

ЕКОЛОГІЯ, ЕКОЛОГІЧНА КІБЕРНЕТИКА ТА ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 681.518.3: 535.243.2

В. Г. Петрук¹
С. М. Кватернюк¹
О. Є. Кватернюк¹
В. В. Гончарук¹
О. І. Моканюк²

**МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ КОЛЬОРУ
НОРМАЛЬНИХ І ПАТОЛОГІЧНИХ БІОТКАНИН**¹Вінницький національний технічний університет;²Вінницький національний медичний університет ім. М. І. Пирогова

Вдосконалено метод визначення координат кольору нормальних і патологічних біотканин шкіри за умови використання стандартних джерел освітлення, що дозволяє з високою точністю діагностувати ушкодження біотканини шкіри внаслідок механічної травми тупим предметом для задач судово-медичної експертизи. Розраховано координати кольору нормальних і патологічних біотканин шкіри на основі відомих спектральних характеристик коефіцієнта дифузного відбивання.

Ключові слова: математична модель, біотканина, координати кольору, шкіра людини, механічна травма.

Вступ

Для засобів діагностування поверхневих пошкоджень біотканин у судовій медицині важливими є можливість оперативного визначення та документальної фіксації ступеня ушкодження, а також аналіз його особливих ознак. Стан поверхневих патологій біотканин суттєво впливає на їх колір, а тому аналіз та класифікація поверхневих патологій біотканин за кольором особливо актуальні для судово-медичної діагностики. Важливо проводити порівняльні дослідження для біотканин шкіри, підданої механічних впливам з відомими характеристиками предмету ураження, сили удару, в результаті яких можна заздалегідь припускати, які структурні та біохімічні зміни відбуватимуться у біотканинах.

Метою дослідження є подальший розвиток методу визначення координат кольору нормальних і патологічних біотканин шкіри на основі спектральних характеристик коефіцієнта дифузного відбивання, що дозволяють підвищити точність діагностування ушкодження біотканини внаслідок механічної травми тупим предметом відповідно до задач судово-медичної експертизи.

**Математичне моделювання змін спектральних характеристик коефіцієнта
дифузного відбивання патологічної біотканини**

Механічний вплив твердих тупих предметів на біотканини шкіри супроводжується ураженням та розривом підшкірних та глибоко розміщених судин з кровотечею з них. Накопичена в осередку ураження кров просвічує через шкіру, утворюючи кровопідтік. Поняття «кровопідтік» об'єднує різні за походженням та інтенсивністю накопичення крові в товщі м'яких тканин та в проміжках між ними. Кровопідтіки при механічних ураженнях виникають внаслідок кровотечі переважно з артеріол та дрібних артерій [1, 2]. Відразу після нанесення травми внаслідок механічного ушкодження біотканини шкіри людини тупим предметом відбувається ушкодження мікросудин і капілярів у шарах дерми та вилив великої кількості крові в приповерхневі шари шкіри.

Розрахунок спектральних характеристик коефіцієнта дифузного відбивання неушкодженої (інтактної) та патологічної біотканини шкіри людини проведено на основі математичної моделі багатосарової структури, кожен з шарів якої має поглинальні і розсіювальні властивості, зумовлені біоло-

гічними компонентами, присутніми в біотканинах [3]. Для ураженої біотканини шкіри вважатимемо, що об'ємний вміст крові у дермі зростає від 20 до 50 % у порівнянні з 1...6 % для нормальної інтактної шкіри. Розраховані спектральні характеристики частки коефіцієнта дифузного відбивання від окремих шарів біотканини шкіри показано на рис. 1 для випадків інтактної шкіри при зміні об'ємної концентрації меланіну в епідермісі від 0,5 до 3 % (рис. 1а); інтактної шкіри при зміні об'ємного вмісту крові в дермі від 3,5 до 6 % (рис. 1б); патологічної ділянки шкіри при зміні об'ємного вмісту крові в дермі від 20 до 50 % внаслідок механічного ушкодження тупим предметом (рис. 1в).

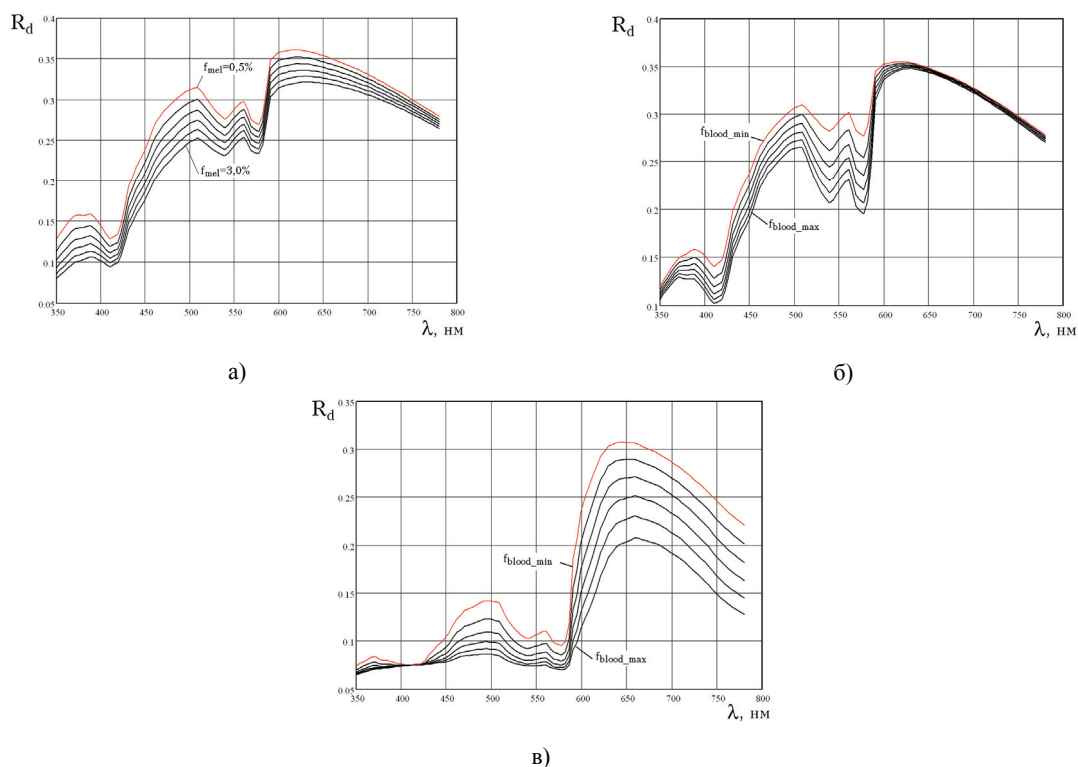


Рис. 1. Результати моделювання спектральних характеристик коефіцієнта дифузного відбивання неушкодженої (інтактної) та патологічної біотканини шкіри людини: а) інтактна шкіра $f_{mel} = 0,5...3\%$; б) інтактна шкіра $f_{blood} = 3,5...6\%$; в) патологічна ділянка шкіри $f_{blood} = 20...50\%$

Після ушкодження біотканини шкіри виникає синець, у якому протягом тривалого часу відбуваються біохімічні та структурні зміни. Кров, що проникла у приповерхневий шар, поступово змінює свої властивості. Відбувається процес дезоксигенації гемоглобінів в травмованих тканинах, їх перехід у метгемоглобін, а того, в свою чергу — в білірубін. Ці процеси приводять до зміни світлорозсіювання та трансформації оптичного випромінювання в ушкоджених ділянках шкіри і, як наслідок, зміни їх координат кольору.

В перші години (2—4 години) кров, яка проникла з судин, містить оксигемоглобін, що надає кровопідтіку яскраво-червоний колір. Далі оксигемоглобін переходить у відновлений гемоглобін з темно-червоним забарвленням кровопідтіку з синюватим відтінком. Через 1 добу відновлений гемоглобін переходить у метгемоглобін з додаванням фіолетового відтінку. На цій стадії «цвітіння» кровопідтіку зменшується, оскільки метгемоглобін більш стійкий, ніж оксигемоглобін. Далі метгемоглобін поступово переходить у білівердин і в вердогемокхромоген, що мають зелений колір. Це надає кровопідтіку спочатку синьо-багровий колір, а потім буровато-жовтий. Після цього колір змінюється на зелений, а зелений на жовтий з утворенням на 5—6-й день білірубину, що надає жовте забарвлення, яке поступово послаблюється та зникає. Оскільки кровопідтік є проявом механічного ушкодження м'яких тканин, то у ньому відбувається асептичне запалення, максимум якого проявляється після 2 діб і повністю зникає до 16—18 діб.

Загальноприйнята схема встановлення давності по «цвітінню» кровопідтіку така [1]: у перші дві години кровопідтік проявляється у вигляді червоно-багрової припухлості за рахунок наявності у крововиливі оксигемоглобіну. Протягом наступних 6—12 годин він набуває синьо-багрового відтінку в результаті переходу оксигемоглобіну у відновлений гемоглобін. До кінця першої доби після ураження відновлений гемоглобін переходить у метгемоглобін, що надає кровопідтіку си-

ньо-фіолетовий відтінок. До кінця другої доби — початку третьої доби додається зеленуватий відтінок по краях за рахунок утворення білівердину і вердогемохромогену, інтенсивність якого зростає і зберігається до 5—8 діб, іноді до 10 діб. На 7 добу по периферії кровопідтіку з'являється жовтуватий (жовтувато-коричневий) відтінок за рахунок утворення білірубину і гемосидерину. До цього часу кровопідтік в центральній частині зберігає в середній частині синювате забарвлення, в середній зоні зеленувате. Такий стан може зберігатись до 10 діб посттравматичного періоду. На 10—15 добу на стадії жовтуватого забарвлення кровопідтік поступово зникає. Вказані терміни є усередненими і їх коливання залежать від багатьох факторів (об'ємної частини крові в ураженій ділянці, локалізації кровопідтіку, загального стану організму, типу лікування та наявності супутніх захворювань).

Перетворення спектральних характеристик об'єкта діагностування у координати кольору

Колір характеризується координатами точки в колірному просторі, утвореному трьома векторами для певного стандартного спостерігача і певного стандартного джерела освітлення. Відповідно до рекомендацій міжнародної комісії з освітлення (МКО) для колориметричних вимірювань використовують координати кольору X_{10} , Y_{10} , Z_{10} та L^* , a^* , b^* [4].

Координати кольору X_{10} , Y_{10} , Z_{10} відповідають додатковій стандартній колориметричній системі МКО 1964 р. для вимірювання з кутовою апертурою понад 4° (10° — спостерігач).

Координати кольору X_{10} , Y_{10} , Z_{10} визначають за формулами чисельного інтегрування в межах довжин хвиль від 380 до 760 нм:

$$X_{10} = k_{10} \sum_{\lambda=380}^{760} \varphi(\lambda) \bar{x}_{10}(\lambda) \Delta\lambda; \quad (1)$$

$$Y_{10} = k_{10} \sum_{\lambda=380}^{760} \varphi(\lambda) \bar{y}_{10}(\lambda) \Delta\lambda; \quad (2)$$

$$Z_{10} = k_{10} \sum_{\lambda=380}^{760} \varphi(\lambda) \bar{z}_{10}(\lambda) \Delta\lambda, \quad (3)$$

де k_{10} — нормувальний коефіцієнт, значення якого розраховують за формулою

$$k_{10} = \frac{100}{\sum_{\lambda=380}^{760} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) \Delta\lambda}, \quad (4)$$

отриманою за умови $Y_{10} = 100$, що відповідає ідеальному розсіювачу; $\varphi(\lambda)$ — спектральний променистий потік, який є добутком відносного спектрального розподілу енергії стандартного джерела освітлення $S(\lambda)$ і спектрального коефіцієнта яскравості $\beta(\lambda)$ або спектрального коефіцієнта відбивання $\rho(\lambda)$

$$\varphi(\lambda) = S(\lambda)\beta(\lambda) \text{ або } \varphi(\lambda) = S(\lambda)\rho(\lambda); \quad (5)$$

$\bar{x}_{10}(\lambda)$, $\bar{y}_{10}(\lambda)$, $\bar{z}_{10}(\lambda)$ — питомі координати кольору для стандартного спостерігача МКО 1964 р.; $\Delta\lambda$ — інтервал довжин хвиль, нм.

Апроксимуємо характеристики $\bar{x}_{10}(\lambda)$, $\bar{y}_{10}(\lambda)$, $\bar{z}_{10}(\lambda)$ зі стандарту [4] за допомогою лінійної сплайн-апроксимації у Mathcad 2013 (рис. 2а).

Координатами кольоровості в цій системі є $x_{10}(\lambda)$ і $y_{10}(\lambda)$

$$x_{10} = \frac{X_{10}}{X_{10} + Y_{10} + Z_{10}}; \quad (6)$$

$$y_{10} = \frac{Y_{10}}{X_{10} + Y_{10} + Z_{10}}. \quad (7)$$

Для реалізації можливості порівняння між собою результатів різних вимірювань координат кольору МКО рекомендований ряд стандартних випромінювань і відтворюючих їх джерел освітлення. Стандартне джерело освітлення A відповідає світлу вольфрамової лампи розжарювання з коре-

льованою колірною температурою $T = 2856$ К. Основним стандартним джерелом освітлення для колориметричних вимірювань МКО вважається джерело освітлення D_{65} , що відповідає природному денному світлу з корельованою колірною температурою $T = 6500$ К. Джерело освітлення F_{11} відтворює світло вузькосмугової білої флуорисцентної лампи з корельованою колірною температурою 4000 К. Характеристики спектрального розподілу енергії $S(\lambda)$ для стандартних джерел освітлення, які наведені в стандарті [4], апроксимуємо з використанням лінійної сплайн-апроксимації у Mathcad 2013 (рис. 2б).

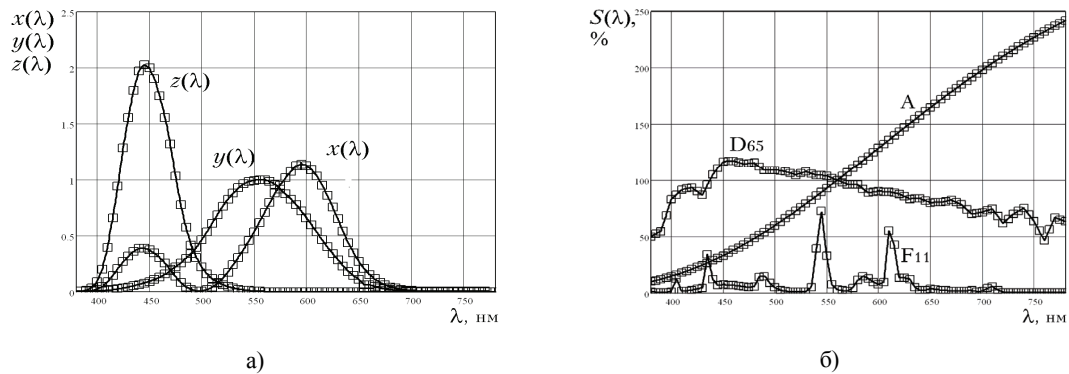


Рис. 2. Питомі координати кольору для спостерігача з кутовою апертурою 10° (а) та розподіл відносної спектральної енергії від стандартних джерел освітлення D_{65} , A та F_{11} (б) за МКО 1964 р. відповідно до ISO 7724-1:1984 [4]

На основі спектрів коефіцієнта дифузного відбивання нормальної та патологічної біотканини шкіри розраховуємо координати кольору X_{10} , Y_{10} , Z_{10} у додатковій стандартній колориметричній системі МКО 1964 р та визначаємо їх залежності від основних хромофорів шкіри для стандартних джерел освітлення D_{65} , A і F_{11} .

Побудуємо в одній системі координат кольоровості показники для нормальної і патологічної біотканини шкіри з різним об'ємним вмістом крові та меланіну за використання стандартного джерела освітлення D_{65} (рис. 3). На основі координат кольору та кольоровості у додатковій стандартній колориметричній системі МКО 1964 р можливо точно діагностувати біотканини шкіри для задач судово-медичної діагностики, однак, в цьому випадку не враховується колір нормальної інтактної біотканини шкіри довкола ушкодженої ділянки.

У колірному просторі МКО 1976 р. кожному кольору відповідає точка, положення якої визначається трьома незалежними координатами: світлотою — L^* і двома хроматичними координатами — a^* та b^* пов'язаними з координатами кольору X , Y , Z . Координати кольору у колірному просторі МКО 1976 г. (L^* , a^* , b^*) призначені для визначення відмінностей кольору розраховують за такими формулами [4]:

$$L^* = \begin{cases} 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16 & \text{для } Y/Y_n > 0,008856; \\ 903,3(Y/Y_n) & \text{для } Y/Y_n \leq 0,008856; \end{cases} \quad (8)$$

$$a^* = 500[f(X/X_n) - f(Y/Y_n)]; \quad (9)$$

$$b^* = 500[f(X/X_n) - f(Y/Y_n)], \quad (10)$$

де

$$f(X/X_n) = \begin{cases} (X/X_n)^{1/3} & \text{для } X/X_n > 0,008856; \\ 7,787(X/X_n) + 16/116 & \text{для } X/X_n \leq 0,008856; \end{cases} \quad (11)$$

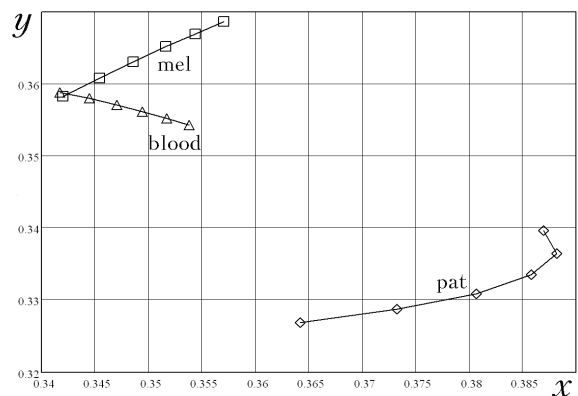


Рис. 3. Залежність координат кольоровості нормальної і патологічної біотканини шкіри за різного об'ємного вмісту крові та меланіну

$$f(Y/Y_n) = \begin{cases} (Y/Y_n)^{1/3} & \text{для } Y/Y_n > 0,008856; \\ 7,787(Y/Y_n) + 16/116 & \text{для } Y/Y_n \leq 0,008856; \end{cases} \quad (12)$$

$$f(Z/Z_{nn}) = \begin{cases} (Z/Z_n)^{1/3} & \text{для } Z/Z_n > 0,008856; \\ 7,787(Z/Z_n) + 16/116 & \text{для } Z/Z_n \leq 0,008856. \end{cases} \quad (13)$$

X_n, Y_n, Z_n — координати кольору ідеального розсіювача.

Для прикладних задач судово-медичної діагностики необхідно визначати відмінності кольору патологічної ураженої та нормальної інтактної біотканини шкіри людини. Тому доцільно у формулах (8)—(13) замінити координати кольору ідеального розсіювача, що визначають центр системи координат на координати кольору для нормальної інтактної біотканини шкіри. Розрахуємо та побудуємо в одній системі координат кольору L^*, a^*, b^* показники для нормальної і патологічної біотканини шкіри за різного об'ємного вмісту крові та меланіну з використанням стандартного джерела освітлення D_{65} (рис. 4).

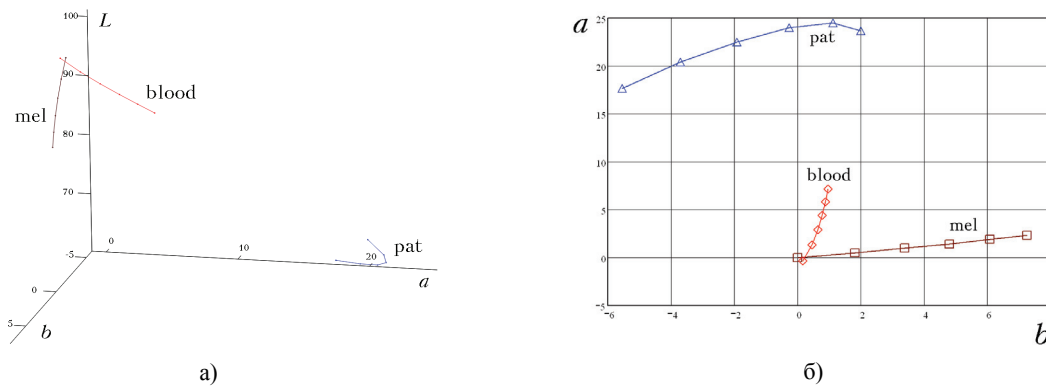


Рис. 4. Залежність координат кольору в системі координат (L^*, a^*, b^*) нормальної і патологічної біотканини шкіри за різного об'ємного вмісту крові та меланіну з використанням стандартного джерела освітлення D_{65}

Висновки

Відповідно до задач судово-медичної діагностики проаналізовано як змінюються спектральні характеристики біотканини шкіри, зокрема коефіцієнта дифузного відбивання, у випадку її патологічного uszkodження внаслідок механічної травми тупим предметом.

Вдосконалено метод визначення координат кольору нормальних і патологічних біотканин шкіри за умови використання стандартних джерел освітлення. Розраховано координати кольору нормальних і патологічних біотканин шкіри у додатковій стандартній колориметричній системі МКО 1964 р. (X_{10}, Y_{10}, Z_{10}) та більш рівноконтрастному колірному просторі МКО 1976 р. (L^*, a^*, b^*), що дозволяють з високою точністю діагностувати uszkodження біотканини шкіри у порівнянні з нормальними неушкодженими ділянками.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Диагностикум механизмов и морфологии поврежденных мягких тканей при тупой травме. Т. 6 : Механизмы и морфология поврежденных мягких тканей / [В. Н. Крюков, Б. А. Саркисян, В. Э. Янковский и др.]. — Новосибирск : Наука, 2001. — 142 с.
2. Судебно-медицинская фотография: современные аспекты (методические рекомендации) / [В. В. Колкутин, С. В. Леонов, И. В. Власюк, Н. И. Шишканинец]; Федер. гос. учреждение «Рос. центр суд.-мед. экспертизы». — М. : 2011. — 144 с.
3. Моделирование влияния эпидермиса на перенос света и тепла в каждом покрове / [В. В. Барун, А. П. Иванов, В. Г. Петрук та ін.] // Проблемы оптической физики и биофотоники : матер. 12 Междунар. молодежной научной школы по оптике, лазерной физике и биофотонике. — Саратов : Новый ветер, 2009. — 234 с. : ил. — С. 69—78.
4. ISO 7724-1: 1984 Paints and varnishes — Colorimetry. — Part 1: Principals. Committee: ISO/TC 35/SC 9, Edition: 1, Publication date: 1984-09-01. — 12 p.

Рекомендована кафедрою екології та екологічної безпеки ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 24.03.2015

Петрук Василь Григорович — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри екології та екологічної безпеки, e-mail: petrukvvg@gmail.com;

Кватернюк Олена Євгенівна — здобувач кафедри екології і екологічної безпеки;

Кватернюк Сергій Михайлович — канд. техн. наук, старший науковий співробітник кафедри екології і екологічної безпеки;

Гончарук Вікторія Вікторівна — студентка Інституту екологічної безпеки та моніторингу довкілля.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

Моканюк Олександр Іванович — канд. мат. наук, доцент кафедри патологічної анатомії, судової медицини та права.

Вінницький національний медичний університет ім. М. І. Пирогова, Вінниця

V. G. Petruk¹
S. M. Kvaterniuk¹
O. Ye. Kvaterniuk¹
V. V. Goncharuk¹
O. I. Mokaniuk²

Method of determination of color coordinates of normal and pathological biological tissues

¹Vinnitsia National Technical University;

²National Pyrogov Memorial Medical University, Vinnitsia

There has been improved the method of determining the color coordinates of normal and pathological biological tissues of the skin if using standard light sources, allowing to accurately diagnose skin damage biological tissue injury due to mechanical problems with a blunt object for forensic examination. There have been calculated the color coordinates of normal and pathological biological tissues of the skin based on the known spectral characteristics of the diffuse reflection coefficient.

Keywords: mathematical model, biological tissues, color coordinate, human skin, mechanical trauma.

Petruk Vasyl G. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Ecology and Ecological Safety, e-mail: petrukvg@gmail.com;

Kvaterniuk Sergii M. — Cand. Sc. (Eng.), Senior Researcher of the Chair of Ecology and Ecological Safety;

Kvaterniuk Olena Ye. — Researcher of the Chair of Ecology and Ecological Safety;

Goncharuk Victoriia V. — Student of the Institute of Environmental Security and Environmental Monitoring;

Mokaniuk Oleksandr I. — Cand. Sc. (Math.), Assistant Professor of the Chair of Pathological Anatomy, Forensic Science and Law

В. Г. Петрук¹
С. М. Кватернюк¹
Е. Е. Кватернюк¹
В. В. Гончарук¹
А. И. Моканюк²

Метод определения координат цвета нормальных и патологических биотканей

¹Вінницький національний технічний університет;

²Вінницький національний медичний університет ім. Н. І. Пирогова

Усовершенствован метод определения координат цвета нормальных и патологических биотканей кожи при использовании стандартных источников освещения, позволяющий с высокой точностью диагностировать повреждения биоткани кожи вследствие механической травмы тупым предметом для задач судебно-медицинской экспертизы. Рассчитаны координаты цвета нормальных и патологических биотканей кожи на основе известных спектральных характеристик коэффициента диффузного отражения.

Ключевые слова: математическая модель, биоткань, координаты цвета, кожа человека, механическая травма.

Петрук Василий Григорьевич — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и экологической безопасности, e-mail: petrukvg@gmail.com;

Кватернюк Сергей Михайлович — канд. техн. наук, старший научный сотрудник кафедры экологии и экологической безопасности;

Кватернюк Елена Евгеньевна — соискатель кафедры экологии и экологической безопасности;

Гончарук Виктория Викторовна — студент Института экологической безопасности и мониторинга окружающей среды;

Моканюк Александр Иванович — канд. мат. наук, доцент кафедры патологической анатомии, судебной медицины и права