

## Встановлення таксономічної належності волосся тварин за допомогою інструментальних і мікроскопічних методів

Лариса Дереча \*<sup>a</sup>, Олександр Борзов \*\*<sup>b</sup>, Флорін Русіторіу \*\*\*<sup>c</sup>

\* Канд. біол. наук, ст. наук. співробітн., ННЦ «ІСЕ ім. Засл. проф. М. С. Бокаріуса», м. Харків, Україна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6044-2068>, e-mail: [derecha@hniise.gov.ua](mailto:derecha@hniise.gov.ua)

\*\* Київський НДІСЕ, м. Київ, Україна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8215-6727>, e-mail: [sasha050368@ukr.net](mailto:sasha050368@ukr.net)

\*\*\* Національний Інститут Криміналістичних Експертиз, м. Бухарест, Румунія, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1025-3995>, e-mail: [florinrusitoru@inec.ro](mailto:florinrusitoru@inec.ro)

<sup>a</sup> Методологія, концепція, написання оригінального проекту.

<sup>b</sup> Кураторство даними, формальний аналіз, ресурси, нагляд.

<sup>c</sup> Адміністрування проекту.

DOI: [10.32353/khrife.2.2022.04](https://doi.org/10.32353/khrife.2.2022.04) УДК 343.98:636.09

Надійшло 06.06.2022 / Рецензовано 14.06.2022 / Прийнято до друку 17.06.2022 /  
Доступно онлайн 30.06.2022



*Розглянуто нагальну потребу в розробленні методики для встановлення таксономічної належності волосся тварин за допомогою сучасних методів дослідження (виявлення додаткових об'єктивних критеріїв у разі порівняльного дослідження речових доказів — волосся тварин), що сприяє розв'язанню більшого кола питань, поставлених під час призначення судово-біологічної експертизи. Автори мали на меті обґрунтувати можливість встановлення таксономічної належності волосся тварин за допомогою інструментальних і мікроскопічних методів — зокрема, сканувального електронного мікроскопа, який дає змогу експертам-біологам вивчати поверхні об'єктів тваринного походження як значних лінійних розмірів, так і мікрочастинок у широкому діапазоні природжень (від 10<sup>×</sup> до понад 200 000<sup>×</sup>), забезпечуючи роздільну здатність до 10<sup>-9</sup> м. Отримання загального зображення поверхні й вибір відповідних ділянок для деталізації (за максимально можливих збільшень) не потребує істотного переналаштування*

приладу. Значна глибина різкості дає деталізовані зображення різних поверхонь із розвиненим рельєфом (злами; сліди механічних пошкоджень; морфологічні особливості поверхневих структур, що періодично відтворюються). Контрастність є результатом детектування відбитих електронів (залежно від розподілу поверхнею досліджуваного зразка фазових компонентів, що різняться за хімічним складом). Запропонована методика дослідження волосся тварин суттєво розширить можливості експертизи зазначених об'єктів: зменшить час і збільшить точність проведення таких досліджень, а також дасть змогу поповнити ілюстративний матеріал (наприклад, мікрофотографіями кутикули волосся видів тварин, що часто зустрічаються).

**Ключові слова:** волосся тварин; елементний склад волосся; об'єкти тваринного походження; сканувальна електронна мікроскопія; судово-біологічна експертиза.

---

## Постановка наукової проблеми

У розв'язанні завдань зі зміцнення законності та правопорядку в Україні важливого значення набуває застосування спеціальних знань із різних галузей науки для потреб судової експертизи. Одне з чільних місць поміж видів судової експертизи посідають дослідження в галузі судово-біологічної експертизи, зокрема — дослідження волосся тварин як об'єктів тваринного походження.

Дослідження волосся є самостійною доказовою базою для правоохоронних органів, що сприяє виявленню знаряддя злочину, осіб, які скоїли злочин, а також з'ясуванню інших обставин. Волосся — найпоширеніший біологічний матеріал, який часто стає єдиним речовим доказом, вилученим на місці злочину.

Станом на сьогодні на озброєнні вітчизняних експертів — судових медиків і біологів — перебуває низка методик і методів із дослідження волосся тварин.

Розвиток науки й техніки сприяє неухильному збагаченню арсеналу ме-

тодів і засобів дослідження речових доказів. Цілеспрямоване, науково обґрунтоване вивчення ознак та властивостей цих об'єктів, засноване на досягненнях різних галузей науки, підвищує достовірність висновків і якість експертних досліджень.

Лабораторні дослідження речових доказів із застосуванням сучасних методів і засобів надають оперативно-розшуковим і слідчим працівникам важливу інформацію про злочин та злочинців, що має суттєве значення для розшуку й виявлення останніх, попередження і розкриття злочинів.

## Аналіз основних досліджень і публікацій

Становлення експертизи волосся тварин пов'язане з науковими працями судових медиків і біологів різних країн. Провідну роль у розвитку досліджень волосся тварин відіграють фахівці, які вивчають його морфологію.

На важливе криміналістичне значення волосся звертали увагу ще

криміналісти й судові медики XIX ст. Так, на I Пироговському з'їзді лікарів <sup>1</sup>, що відбувся 1885 р. у Петербурзі, учасники заслухали й обговорили доповідь помічника прозектора при кафедрі судової медицини Харківського університету М. О. Оболонського «Про волосся у судово-медичному відношенні» [Тут і далі переклад українською наш.— Автори.], за якою рік потому він захистив докторську дисертацію <sup>2</sup>, а 1894 р. інший видатний медик, П. А. Мінаков, на ту саму тему захистив докторську дисертацію, яка дотепер не втратила свого значення <sup>3</sup>.

Криміналістичне значення волосся висвітлювали такі відомі науковці, як:

Л. П. Булига, Л. К. Булишева, Ю. І. Бураго, О. Ю. Канюка, М. В. Кісін, О. В. Лукомська, М. Л. Мамотюк, В. С. Митричев, О. І. Разоренова та ін. <sup>4</sup>

Проте до сьогодні питання щодо встановлення таксономічної належності волосся тварин за допомогою інструментальних і мікроскопічних методів вітчизняною криміналістичною наукою досліджено недостатньо.

Під час судово-біологічного дослідження волосся тварин об'єктами експертизи можуть бути: конкретна тварина; конкретна сукупність тварин; конкретний предмет, у складі якого перебуває продукт переробки хутра однієї або кількох тварин (виріб зі шкір і хутра

- 1 Верхратський С. А., Заблудовський П. Ю. Історія медицини : навч. посіб. 4-те вид., випр. і допов. Київ, 1991. 431 с.
- 2 Чисников В. Н. Украинский профессор Н. А. Оболонский — первый пропагандист антропометрической системы А. Бертильона в Российской империи. *Криміналістика і судова експертиза*. 2016. Вип. 61. С. 576—582. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/krise\\_2016\\_61\\_63](http://nbuv.gov.ua/UJRN/krise_2016_61_63) (дата звернення: 03.06.2022).
- 3 Рейсс Р. А. Научная техника расследования преступлений : курс лекц. / под ред. проф. С. Н. Трегубова. Санкт-Петербург, 1912. С. 83 ; Авдеева И. А., Васильева О. О. П. А. Минаков и развитие судебно-медицинской экспертизы волос в России. *Здоровье и образование в XXI веке* : электрон. науч.-образоват. вестн. 2006. № 1. Т. 8. С. 15. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/p-a-minakov-i-razvitie-sudebno-meditsinskoy-ekspertizy-voles-v-rossii> (дата звернення: 03.06.2022).
- 4 Див., напр.: Булыга Л. П. Исследование волос животных близких родов в практике судебной экспертизы : пособ. для эксперт. Москва, 1979. 108 с. ; Её же. Методика дифференциальной диагностики волос животных близких родов. *Криміналістика і судова експертиза*. 1972. Вып. 9. С. 361—365 ; Бураго Ю. И. К особенностям некоторых физико-химических свойств морфологически сходных волос животных при судебно-медицинской экспертизе их видовой принадлежности (комплексное микрофотометрическое, спектрофотометрическое, абсорбционно-спектрографическое экспериментальное исследование) : дис. ... канд. мед. наук. Барнаул, 1977. 168 с. ; Канюка О. Ю. Методичні особливості дослідження перехідного волосся пса свійського. *Теорія та практика судової експертизи і криміналістики*. 2020. № 22. С. 340—347. DOI: [10.32353/khrife.2.2020.27](https://doi.org/10.32353/khrife.2.2020.27) (дата звернення: 03.06.2022) ; Кисин М. В., Булышева Л. К., Мамотюк М. Л., Разоренова О. И. Волосы животных как объект судебно-биологической экспертизы : учеб. пособ. Москва, 1984. 115 с. ; Лукомська О. В. Морфологічні особливості волосся собак порід Yorkshire Terrier, West Highland White Terrier, Airedale Terrier та Australian Terrier / *Біологічні дослідження — 2021* : зб. наук. пр. Житомир, 2021. С. 93—96 ; Wandhare P. P., Bhosale M. S. Trichology: a Science of Hair Examination in Identification of Dog Breeds. *International Journal of Applied and Pure Science and Agriculture (IJAPSA)*. 2017. Vol. 03. Is. 6. P. 61—66. DOI: [10.22623/IJAPSA.2017.3055.FZIES](https://doi.org/10.22623/IJAPSA.2017.3055.FZIES) (дата звернення: 03.06.2022) ; Tridico S. R. Examination, Analysis, and Application of Hair in Forensic Science — Animal Hair. *Forensic science review*. 01 Jan, 2005. Vol. 17. Is. 1. P. 17—28.

тварин — комір, кожушок, шуба, покриття для підлоги тощо); конкретний обсяг вовни тварин; конкретна сукупність шкір тварин і т. ін.

Поширеністю домашніх і диких тварин, використанням їхніх шкір, хутра та вовни для виготовлення одягу й решти предметів повсякденного вжитку тощо зумовлено використання цього роду об'єктів як носіїв доказової інформації.

Здобуття такої інформації засновано на потребі з'ясувати взаємозв'язки фактів наявності або стану волосся тварин з обставинами справи, що підлягають встановленню. Визначення інформаційної сутності і цінності відомостей, сформованих за результатами дослідження волосся, є результатом зіставлення даних досліджень з іншими встановленими у справі обставинами<sup>5</sup>.

## Мета статті

Обґрунтувати можливості встановлення таксономічної належності волосся тварин за допомогою інструментальних і мікроскопічних методів, зокрема, сканувального електронного мікроскопа.

## Викладення основного матеріалу дослідження

Основними завданнями дослідження об'єктів біологічного походження є діагностичні й ідентифікаційні.

*Діагностичні завдання* (у разі, коли носієм інформації є волосся тварини) — це, зокрема, визначення належності волосся певній тварині в межах конкретної класифікаційної системи (родина, рід, вид). Основою більшості діагностичних досліджень є природні або штучні класифікаційні системи.

*Ідентифікаційними завданнями* є встановлення тотожності порівнюваних об'єктів (волосся належить певній тварині, фрагмент хутра відокремлений від певного коміра тощо); визначення належності порівнюваних об'єктів тварині одного таксона, так звана загальна родова належність; з'ясування загальної групової належності порівнюваних об'єктів.

Так, під час експертизи об'єктів біологічного походження нерідко існує потреба порівняти волосся тварин, виявлене на місці злочину, зі зразками, вилученими в осіб, підозрюваних у вбивстві, зґвалтуванні, крадіжці тварин, вовни або хутряних виробів та ін.

У практиці морфологічного дослідження волосся тварин часто виникає необхідність встановити його належність до певного виду або більш великої таксономічної одиниці (роду, родини). Незважаючи на значну кількість робіт, що висвітлюють цю галузь знань, судові медики й біологи дотепер зазначають певних труднощів під час проведення відповідних експертиз.

Станом на сьогодні морфологічні методи дослідження волосся тварин є основними під час експертизи таких об'єктів. Аналіз ознак будови волосся залишається поки що вирішальним для встановлення їх таксономічної та групової належності.

Для встановлення таксона остьового волосся тварин використовують наявні методики, які передбачають (поряд із рештою досліджень) оброблення волосся гарячим розчином луґу з метою одержання серцевинних дисків, за якими можна встановити таксон тварини.

На жаль, визначити таксономічну належність волосся за допомогою цього методу іноді доволі складно, оскільки

5 Кисин М. В., Митричев В. С. Судебно-биологическая экспертиза волос животных: методическое пособие для экспертов, следователей и судей. Москва, 1996. 136 с.

схожість морфологічної будови волосся деяких тварин ускладнює їх диференціювання. Крім того, для дослідження пухового волосся, яке нерідко зустрічається в експертній практиці, морфологічного методу недостатньо, адже загальновідомо, що саме серцевина найчастіше має специфічний склад для конкретного таксона. Необхідно зауважити явну недостатність застосування в експертній практиці тільки морфологічних тестів модифікованого волосся тварин, яке підлягало певному технологічному обробленню (хутро).

Отже, для розв'язання завдань судово-біологічного дослідження волосся тварин не завжди видається можливим послуговуватися загальноприйнятими методами аналізу, чим і зумовлено актуальність розроблення нових методів дослідження біологічних матеріалів. Одним із таких методів є визначення вмісту елементів у біологічних об'єктах.

Останнім часом спостерігаємо підвищення зацікавленості вивченням умісту макро- і мікроелементів в організмі людини в нормі та за наявності патологічних станів. Вони є необхідними практично для всіх найважливіших процесів життєдіяльності, а також для нормального перебігу багатьох метаболічних реакцій і здійснення фізіологічних функцій<sup>6</sup>. Проте

в судовій біологічній експертизі (на відміну від медицини) вивчення й використання цих знань залишається обмеженим і недостатньо затребуваним. Відповідно до сучасних уявлень, елементний склад волосся краще за решту біоіндикаторних систем відображає стан людини та тварин. До того ж використання спеціальних методів дослідження волосся дає змогу виявити елементи й речовини тривалий час потому (через дні, тижні, роки). Цінною характеристикою волосся як об'єкта досліджень є його стійкість до впливу природних чинників. У зв'язку з наведеним виникає потреба в застосуванні нових методів дослідження волосся тварин із метою виявити додаткові ідентифікаційні й діагностичні ознаки.

На розв'язання судово-біологічної експертизи можуть бути поставлені такі питання:

- «Чи є на представленому предметі-носії об'єкти тваринного походження, зокрема волосся?»;
- «Чи є виявлені об'єкти волоссям тварин?»;
- «Якщо виявлені об'єкти є волоссям тварини, то яка його таксономічна належність?»;
- «Чи походить виявлене волосся тварин з волоссяного покриву

6 Медична біологія : підручник / за ред. В. П. Пішака, Ю. І. Бажори. Вінниця, 2004. 656 с. ; М'ясоедов В. В. Вміст макро- і мікроелементів в органах та тканинах щурів, токсикованих синтезованими поверхнево-активними речовинами. *Буковинський медичний вісник*. 2000. Т. 4. № 3. С. 206—212 ; Шахбазов В. Г., Григорова І. А., Носатенко П. Е. Оценка состояния здоровья населения с использованием новых биофизических интегральных методов. *Медицинская экология, гигиена производственной и окружающей среды* : регион. науч.-практ. конф. Харьков, 1995. Т. 2. С. 136—138 ; Aggett P. J. Physiology and metabolism of essential trace elements: An outline. *Clinics in Endocrinology and Metabolism*. 1985. Vol. 14. Is. 3. P. 513—543. DOI: 10.1016/s0300-595x(85)80005-0 (дата звернення: 03.06.2022) ; Frieden E. A. Survey of the Essential Biochemical Elements / *Biochemistry of the Essential Ultratrace Elements*. N. Y. ; L., 1984. P. 1—16 ; Matsumoto K., Inagaki T., Hirunuma R., Enomoto S., Endo K. Contents and uptake rates of Mn, Fe, Co, Zn, and Se in Se-deficient rat liver cell fractions. *Analytical Sciences*. 2001. Vol. 17. Is. 5. P. 587—591. DOI: 10.2116/analsci.17.587 (дата звернення: 03.06.2022).

тварини або від хутряного виробу?»;

- «Чи піддано об'єкт дії конкретних чинників зовнішнього середовища?»;
- «Чи мають загальну родову (таксономічну) або групову належність волосся, виявлене на предметі-носії, і волосся певної тварини (виріб із волосся тварин)?»;
- «До якої породи тварини належить виявлене волосся? Чи однакове воно з волоссям, вилученим у якості зразка?»;
- «Із якої частини тіла тварини походить виявлене волосся?»;
- «Чи належить виявлене волосся цій конкретній особі?» тощо <sup>7</sup>.

Одним із традиційних методів дослідження волосся є макроскопічний метод. До того ж визначають колір, форму й довжину волосся. Для визначення кольору волосся його промивають у теплій воді з милом і знежирюють ефіром. Для вимірювання довжини на лінійку накладають волосся й обережно його розпрямляють. За формою волосся поділяють на пряме, дугоподібне, хвилясте, кучеряве. Форму волосся визначають, вивчаючи кожну окрему волосину.

Один з основних методів для розв'язання питань судово-біологічної експертизи — мікроскопічне дослідження. Волосся — це епідермальні ороговілі утворення, що містять кореневу частину, укріплену в шкірі під кутом до поверхні, і стовбурну частину (стрижень). Корінь волосся закінчується стовщенням (волосяна сумка), а периферичний кінець (стрижень) — верхівкою різної

форми (голкоподібної, у вигляді мітелки тощо).

У волоссі розрізняють три шари:

- 1) серцевину, або мозкову речовину, що розташована у центральній частині волосся і містить один або кілька рядів клітин. Серцевину волосся складають клітини, розміри та форма яких різняться в різних тварин. У тонкому волоссі серцевина може бути відсутня;
- 2) коркову речовину, яка містить клітини, витягнуті вздовж волосся. Вони містять пігмент, яким обумовлено колір волосся;
- 3) кутикулу — поверховий шар тонких клітин, розташованих у вигляді лусочок (черепиці) уздовж усього стрижня волосини. У різних видів тварин лусочки кутикули можуть різнитися за розмірами, формою та розташуванням у волоссі. Крім того, форма, розміри й розташування лусочок кутикули можуть різнитися за довжиною волосся.

Приміром, волосся ссавців поділяють на кілька типів: направляючі 1—3-го порядків, остьові 1—4-го порядків, пухові 1—4-го порядків, вібриси.

Станом на сьогодні розроблено методи мікроскопічного аналізу волосся за особливостями кутикули й серцевини, що дають змогу визначити належність тварини до конкретної групи, для чого фахівці послуговуються каталогами фотографій волосся цих тварин (еталонами). Проте ці методи є непридатними, коли потрібного еталона в каталозі бракує.

Останнім часом дослідники часто звертаються до високоінформативних методів <sup>8</sup> (наприклад, ядерно-фізичних

7 Основи судової експертизи: навчальний посібник для фахівців, які мають намір отримати або підтвердити кваліфікацію судового експерта / авт.-уклад.: Л. М. Головченко, А. І. Лозовий, Е. Б. Сімакова-Єфремян та ін. Харків, 2016. 928 с.

8 Див.: Баланюк Ю. В., Педан А. Д., Шклярський В. І. Сканувальний телевізійний

методів елементного аналізу), які дають інформацію про вміст найважливіших біоактивних макро- і мікроелементів у біологічних об'єктах різного рівня організації. Ці методи відзначаються високою точністю.

Основні переваги ядерно-фізичних методів (порівняно з традиційними хімічними й біофізичними):

- висока абсолютна чутливість (мкг/г), що дає змогу проводити аналіз дуже малої наважки речовини;
- можливість визначити значну кількість елементів одночасно;
- висока чутливість до концентрації (до 1 мкг);
- можливість аналізувати як тонкі шари речовини, так і об'ємні зразки;
- можливість проводити неруйнівний аналіз;
- експресність здобуття інформації (до 10 хв на одну мішень);
- автоматизація вимірювань та опрацювання результатів.

Для проведення досліджень зазначеними вище методами дослідники вибрали волосся тварин, які найчастіше зустрічаються в практиці судових експертів-біологів, а також волосся людини.

Підготовка зразків волосся для проведення досліджень гамма-активаційним методом не потребує застосування багатьох хімічних реактивів, тривалого часу тощо порівняно з підготовкою цих об'єктів для решти видів аналізу. Так, для гамма-активаційного аналізу зразки волосся обробили за методикою *P. J. Barlow*: їх двічі промили дистильованою водою з наступним обробленням сумішшю етанолу з діетиловим ефіром (1:1), просушили за температури 250 °С, зважили на аналітичних вагах та упаковали в алюмінієву фольгу. Для проведення гамма-активаційного аналізу маса зразка волосся складала приблизно 0,5 г (маса зразка може бути й меншою). Зразок помістили у фольгу та провели повторне зважування. Усі пакети нумерували й поміщали в загальний пенал із фольги,

---

оптичний ультрафіолетовий мікроскоп для дослідження біологічних мікрооб'єктів. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. 2009. № 645 : Радіоелектроніка та телекомунікації. С. 243–252. URL: <https://ena.lpnu.ua/bitstream/ntb/2513/1/38.pdf> (дата звернення: 03.06.2022) ; ДСТУ Б А.1.1-9-94. Метод електронної мікроскопії матеріалів. Терміни та визначення : затв. наказом Мінбудархітектури України від 12.04.1994 р. № 83. Чинний від 01.10.1994. URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=5031](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=5031) (дата звернення: 03.06.2022) ; Кофанов А. В., Кобилянський О. Л., Давидова О. О. Криміналістичне дослідження біологічних об'єктів : метод. рек. Київ, 2011. 48 с. (Серія «Криміналістичне забезпечення») ; Черепин В. Т., Васильєв М. А. Методы и приборы для анализа поверхности материалов : справочник. Киев, 1982. 400 с. ; Ayache J., Beaunier L., Boumendil J., Ehret G., Laub D. Sample Preparation. Handbook for Transmission Electron Microscopy : Methodology. New York, 2010. 338 p. DOI: 10.1007/978-0-387-98182-6 (дата звернення: 03.06.2022) ; Дубровська Г. М., Бутенко Т. І., Григор'єва Г. В. Переваги і можливості атомно-абсорбційної спектrophотометрії та лазерної мас-спектрометрії при контролі елементного складу порошкових матеріалів. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2004. № 2. С. 96–100 ; Зайцев Д. М., Приступа В. В. Можливості та перспективи застосування електронної мікроскопії з рентгенофлуоресцентним енергодисперсійним мікроаналізом в судовій експертизі. *Криміналістика і судова експертиза : міжвідом. наук.-метод. зб., присвяч. 105-річ. заснув. суд. експерт. в Україні*. 2018. Вип. 63. Ч. 1. С. 357–371. URL: <https://digest.kndise.gov.ua/wp-content/uploads/2019/03/40.pdf> (дата звернення: 03.06.2022) ; Прудіус І. Н., Шклярський В. І., Педан А. Д. Скануючий оптичний мікроскоп для клінічної лабораторної діагностики. *Прикладна радіоелектроніка. Стан і перспективи розвитку МРФ'2008* : тези доп. 3-го міжнар. радіоелектр. форуму (Харків, 23–25.10.2008). Харків, 2008. Т. 4. С. 127–131.

який розташовували під пучком лінійного прискорювача електронів.

Опромінення проводили на лінійному прискорювачі електронів пучком гальмових гамма-квантів з енергією 24 MeV, струм 700 мкА. Час активації проб склав 3 доби. Після завершення активації проби вийняли з пеналу й послідовно перенесли до детектора, що реєструє наведену активність. Використовували *Ge(Li)*-детектор об'ємом 50 см<sup>3</sup>, виготовлений у Національному науковому центрі «Харківський фізико-технічний інститут», роздільна здатність якого становила 2,8 кеВ (за лінією 1333 кеВ).

Детектор підключили до амплітудного аналізатора імпульсів АІ-1024. Калібрування енергетичної шкали спектрометра виконали за допомогою набору зразкових спектрометричних джерел (ОСГІ, комплект № 69). Для

вимірювання активності проби послідовно встановили на торці кришки кріостата, за яким знаходився *Ge(Li)*-детектор. У процесі вимірювання наведеної активності контролювали стабільність положення каналу (енергії) гамма-спектрометра. Час набору спектра складав від 10 хв до 5 год (залежно від активності зразка). Одержаний спектр обробляли на амплітудному аналізаторі. Абсолютні значення концентрацій макро- і мікроелементів визначали за допомогою стандартних зразків. Межа виявлення елементів складала 10<sup>-4</sup>–10<sup>-7</sup> % мас.

У результаті дослідження одержано приблизно 30 спектрів зразків волосся, у яких виявлено такі основні елементи: *Ca, Na, Mn, Cr, Zn, Pb, Sr, Ni, Zr, I* (рис. 1–3). Видається можливим виявити більше елементів за умови скорочення терміну початку реєстрації на детекторі.

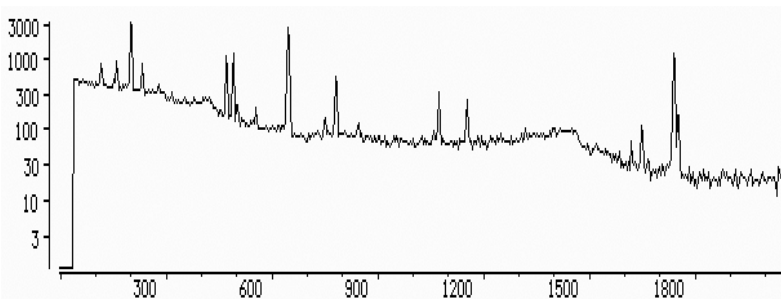


Рис. 1. Спектр волосся собаки домашнього

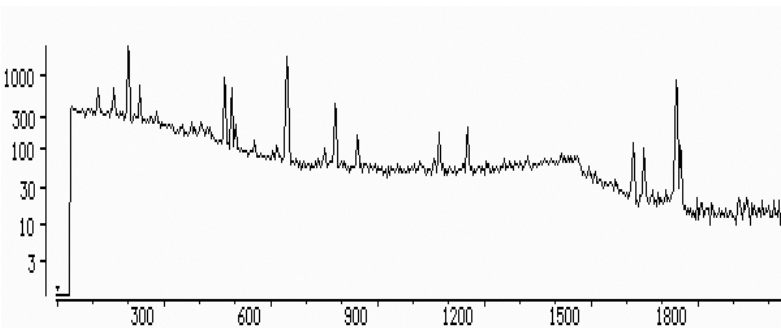


Рис. 2. Спектр волосся кішки домашньої



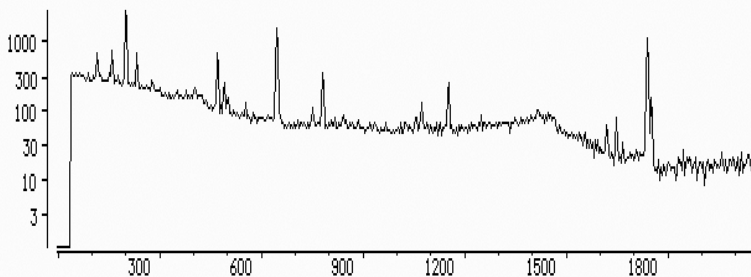


Рис. 3. Спектр волосся кози домашньої

Аналіз зданих результатів за абсолютним значенням з урахуванням середньоквадратичних відхилень свідчить, що існують певні розбіжності за вмістом макро- і мікроелементів між родинами та родами тварин. Кількісні характеристики виявлених елементів у зразках дають змогу з використанням кореляційного аналізу виявити міжродинні й міжродові розбіжності.

Крім дослідження волосся тварин гамма-активаційним методом, пріоритетним і потужним напрямом є дослідження за допомогою сканувальної електронної мікроскопії, яка базується на реєстрації аналітичних сигналів, що виникають за взаємодії сфокусованого пучка прискорених електронів (електронного зонду) із поверхнею досліджуваного об'єкта.

Сканувальними електронними мікроскопами (далі — *SEM*) активно послуговуються в різних сферах матеріалознавства, оскільки вони мають (завдяки фізичним принципам формування зображень) низку суттєвих переваг порівняно з будь-якими оптичними мікроскопами. Поміж цих переваг можна зазначити:

- збільшення до 1 000 000×, що принципово недосяжно для світлової мікроскопії;
- значна глибина різкості, яка дає змогу досліджувати рельєфні особливості об'ємних зразків (по-

верхні зламі, механічні сліди контактної взаємодії, одиничні зразки волосся, мікрочастинки різноманітної морфологічної будови тощо);

- можливість отримувати зображення з фазовим контрастом об'єктів багатофазного складу.

Під час взаємодії прискорених електронів з атомами речовини досліджуваного зразка спостерігаємо такі основні фізичні ефекти:

- вторинна електронна емісія, тобто вихід електронів за межі електронних оболонок атомів речовини за рахунок отримання додаткової енергії, що перевищує енергію зв'язку, від електронів первинного пучка. Вторинні електрони (англ. *secondary electrons*, далі — *SE*) є низькоенергетичними, а інтенсивність їх утворення залежить здебільшого від кута зіткнення електронного зонда з поверхнею зразка. Отже, зображення у вторинних електронах мають максимальну глибину різкості;
- пружне відбиття первинних електронів атомами досліджуваної речовини під кутами  $\approx 90^\circ$  до поверхні зразка. Такі електрони мають назву відбитих електронів (англ. *backscattered*

*electrons*, далі — *BSE*). Імовірність виникнення пружного відбиття є пропорційною атомній густині в області взаємодії речовини об'єкта з первинним електронним пучком. Відповідно, їх реєстрація дає змогу отримувати фазо-контрастні зображення;

- рентгенівська флуоресценція — процес утворення електромагнітного випромінювання з визначеними енергіями (довжинами хвиль), які відповідають різницям енергій між внутрішніми електронними оболонками атомів речовини зразка (завдяки переходу електронів на позиції на нижчих оболонках, вивільнені в процесі взаємодії з первинним пучком). Визначення чисельних значень цих енергій (довжин хвиль) та інтенсивності відповідних максимумів флуоресценції є інструментом установа яксного й відносного кількісного елементного складу об'єкта дослідження;
- утворення Оже-електронів. Під час іонізації внутрішніх атомних оболонок існує ймовірність повернення атома в основний стан без випромінювання кванта енергії. У цьому разі надлишкова енергія передається одному з електронів атома, який унаслідок цього залишає його межі. Чисельне значення енергії такого електрона не залежить від енергії первинного електрона, а зумовлене будовою електронних оболонок. Це явище є основою Оже-спектроскопії;
- катодолюмінісценція — виникнення електромагнітного випромінювання у видимому, ультрафіолетовому й інфра-

червоному діапазонах завдяки багатократній іонізації атомів мішені під дією електронного пучка. Вивчення катодолюмінісценції має застосування в наукових дослідженнях у галузі фізики твердого тіла.

Крім того, інформативні аналітичні сигнали використовують струм поглинутих електронів і струм електронів, що пройшли крізь зразок.

Реєструє вторинні електрони (*SE*) переважно детектор Евергарта-Торнлі — детектор сцинтиляційного типу. Вторинні електрони, емітовані поверхнею зразка, мають незначну енергію (< 50 eV), тому їх утягує (у разі потрапляння до зони детектування) електричне поле детектора, у якому вони прискорюються та стикаються з поверхнею люмінофора, спричиняючи світловий спалах. Оптичний сигнал зареєстровано фотоелектричним помножувачем (далі — *ФЕП*). Електричний сигнал із *ФЕП* підсилюють і після цифрового оброблення конвертують у рівень сірого кольору на електронному зображенні. Процес відбувається в кореляції з координатним положенням первинного пучка в певній точці поверхні об'єкта, завдяки чому формується рельєфне зображення сканованої поверхні. Зворотню розсіяні електрони мають значно вищу енергію, тому їх поле детектора не захоплює і на формування зображення вони практично не впливають.

Для того щоб зареєструвати зворотню розсіяні електрони — відбиті електрони (*BSE*), застосовують як сцинтиляційні, так і напівпровідникові детектори. Напівпровідникові детектори зазвичай побудовані за схемою напівпровідникового діода, що додатково має, крім зон *p*- і *n*-провідності, зону власної провідності (збіднену носіями зарядів). У разі потрапляння до цієї

зони іонізувальної частинки (зокрема, електрона з достатньою енергією), у ній утворюються носії електричного заряду — так звані електронно-діркові пари, які реєструють у вигляді імпульсу електричного струму.

Рентгенівську флуоресценцію реєструють двома типами детекторів — охолоджуваним напівпровідниковим детектором, який у комплексі з електронною схемою оброблення аналітичного сигналу одночасно реєструє характеристичні максимуми енергій рентгенівської флуоресценції атомів речовини об'єкта в повному доступному для реєстрації енергетичному діапазоні (рентгенофлуоресцентна енергодисперсійна спектроскопія).

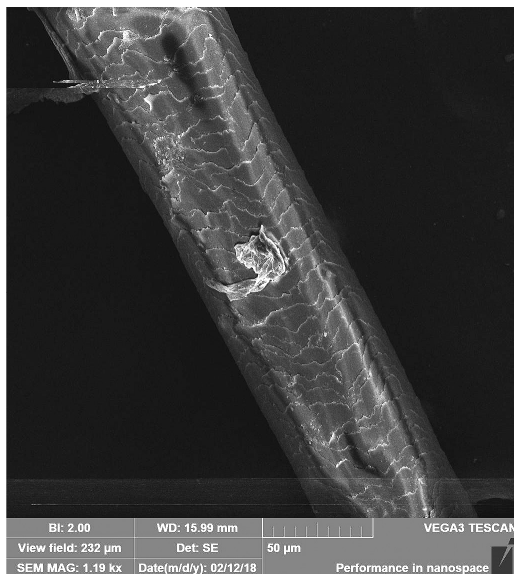
Детектори за довжинами хвиль використовують явище дифракції рентгенівського випромінювання на монокристалах.

Використання СЕМ дає змогу вивчати поверхні як об'єктів значних лінійних розмірів, так і мікрочасток у широкому діапазоні збільшень (від  $10\times$  до понад  $200\,000\times$ ). До того ж можна забезпечити роздільну здатність до  $10^{-9}$  м. Отже, без суттєвих переналаштувань приладу можна швидко отримати загальне оглядове зображення поверхні й обрати відповідні ділянки для деталізації за максимально можливих збільшень.

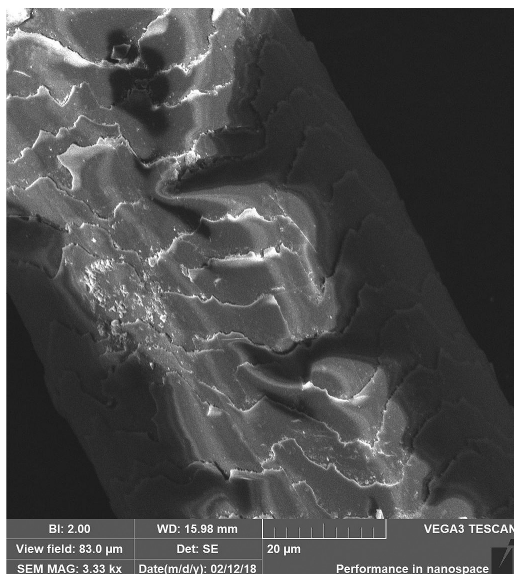
Значна глибина різкості дає змогу отримувати деталізовані зображення різноманітних поверхонь із розвинутим рельєфом (а саме: зламів, слідів механічних пошкоджень, морфологічних особливостей періодично відтворюваних поверхневих структур).

Детектування BSE забезпечує можливість формувати контраст залежно від розподілу фазових компонентів, які різняться за хімічним складом, по поверхні досліджуваного зразка.

Відповідні зображення, отримані з використанням мікроскопа *Tescan Vega3*, наведено на рис. 4 і 5.



**Рис. 4.** Пухове волосся тварини (збільшення 1190×)



**Рис. 5.** Деталізоване зображення рисунка кутикули пухового волосся тварини (збільшення 3330×)

## Висновки

Отже, за допомогою сканувального електронного мікроскопа експерти-біологи можуть вивчати поверхні як об'єктів тваринного походження значних лінійних розмірів, так і мікрочасток у широкому діапазоні збільшень (від  $10\times$  до понад  $200\,000\times$ ). До того ж можна забезпечити роздільну здатність до  $10^{-9}$  м.

Без суттєвих переналаштувань приладу можна отримати загальне оглядове зображення поверхні й обрати відповідні ділянки для деталізації за максимально можливих збільшень. Значна глибина різкості дає змогу отримувати деталізовані зображення різноманітних поверхонь із розвинутим рельєфом (як-от: злами, сліди механічних пошкоджень, морфологічні особливості періодично відтворюваних поверхневих структур).

Детектування BSE забезпечує можливість формувати контраст залежно від розподілу фазових компонентів, які різняться за хімічним складом, по поверхні досліджуваного зразка.

Запропонована до розроблення методика дослідження волосся тварин значно збагатить можливості експертизи зазначених об'єктів: дасть змогу зменшити час і збільшити точність проведення таких досліджень, а також поповнити ілюстративний матеріал (наприклад, мікрофотографіями кутикули волосся різних видів тварин, які часто зустрічаються під час проведення експертних досліджень).

Застосування сучасних методів дослідження дає змогу виявити додаткові об'єктивні критерії в разі порівняльного дослідження волосся тварин, що сприятиме розв'язанню більшого кола питань під час проведення судово-біологічної експертизи.

## Identifying Taxonomic Belonging of Animal Hair Using Instrumental and Microscopic Methods

Larysa Derecha, Oleksandr Borzov, Florin Rusitoriu

*Urgent need to develop a methodology for identifying taxonomic belonging of animal hair using modern research methods (identification of additional objective criteria in the case of a comparative research on material evidence, namely: animal hair) is considered that contributes to solving a larger range of issues raised while appointment forensic biological examination. Authors aimed to substantiate possibility of identifying the taxonomic affiliation of animal hair using instrumental and microscopic methods, in particular, scanning electron microscope, allowing forensic biologists to study the surfaces of objects of animal origin, both of significant linear dimensions, and of microparticles in a wide range of magnifications (from  $10\times$  to more than  $200,000\times$ ), providing a resolution of up to  $10^{-9}$  m. Obtaining a general image of the surface and selecting appropriate areas for detailing (at the maximum possible magnifications) does not require significant reconfiguration of the device. A significant depth of focus provides detailed images of various surfaces with developed relief (cracks; traces of mechanical damage; morphological specifics of periodically reproduced surface structures). Contrast is the detection result of reflected electrons (depending on the distribution of phase components differing in chemical composition the studied sample surface). The proposed method of researching animal hair will significantly expand possibilities of examination of these objects: it will reduce the time and increase the accuracy of conducting such research, as well as make it possible to supplement illustrative material (for example, microphotographs of hair cuticles of frequently encountered animal species).*

**Keywords:** *animal hair; elemental composition of hair; objects of animal origin; scanning electron microscopy; forensic biological examination.*

#### Фінансування

Це дослідження не отримало жодного спеціального гранту від фінансових установ у державному, комерційному чи некомерційному секторах.

#### Відмова від відповідальності

Засновники не грали жодної ролі у розробленні дослідження, добиранні й аналізуванні даних, рішенні про публікацію чи підготовку рукопису.

#### Учасники

Автори внесли свій внесок винятково в інтелектуальну дискусію, що є основою цього документа, дослідження судової практики, написання та редагування, і беруть на себе відповідальність за її зміст і тлумачення.

#### Декларація щодо конфлікту інтересів

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів, що стосується цієї теми, хоча Лариса Дереча є членом консультативної колегії збірника; вона не брала участі в ухваленні рішення щодо оприлюднення, і цю статтю піддано повному процесу експертної перевірки та редагування.

### References

- Aggett, P. J. (1985). Physiology and metabolism of essential trace elements: An outline. *Clinics in Endocrinology and Metabolism*. Vol. 14. Is. 3. DOI: [10.1016/s0300-595x\(85\)80005-0](https://doi.org/10.1016/s0300-595x(85)80005-0).
- Avdeeva, I. A., Vasileva, O. O. (2006). P. A. Minakov i razvitie sudebno-meditsinskoj ehkspertizy volos v Rossii [P. A. Minakov and development of forensic medical examination of hair in Russia]. *Zdorove i obrazovanie v XXI veke : ehlektron. nauch.-obrazovat. vestn.* № 1. T. 8. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/p-a-minakov-i-razvitie-sudebno-meditsinskoj-ehkspertizy-volos-v-rossii> [in Russian].
- Ayache, J., Beaunier, L., Boumendil, J., Ehret, G., Laub, D. (2010). *Sample Preparation. Handbook for Transmission Electron Microscopy : Methodology*. New York. DOI: [10.1007/978-0-387-98182-6](https://doi.org/10.1007/978-0-387-98182-6).
- Balaniuk, Yu. V., Pedan, A. D., Shkliarskiy, V. I. (2009). Skanuvalnyi televiziniy optychniy ultrafioletoviy mikroskop dlia doslidzhennia biolohichnykh mikroobektiv [Scanning television optical ultraviolet microscope for research on biological micro-objects]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika»*. № 645 : Radioelektronika ta telekomunikatsii. URL: <https://ena.lpnu.ua/bitstream/ntb/2513/1/38.pdf> [in Ukrainian].
- Bulyga, L. P. (1972). Metodika differentsialnoi diagnostiki volos zhivotnykh blizkikh rodov [Methods of differential diagnosis of hair of animals of close genera]. *Kriminalistika i sudebnaia ehkspertiza*. Vyp. 9 [in Russian].
- Bulyga, L. P. (1979). *Issledovanie volos zhivotnykh blizkikh rodov v praktike sudebnoy ehkspertizy* [Examination of hair of animals of close genera in forensic science practice]: posob. dlia ehkspert. Moskva [in Russian].
- Burago, Iu. I. (1977). *K osobennostiam nekotorykh fiziko-khimicheskikh svoystv morfologicheskikh skhodnykh volos zhivotnykh pri sudebno-meditsinskoj ehkspertize ikh vidovoi prinadlezhnosti (kompleksnoe mikroftotometricheskoe, spektrofotometricheskoe, absorbtionno-spektrograficheskoe ehksperimentalnoe issledovanie)* [Peculiarities of some physicochemical properties of morphologically similar animal hair during forensic medical examination of their species affiliation (complex microphotometric, spectrophotometric, absorption-spectrographic experimental research)]: dis. ... kand. med. nauk. Barnaul [in Russian].
- Cherepin, V. T., Vasilev, M. A. (1982). *Metody i pribory dlia analiza poverkhnosti materialov* [Methods and devices for material surface analysis] : spravochnik. Kiev [in Russian].
- Chisnikov, V. (2016). Ukrainian professor N. A. Obolonsky – prime propagandist of anthropometric systems A. Bertillon in the Russian empire. *Criminalistics and Forensics*. Vol. 61. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/krise\\_2016\\_61\\_63](http://nbuv.gov.ua/UJRN/krise_2016_61_63) [in Russian].
- Dubrovska, H. M., Butenko, T. I., Hryhorieva, H. V. (2004). Perevahy i mozhyvosti atomno-absorbtsiinoj spektrofotometrii

- ta lazernoi mas-spektrometrii pry kontroli elementnoho skladu poroshkovykh materialiv [Advantages and capabilities of atomic absorption spectrophotometry and laser mass spectrometry in controlling the elemental composition of powder materials]. *Visnyk Cherkaskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu*. № 2 [in Ukrainian].
- Frieden, E. A. (1984). Survey of the Essential Biochemical Elements / *Biochemistry of the Essential Ultratrace Elements*. New York.
- Kaniuka, O. Yu. (2020). Methodological features of research on a Domestic dog intermediate hair [Morphological specifics of the hair of domestic dogs]. *Theory and practice of forensic science and criminalistics*. № 22. DOI: 10.32353/khrife.2.2020.27 [in Ukrainian].
- Kisin, M. V., Bulysheva, L. K., Mamotiuk, M. L., Razorenova, O. I. (1984). *Volosy zhivotnykh kak obiekt sudebno-biologicheskoi ehkspertizy* [Animal hair as an object of forensic biological examination]: ucheb. posob. Moskva [in Russian].
- Kisin, M. V., Mitrichev, V. S. (1996). *Sudebno-biologicheskaiia ehkspertiza volos zhivotnykh: metodicheskoe posobie dlia ehkspertov, sledovatelei i sudei* [Forensic Biological Examination of Animal Hair: A Guide for Forensic Experts, Investigators and Judges]. Moskva [in Russian].
- Kofanov, A. V., Kobylanskyi, O. L., Davydova, O. O. (2011). Kryminalistychnе doslidzhennia biolohichnykh ob'ektiv [Forensic research on biological objects] : metod. rek. Kyiv (Seriia «Kryminalistychnе zabezpechennia») [in Ukrainian].
- Lukomska, O. V. (2021). Morfolohichni osoblyvosti volossia sobak porid Yorkshire Terrier, West Highland White Terrier, Airedale Terrier ta Australian Terrier [Morphological features of the hair of dogs of different breeds Yorkshire Terrier, West Highland White Terrier, Airedale Terrier ta Australian Terrier]/ *Biolohichni doslidzhennia — 2021* : zb. nauk. pr. [in Ukrainian].
- Matsumoto, K., Inagaki, T., Hirunuma, R., Enomoto, S., Endo, K. (2001). Contents and uptake rates of Mn, Fe, Co, Zn, and Se in Se-deficient rat liver cell fractions. *Analytical Sciences*. Vol. 17. Is. 5. DOI: 10.2116/analsci.17.587.
- Medychna biolohiia* [Medical biology] (2004) : pidruchnyk / za red. V. P. Pishaka, Yu. I. Bazhory. Vinnytsia [in Ukrainian].
- Miasoiedov, V. V. (2000). Vmist makro- i mikroelementiv v orhanakh ta tkanyakh shchuriv, toksykovanykh syntezovanyymi poverkhnevo-aktyvnymy rehovynamy [Content of macro- and microelements in organs and tissues of rats poisoned by synthesized surfactants]. *Bukovynskyi medychnyi visnyk*. T. 4. № 3 [in Ukrainian].
- Osnovy sudovoi ekspertyzy: navchalnyi posibnyk dlia fakhivtsiv, yaki maiut namir otrymaty abo pidtverdyty kvalifikatsiiu sudovoho eksperta* [Fundamentals of forensic examination: a study guide for professionals intend to obtain or confirm of a forensic expert qualification] (2016) / avt.-uklad.: L. M. Holovchenko, A. I. Lozovyi, E. B. Simakova-Yefremian ta in. Kharkiv [in Ukrainian].
- Prudyus, I. N., Shkliarskyi, V. I., Pedan, A. D. (2008). Skanuiuchy optychnyi mikroskop dlia klinichnoi laboratornoi diahnostyky [Scanning optical microscope for clinical laboratory diagnostics]. *Prykladna radioelektronika. Stan i perspektyvy rozvytku MRF2008* : tezy dop. 3-ho mizhnar. radioelektr. forumu (Kharkiv, 23—25.10.2008). T. 4. Kharkiv [in Ukrainian].
- Reiss, R. A. (1912). *Nauchnaia tekhnika rassledovaniia prestuplenii* [Scientific technique for investigating crimes] : kurs lekts. / pod red. prof. S. N. Tregubova. Sankt-Peterburg [in Russian].
- Shakhbazov, V. G., Grigороva, I. A., Nosatenko, P. E. (1995). Otsenka sostoianiiia zdorovia naseleniia s ispolzovaniem novykh biofizicheskikh integralnykh metodov [Assessment of health state of the population using new biophysical integral methods]. *Meditsinskaia ehkologiya, gigiena proizvodstvennoi i okruzhaiushchei sredy* : region. nauch.-prakt. konf. Kharkov. T. 2 [in Russian].

- Tridico, S. R. (2005). Examination, Analysis, and Application of Hair in Forensic Science – Animal Hair. *Forensic science review*. Vol. 17. Is. 1.
- Verkhratskyi, S. A., Zabludovskyi, P. Yu. (1991). *Istoriia medytsyny [History of Medicine] : navch. posib. 4-te vyd., vypr. i dopov.* Kyiv [in Ukrainian].
- Wandhare, P. P., Bhosale, M. S. (2017). Trichology: a Science of Hair Examination in Identification of Dog Breeds. *International Journal of Applied and Pure Science and Agriculture*. Vol. 03. Is. 6. DOI: [10.22623/IJAPSA.2017.3055.FZ1ES](https://doi.org/10.22623/IJAPSA.2017.3055.FZ1ES).
- Zaitsev, D. M., Prystupa, V. V. (2018). *Mozhlyvosti ta perspektyvy zastosuvannya elektronnoi mikroskopii z renthenofluorescentnym enerhodispersiynym mikroanalizom v sudovii ekspertyzi [Possibilities and prospects for use of electron microscopy with X-ray fluorescent energy dispersion microanalysis in forensic science]. Kryminalistyka i sudova ekspertyza : mizhvidom. nauk.-metod. zb., prysviach. 105-rich. zasnuv. sud. ekspert. v Ukraini.* Vyp. 63. Ch. 1. URL: <https://digest.kndise.gov.ua/wp-content/uploads/2019/03/40.pdf> [in Ukrainian].

Дереча, Л., Борзов, О., Русіторіу, Ф. (2022). Встановлення таксономічної належності волосся тварин за допомогою інструментальних і мікроскопічних методів. *Теорія та практика судової експертизи і криміналістики*. Вип. 2 (27). С. 44–58. DOI: [10.32353/khrife.2.2022.04](https://doi.org/10.32353/khrife.2.2022.04).