
2. Визначений набір діагностично-актуальних взаємозв'язків між часовими змінами статистичної структури топографічних мап циркулярного двопротенезаломлення оптично активних молекулярних комплексів гістологічних зрізів внутрішніх органів людини з різною давністю ушкодження та варіаціями величини середнього, дисперсії, асиметрії й ексцесу, що характеризують розподіли величини даного параметра анізотропії.
3. Встановлені сценарії зміни топографічних томограм оптичної активності залежно від давності ушкодження – зростання даного параметра супроводжується зменшенням величини статистичних моментів 1-го (середнього) та 2-го (дисперсії) порядків, статистичні моменти 3-го (асиметрія) та 4-го (ексцес) порядків, навпаки, зростають.

4. Визначені набір часових діапазонів лінійної зміни варіацій величини статистичних моментів 1-4-го порядків, що характеризують розподіли даних томографічної методики оптичної активності молекулярних комплексів цифрової гістології, та точність встановлення давності ушкодження внутрішніх органів людини:

4.1. дрібномасштабні томограми циркулярного двопронезаломлення ( $\times 4$ ):

- ❖ середнє – 48 год, точність – 35-45 хв;
- ❖ дисперсія – 48 год, точність – 35-45 хв;
- ❖ асиметрія – 72 год, точність – 25-35 хв;
- ❖ ексцес – 72 год, точність – 25-35 хв;

4.2. великомасштабні томограми циркулярного двопронезаломлення ( $\times 40$ ):

- ❖ середнє – 72 год, точність – 30-35 хв;
- ❖ дисперсія – 72 год, точність – 30-35 хв;
- ❖ асиметрія – 120 год, точність – 15-25 хв;
- ❖ ексцес – 120 год, точність – 15-25 хв.

Таблиця 5

**Часові інтервали та точність методу реконструкції оптичної активності гістологічних зрізів внутрішніх органів**

Мозок				
Статистичні моменти	інтервал, год		точність, хв	
Збільшення	$\times 4$	$\times 40$	$\times 4$	$\times 40$
Середнє	1-24 24-48	1-24 24-72	35 45	30 35
Дисперсія	1-24 24-48	1-24 24-72	35 45	30 35
Асиметрія	1-24 24-72	1-24 24-120	25 35	15 25
Ексцес	1-24 24-72	1-24 24-120	25 35	15 25
Печінка				
Статистичні моменти	інтервал, год		точність, хв	
Збільшення	$\times 4$	$\times 40$	$\times 4$	$\times 40$
Середнє	1-24 24-48	1-24 24-72	40 50	35 45
Дисперсія	1-24 24-48	1-24 24-72	40 50	35 45
Асиметрія	1-24 24-72	1-24 24-120	30 40	25 35
Ексцес	1-24 24-72	1-24 24-120	30 40	25 35
Нирка				
Статистичні моменти	інтервал, год		точність, хв	
Збільшення	$\times 4$	$\times 40$	$\times 4$	$\times 40$
Середнє	1-24 24-48	1-24 24-72	35 45	30 35
Дисперсія	1-24 24-48	1-24 24-72	35 45	30 35
Асиметрія	1-24 24-48	1-24 24-72	25 35	20 30
Ексцес	1-24 24-72	1-24 24-120	25 35	20 30
Середнє	1-24 24-72	1-24 24-120	25 35	20 30

**Фонди.** Дослідження виконане завдяки підтримці Національного фонду досліджень України/Проект 2020.02/0061 і в рамках науково-дослідної роботи за темою «Експертна діагностика змін біологічних тканин та середовищ людини за морфологічними та лабораторними

показниками у вирішенні актуальних питань судово-медичної науки та практики» (№ держреєстрації 0118U00.1191).

### Література

1. Tuchin VV. Tissue Optics: Light Scattering Methods and Instruments for Medical Diagnosis [Internet]. 2nd ed. Bellingham: SPIE Press; 2007 [cited 2021 Sep 16]. 882 p. Available from: <https://spie.org/Publications/Book/684093> doi: 10.1117/3.684093
2. Wang X, Yao G, Wang LV. Monte Carlo model and single-scattering approximation of the propagation of polarized light in turbid media containing glucose Appl Opt. 2002;41(4):792-801. doi: 10.1364/ao.41.000792
3. Wang X, Wang LV. Propagation of polarized light in birefringent turbid media: a Monte Carlo study. J Biomed Opt. 2002;7(3):279-90. doi: 10.1117/1.1483315
4. Ghosh N, Vitkin IA. Tissue polarimetry: concepts, challenges, applications and outlook. J Biomed Opt [Internet]. 2011 Nov [cited 2021 Sep 16];16(11):110801. Available from: <https://www.spiedigitallibrary.org/journals/journal-of-biomedical-optics/volume-16/issue-11/110801/Tissue-polarimetry-concepts-challenges-applications-and-outlook/10.1117/1.3652896.full> doi: 10.1117/1.3652896
5. Tuchin VV, editor. Handbook of Photonics for Biomedical Science. London: CRC Press; 2010. Ghosh N, Wood M, Vitkin A, Polarized Light Assessment of Complex Turbid Media Such as Biological Tissues Using Mueller Matrix Decomposition; p. 253-82.
6. Tynes HH, Kattawar GW, Zege EP, Katsev IL, Prikhach AS, Chaikovskaya LI. Monte Carlo and Multicomponent Approximation Methods for Vector Radiative Transfer by use of Effective Mueller Matrix Calculations. Appl Opt. 2001;40(3):400-12. doi: 10.1364/ao.40.000400
7. Tuchin VV, editor. Handbook of Optical Biomedical Diagnostics, 2nd ed. Bellingham: SPIE Press; 2016. Part 1, Khlebtsov NG, Maksimova IL, Meglinski I, Wang LV, Tuchin VV, Introduction to Light Scattering by Biological Objects; p. 1-155.
8. Tuchin VV, editor. Handbook of Coherent-Domain Optical Methods: Biomedical Diagnostics, Environmental and Material Science. Vol. 1. Boston: Kluwer Academic Publishers; 2004. Ushenko AG, Pishak VP, Laser Polarimetry of Biological Tissue: Principles and Applications; p. 93-138.
9. Tuchin VV, editor. Handbook of Photonics for Biomedical Science. London: CRC Press; 2010. Angelsky OV, Ushenko AG, Ushenko YuA, Pishak VP, Peresunko AP, Statistical, Correlation and Topological Approaches in Diagnostics of the Structure and Physiological State of Birefringent Biological Tissues; p. 283-322.
10. Tuchin VV, editor. Handbook of Coherent-Domain Optical Methods. 2nd ed. New York: Springer Science; 2013. Ushenko YA, Boychuk TM, Bachynsky VT, Mincer OP, Diagnostics of Structure and Physiological State of Birefringent Biological Tissues: Statistical, Correlation and Topological Approaches; p. 107.
11. Ushenko VA, Gavrylyak MS. Azimuthally invariant Mueller-matrix mapping of biological tissue in differential diagnosis of mechanisms protein molecules networks anisotropy. In: Proc. SPIE 8812, Biosensing and Nanomedicine VI, 88120Y [Internet]. 2013 Sep 11 [cited 2021 Sep 16]. Available from: <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/8812/88120Y/Azimuthally-invariant-Mueller-matrix-mapping-of-biological-tissue-in-differential/10.1117/12.2023686.full?SSO=1> doi: 10.1117/12.2023686
12. Ushenko VA, Gorsky MP. Complex degree of mutual anisotropy of linear birefringence and optical activity of biological tissues in diagnostics of prostate cancer. Optics and Spectroscopy. 2013;115(2):290-7.
13. Ushenko VA, Dubolazov AV. Correlation and self similarity structure of polycrystalline network biological layers Mueller matrices images. In: Proc. SPIE 8856, Applications of Digital Image Processing XXXVI, 88562D [Internet]. 2013 Sep 26 [cited 2021 Sep 16]. Available from: <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/8856/88562D/Correlation-and-self-similarity-structure-of-polycrystalline-network-biological-layers/10.1117/12.2023602.full> doi: 10.1117/12.2023602
14. Ushenko YuA, Ushenko VA, Dubolazov AV, Balanetskaya VO, Zabolotna NI. Mueller-matrix



- diagnostics of optical properties of polycrystalline networks of human blood plasma. *Opt Spectrosc.* 2012;112(6):884-92. doi: 10.1134/S0030400X12050232
15. Ushenko YuA, Dubolazov AV, Balanetskaya VO, Karachevtsev AO, Ushenko VA. Wavelet-analysis of polarization maps of human blood plasma. *Opt Spectrosc.* 2012;113(3):332-43. doi: 10.1134/S0030400X12070260
  16. Ushenko VO. Spatial-frequency polarization phasometry of biological polycrystalline networks. *Opt Mem Neural Networks.* 2013;22(1):56-64. doi: 10.3103/S1060992X13010050
  17. Ushenko VO, Pavlyukovich ND, Trifonyuk L. Spatial-Frequency Azimuthally Stable Cartography of Biological Polycrystalline Networks. *Int J Opt.* 2013;2013(3):7. doi: 10.1155/2013/683174
  18. Ungurian VP, Ivashchuk OI, Ushenko VO. Statistical analysis of polarizing maps of blood plasma laser images for the diagnostics of malignant formations. In: *Proc. SPIE 8338, Tenth International Conference on Correlation Optics, 83381L* [Internet]. 2011 Nov 22 [cited 2021 Nov 16]. Available from: <https://spie.org/Publications/Proceedings/Paper/10.1117/12.920592> doi: 10.1117/12.920592
  19. Ushenko VA, Dubolazov OV, Karachevtsev AO. Two wavelength Mueller matrix reconstruction of blood plasma films polycrystalline structure in diagnostics of breast cancer. *Appl Opt.* 2014;53(10):B128-39. doi: 10.1364/AO.53.00B128
  20. Prysyazhnyuk VP, Ushenko YuA, Dubolazov AV, Ushenko AG, Ushenko VA. Polarization-dependent laser autofluorescence of the polycrystalline networks of blood plasma films in the task of liver pathology differentiation. *Appl Opt.* 2016;55(12):B126-32. doi: 10.1364/AO.55.00B126
  21. Ushenko YuA, Bachynsky VT, Vanchulyak OYa, Dubolazov AV, Garazdyuk MS, Ushenko VA. Jones-matrix mapping of complex degree of mutual anisotropy of birefringent protein networks during the differentiation of myocardium necrotic changes. *Appl Opt.* 2016;55(12):B113-9. doi: 10.1364/AO.55.00B113

## References

1. Tuchin VV. *Tissue Optics: Light Scattering Methods and Instruments for Medical Diagnosis* [Internet]. 2nd ed. Bellingham: SPIE Press; 2007 [cited 2021 Sep 16]. 882 p. Available from: <https://spie.org/Publications/Book/684093> doi: 10.1117/3.684093
2. Wang X, Yao G, Wang LV. Monte Carlo model and single-scattering approximation of the propagation of polarized light in turbid media containing glucose *Appl Opt.* 2002;41(4):792-801. doi: 10.1364/ao.41.000792
3. Wang X, Wang LV. Propagation of polarized light in birefringent turbid media: a Monte Carlo study. *J Biomed Opt.* 2002;7(3):279-90. doi: 10.1117/1.1483315
4. Ghosh N, Vitkin IA. Tissue polarimetry: concepts, challenges, applications and outlook. *J Biomed Opt* [Internet]. 2011 Nov [cited 2021 Sep 16];16(11):110801. Available from: <https://www.spiedigitallibrary.org/journals/journal-of-biomedical-optics/volume-16/issue-11/110801/Tissue-polarimetry-concepts-challenges-applications-and-outlook/10.1117/1.3652896.full> doi: 10.1117/1.3652896
5. Tuchin VV, editor. *Handbook of Photonics for Biomedical Science*. London: CRC Press; 2010. Ghosh N, Wood M, Vitkin A, Polarized Light Assessment of Complex Turbid Media Such as Biological Tissues Using Mueller Matrix Decomposition; p. 253-82.
6. Tynes HH, Kattawar GW, Zege EP, Katsev IL, Prikhach AS, Chaikovskaya LI. Monte Carlo and Multicomponent Approximation Methods for Vector Radiative Transfer by use of Effective Mueller Matrix Calculations. *Appl Opt.* 2001;40(3):400-12. doi: 10.1364/ao.40.000400
7. Tuchin VV, editor. *Handbook of Optical Biomedical Diagnostics*, 2nd ed. Bellingham: SPIE Press; 2016. Part 1, Khlebtsov NG, Maksimova IL, Meglinski I, Wang LV, Tuchin VV, Introduction to Light Scattering by Biological Objects; p. 1-155.
8. Tuchin VV, editor. *Handbook of Coherent-Domain Optical Methods: Biomedical Diagnostics, Environmental and Material Science*. Vol. 1. Boston: Kluwer Academic Publishers; 2004. Ushenko AG, Pishak VP, Laser Polarimetry of Biological Tissue: Principles and Applications; p. 93-138.
9. Tuchin VV, editor. *Handbook of Photonics for Biomedical Science*. London: CRC Press; 2010. Angelsky OV, Ushenko AG, Ushenko YuA, Pishak VP, Peresunko AP, Statistical, Correlation and

Topological Approaches in Diagnostics of the Structure and Physiological State of Birefringent Biological Tissues; p. 283-322.

10. Tuchin VV, editor. Handbook of Coherent-Domain Optical Methods. 2nd ed. New York: Springer Science; 2013. Ushenko YA, Boychuk TM, Bachynsky VT, Mincer OP, Diagnostics of Structure and Physiological State of Birefringent Biological Tissues: Statistical, Correlation and Topological Approaches; p. 107.
11. Ushenko VA, Gavrylyak MS. Azimuthally invariant Mueller-matrix mapping of biological tissue in differential diagnosis of mechanisms protein molecules networks anisotropy. In: Proc. SPIE 8812, Biosensing and Nanomedicine VI, 88120Y [Internet]. 2013 Sep 11 [cited 2021 Sep 16]. Available from: <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/8812/88120Y/Azimuthally-invariant-Mueller-matrix-mapping-of-biological-tissue-in-differential/10.1117/12.2023686.full?SSO=1> doi: 10.1117/12.2023686
12. Ushenko VA, Gorsky MP. Complex degree of mutual anisotropy of linear birefringence and optical activity of biological tissues in diagnostics of prostate cancer. Optics and Spectroscopy. 2013;115(2):290-7.
13. Ushenko VA, Dubolazov AV. Correlation and self similarity structure of polycrystalline network biological layers Mueller matrices images. In: Proc. SPIE 8856, Applications of Digital Image Processing XXXVI, 88562D [Internet]. 2013 Sep 26 [cited 2021 Sep 16]. Available from: <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/8856/88562D/Correlation-and-self-similarity-structure-of-polycrystalline-network-biological-layers/10.1117/12.2023602.full> doi: 10.1117/12.2023602
14. Ushenko YuA, Ushenko VA, Dubolazov AV, Balanetskaya VO, Zabolotna NI. Mueller-matrix diagnostics of optical properties of polycrystalline networks of human blood plasma. Opt Spectrosc. 2012;112(6):884-92. doi: 10.1134/S0030400X12050232
15. Ushenko YuA, Dubolazov AV, Balanetskaya VO, Karachevtsev AO, Ushenko VA. Wavelet-analysis of polarization maps of human blood plasma. Opt Spectrosc. 2012;113(3):332-43. doi: 10.1134/S0030400X12070260
16. Ushenko VO. Spatial-frequency polarization phasometry of biological polycrystalline networks. Opt Mem Neural Networks. 2013;22(1):56-64. doi: 10.3103/S1060992X13010050
17. Ushenko VO, Pavlyukovich ND, Trifonyuk L. Spatial-Frequency Azimuthally Stable Cartography of Biological Polycrystalline Networks. Int J Opt. 2013;2013(3):7. doi: 10.1155/2013/683174
18. Ungurur VP, Ivashchuk OI, Ushenko VO. Statistical analysis of polarizing maps of blood plasma laser images for the diagnostics of malignant formations. In: Proc. SPIE 8338, Tenth International Conference on Correlation Optics, 83381L [Internet]. 2011 Nov 22 [cited 2021 Sep 16]. Available from: <https://spie.org/Publications/Proceedings/Paper/10.1117/12.920592> doi: 10.1117/12.920592
19. Ushenko VA, Dubolazov OV, Karachevtsev AO. Two wavelength Mueller matrix reconstruction of blood plasma films polycrystalline structure in diagnostics of breast cancer. Appl Opt. 2014;53(10):B128-39. doi: 10.1364/AO.53.00B128
20. Prysazhnyuk VP, Ushenko YuA, Dubolazov AV, Ushenko AG, Ushenko VA. Polarization-dependent laser autofluorescence of the polycrystalline networks of blood plasma films in the task of liver pathology differentiation. Appl Opt. 2016;55(12):B126-32. doi: 10.1364/AO.55.00B126
21. Ushenko YuA, Bachynsky VT, Vanchulyak OYa, Dubolazov AV, Garazdyuk MS, Ushenko VA. Jones-matrix mapping of complex degree of mutual anisotropy of birefringent protein networks during the differentiation of myocardium necrotic changes. Appl Opt. 2016;55(12):B113-9. doi: 10.1364/AO.55.00B113

## **FORENSIC DETERMINATION OF DETERMINATION OF DAMAGE TO HUMAN INTERNAL ORGANS BY THE METHOD OF RECONSTRUCTION OF THE OPTICAL ACTIVITY OF HISTOLOGICAL SECTIONS**

**Litvinenko A.Yu.<sup>1</sup>, Vanchulyak A.Ya.<sup>1</sup>, Ushenko Yu.O.<sup>2</sup>, Motrich A.V.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Bukovina State Medical University, Chernivtsi, Ukraine

<sup>2</sup>Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsi, Ukraine

**Summary.** The article presents the results of experimental testing of the technique of tomographic

reconstruction of circular birefringence maps of molecular complexes in a digital histological study of the age of damage to tissues of internal organs (brain, liver and kidney) of temporary monitoring of the mean value, dispersion, asymmetry and kurtosis, characterizing the distribution of the magnitude of the optical activity of histological sections of the brain, liver and kidney identification of the temporal extent of linear changes in statistical parameters and the accuracy of determining the duration of damage to human internal organs by digital histological methods of polarization reconstruction (tomography) of circular birefringence of molecular complexes.

**Aim of the work.** Development of a technique for determining the duration of damage to human internal organs by digital histological methods of polarization reconstruction of circular birefringence of molecular complexes.

**Materials and methods.** The object of the study was the histology of samples of human internal organs (brain, kidney and liver) with different duration of damage from 1 hour to 120 hours. For control, we used BT samples of those who died from coronary artery disease with different duration of damage from 1 hour to 120 hours. The studies were carried out using the technique of polarization reconstruction of circular birefringence of molecular complexes.

**Results.** A set of treatment-relevant relationships between temporal changes in the statistical structure of topographic maps of circular birefringence of optically active molecular complexes of histological sections of human internal organs with different duration of damage and variations in the mean value, dispersion, asymmetry and kurtosis, characterizing the distribution of the value of this parameter of anisotropy, has been determined.

**Conclusions.** A new original method has been developed for tomography of the optical activity of molecular complexes of tissues of human internal organs in a digital histological study of the age of damage to the tissues of the brain, liver and kidney, as well as the myocardium and lung tissue at a time interval of 1 hour. up to 120 hours

**Keywords:** dispersion, asymmetry, polarization-digital histology, polarization azimuth.

## СУДЕБНО-МЕДИЦИНСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ВНУТРЕННИХ ОРГАНОВ ЧЕЛОВЕКА МЕТОДОМ РЕКОНСТРУКЦИИ ОПТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ГИСТОЛОГИЧЕСКИХ СРЕЗОВ

Литвиненко А.Ю.<sup>1</sup>, Ванчуляк А.Я.<sup>1</sup>, Ушенко Ю.А.<sup>2</sup>, Мотрич А.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Буковинский государственный медицинский университет, г. Черновцы, Украина

<sup>2</sup>Черновицкий национальный университет им. Ю. Федьковича, г. Черновцы, Украина

**Резюме.** В статье приведены результаты экспериментальной апробации методики томографической реконструкции карт циркулярного двулучепреломления молекулярных комплексов в цифровом гистологическом исследовании давности повреждения тканей внутренних органов (мозга, печени и почки); временного мониторинга величины среднего, дисперсии, асимметрии и эксцесса, характеризующих распределения величины оптической активности гистологических срезов мозга, печени и почки; выявления временной протяженности линейного изменения статистических параметров и точности установления давности повреждения внутренних органов человека цифровыми гистологическими методами поляризационной реконструкции (томографии) циркулярного двулучепреломления молекулярных комплексов.

**Цель работы.** Разработка методики определения давности повреждения внутренних органов человека цифровыми гистологическими методами поляризационной реконструкции циркулярного двулучепреломления молекулярных комплексов.

**Материалы и методы.** Объектом исследования были гистологии образцов внутренних органов человека (мозг, почка и печень) с разной давностью повреждения от 1 до 120 часов. Для контроля использовали образцы биологических тканей (БТ) умерших от ишемической болезни сердца (ИБС) с различной давностью повреждения от 1 до 120 часов. Исследования проводили, используя методику поляризационной реконструкции циркулярного двулучепреломления молекулярных комплексов.

**Результаты.** Определен набор диагностически актуальных взаимосвязей между

временными изменениями статистической структуры топографических карт циркулярного двулучепреломления оптически активных молекулярных комплексов гистологических срезов внутренних органов человека с разной давностью повреждения и вариациями величины среднего, дисперсии, асимметрии и эксцесса, характеризующих распределения величины данного параметра анизотропии.

**Вывод.** Разработан новый оригинальный метод томографии оптической активности молекулярных комплексов тканей внутренних органов человека в цифровом гистологическом исследовании давности повреждения тканей мозга, печени и почки, а также миокарда и легочной ткани на временном интервале от 1 до 120 часов.

**Ключевые слова:** дисперсия, асимметрия, поляризационно-цифровая гистология, азимут поляризации.

#### **Відомості про авторів:**

Литвиненко О.Ю. – завідувач відділення судово-медичної гістології КМУ «Обласне бюро судово-медичної експертизи» Департаменту охорони здоров'я Чернівецької ОДА, м. Чернівці, Україна, e-mail: sawasawa901@gmail.com

Ванчуляк О.Я. – доктор медичних наук, професор кафедри судової медицини та медичного правознавства Буковинського державного медичного університету, м. Чернівці, Україна, e-mail: wanchulyak@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0243-1894

Ушенко Ю.О. – професор, доктор фізико-математичних наук, завідувач кафедри комп'ютерних наук Чернівецького національного університету ім. Ю. Федьковича, м. Чернівці, Україна, e-mail: o.ushenko@chnu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-7015-7423

Мотрич А.В. – кандидат фізико-математичних наук, асистент кафедри оптики та видавничо-поліграфічної справи Чернівецького національного університету ім. Ю. Федьковича, м. Чернівці, Україна, e-mail: a.motrich@chnu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0003-3185-6461

#### **Information about the authors:**

Lytvynenko O.Yu. – Head of the Department of Forensic Medical Histology of the CMI «Regional Bureau of Forensic Medical Examination» of the Department of Health of Chernivtsi Regional State Administration, Chernivtsi, Ukraine, e-mail: sawasawa901@gmail.com

Vanchulyak O.Ya. – Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Forensic Medicine and Medical Law of the Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine, e-mail: wanchulyak@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0243-1894

Ushenko Yu.O. – professor, Doctor of Physics and Mathematics Sci., Head of the Department of Computer Science, Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsi, Ukraine, e-mail: o.ushenko@chnu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-7015-7423

Motrich A.V. – PhD of Physics and Mathematics Sci., Assistant of the Department of Optics and Publishing and Printing, Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsi, Ukraine, e-mail: a.motrich@chnu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0003-3185-6461

#### **Сведения об авторах:**

Литвиненко А.Ю. – заведующая отделением судебно-медицинской гистологии КМУ «Областное бюро судебно-медицинской экспертизы» Департамента здравоохранения Черновицкой ОГА, г. Черновцы, Украина, e-mail: sawasawa901@gmail.com

Ванчуляк О.Я. – доктор медицинских наук, профессор кафедры судебной медицины и медицинского правоповедения Буковинского государственного медицинского университета, г. Черновцы, Украина, e-mail: wanchulyak@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0243-1894

Ушенко Ю.А. – профессор, доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой компьютерных наук Черновицкого национального университета им. Ю. Федьковича, г. Черновцы, Украина, e-mail: o.ushenko@chnu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-7015-7423

Мотрич А.В. – кандидат физико-математических наук, ассистент кафедры оптики и полиграфии Черновицкого национального университета им. Ю. Федьковича, г. Черновцы, Украина, e-mail: a.motrich@chnu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0003-3185-6461