

Застосування скануючої електронної мікроскопії в судово-біологічних дослідженнях

Лариса Дереча

кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, учений секретар, Національний науковий центр «Інститут судових експертиз ім. Засл. проф. М. С. Бокаріуса» Міністерства юстиції України, м. Харків, Україна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6044-2068>, e-mail: derecha@hniise.gov.ua

Олександр Борзов

завідувач відділу, Київський науково-дослідний інститут судових експертиз Міністерства юстиції України, м. Київ, Україна, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3294-8674>, e-mail: sasha050368@ukr.net

Олена Гаджієва

завідувач лабораторії, Одеський науково-дослідний інститут судових експертиз Міністерства юстиції України, м. Одеса, Україна, e-mail: lenagadzieva39@gmail.com

Наведено приклади застосування скануючої електронної мікроскопії в судово-біологічних дослідженнях та обґрунтовано ефективність впровадження сучасних методів у судово-експертну практику.

Ключові слова: судово-біологічна експертиза; об'єкти рослинного та тваринного походження; скануюча електронна мікроскопія; волосся тварин; луска риб.

Application of Scanning Electron Microscopy in Forensic Biological Examinations

Larysa Derecha, Oleksandr Borzov, Olena Hadzhiieva

The paper presents examples of using scanning electron microscopy in forensic biological examinations and justifies the efficiency of incorporating modern methods into forensic expert practice.

Keywords: forensic biological examination; objects of plant and animal origin; scanning electron microscopy; animal hair; fish scales.

Судова експертиза в Україні є важливою складовою правосуддя в усіх видах судочинства, зокрема у кримінальному провадженні. Забезпечення прав і свобод людини, гарантованих Європейською конвенцією з прав людини, включно з правом на справедливий суд, зумовлює необхідність постійного розвитку судово-експертної діяльності з метою підвищення ефективності, надійності й достовірності висновків експертів. Стрімкий розвиток сучасних технологій і науково-технічного прогресу ставить перед судовою експертизою нові завдання, поміж яких особливе місце посідає судово-біологічна експертиза, що потребує вдосконалення теоретичних і методичних засад, розроблення нових наукових підходів та оновлення методик дослідження.

Під час розслідування кримінальних правопорушень різних категорій виникає потреба у встановленні фактичних обставин події, причиново-наслідкових зв'язків, а також її часових і просторових характеристик. Такі відомості можна отримати в результаті до-

слідження об'єктів рослинного та тваринного походження, які є елементами речової обстановки місця події і можуть виявлятися у взаємозв'язку з іншими матеріальними слідами.

Потреба в підвищенні ефективності протидії злочинності зумовлює впровадження нових криміналістичних методів і засобів. Сучасний розвиток природничих наук, зокрема біології, розширює можливості ідентифікації об'єктів завдяки виявленню якісно нових ознак. У цьому контексті перспективним є застосування скануючої електронної мікроскопії (далі — СЕМ), яка забезпечує дослідження мікроструктури й рельєфу поверхні об'єктів біологічного походження та дає змогу встановлювати їх таксономічну належність навіть за наявності дрібних фрагментів. Зазначені положення доцільно проілюструвати на прикладі судово-біологічного дослідження похідних об'єктів тваринного походження — волосся тварин і луски риб.

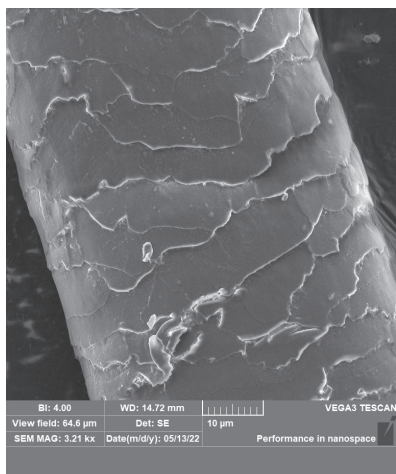
СЕМ ґрунтується на реєстрації аналітичних сигналів, що виникають унаслідок



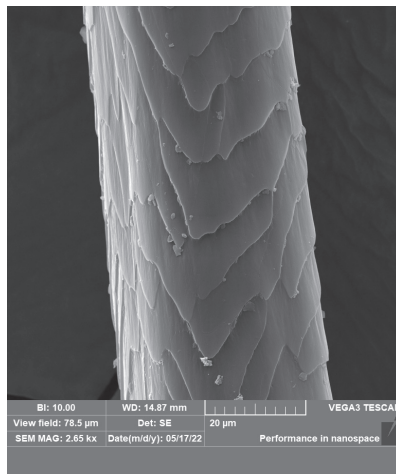
взаємодії сфокусованого пучка прискорених електронів (електронного зонду) з поверхнею досліджуваного об'єкта. Зазначений метод застосовується для дослідження поверхні як об'єктів зі значними лінійними розмірами, так і мікрочасток у широкому діапазоні збільшень — від $10\times$ до понад $200\,000\times$, забезпечуючи роздільну здатність порядку 10^{-9} м. Без суттєвого переналаштування приладу можливе отримання як загальних оглядових зображень поверхні, так

і детальних зображень окремих ділянок за максимальних збільшень. Значна глибина різкості СЕМ дає змогу фіксувати морфологічні особливості поверхонь зі складним рельєфом, зокрема зламів, слідів механічних пошкоджень і періодично відтворюваних поверхневих структур.

Приклади зображень волосся тварин, отриманих із використанням скануючого електронного мікроскопа *Tescan Vega 3*, наведено на *рис. 1 і 2*.

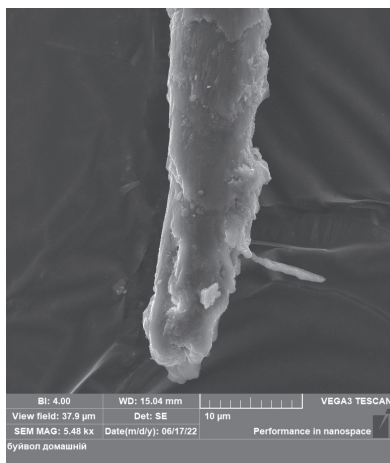


1

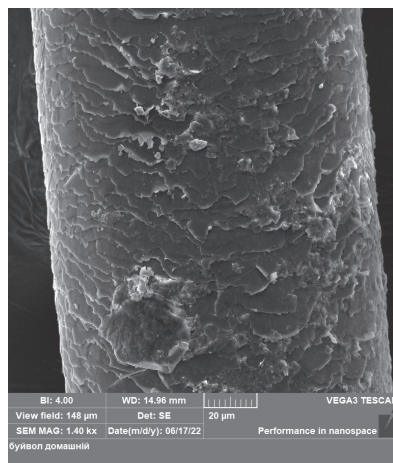


2

Рис. 1. Електронно-мікроскопічне зображення середньої частини волосин тварин:
1 — волосина свині, 2 — волосина зайця (збільшено в $1190\times$)



1



2

Рис. 2. Електронно-мікроскопічне зображення волосини буйвола:
1 — кінцева частина, 2 — середня частина (збільшено в $3330\times$)

Програмне забезпечення скануючого електронного мікроскопа оснащено інтегрованими інструментами вимірювання геометричних параметрів, зокрема лінійних і кутових величин, а також площі виділених ділянок. Контроль правильності вимірювань здійснюється із застосуванням сертифікованих об'єкт-мікрометрів.

Із застосуванням методів СЕМ здійснюється дослідження будови серцевинних дисків і пігменту остьового волосся як у нативному стані, так і після термохімічного гідролізу. У результаті встановлено діагностичну цінність особливостей будови серцевини волосся та їх таксономічну специфічність. Будова різних шарів волосся, зокрема серцевинного, характеризується значною варіабельністю, що використовується для ідентифікації таксонів за волоссям у зоології, судово-медичній і судово-біологічній експертизах. До того ж більшість дослідників традиційно враховують переважно конфігурацію серцевини, не приділяючи належної уваги характеру розподілу повітряносповнених порожнин і морфології так званих серцевинних клітин.

Луска риби, попри морфологічну подібність у деяких таксонів, під час дослідження методом СЕМ дає змогу виявляти діагностично значущі закономірності. Так, під час проведення судово-біологічного дослідження луски деяких найпоширеніших в Україні риби із застосуванням СЕМ (*Tescan Vega 3*) виявлено відповідні особливості її будови, що дає змогу констатувати відмінність схожих, на перший погляд, лусочок і вважати їх належними до певних таксономічних груп. Зокрема, за допомогою методу СЕМ визначали відмінності будови луски таких прісноводних риби, зовнішній вигляд лусочок яких є схожим, без видимих суттєвих особливостей, зокрема, луски риби одного сімейства — сімейства коропових (*Cyprinidae*): Коропа звичайного (*Cyprinus carpio*) і Товстолобика білого (*Hypophthalmichthys molitrix*).

Під час проведення судово-біологічного дослідження циклоїдної з округлими гладенькими краями луски бічної лінії коропових риби методом СЕМ (*Tescan Vega 3*) отримано зображення луски риби — Коропа звичайного (*Cyprinus carpio*) і Товстолобика білого (*Hypophthalmichthys molitrix*), зовнішній вигляд яких наведено на рис. 3 та 4.

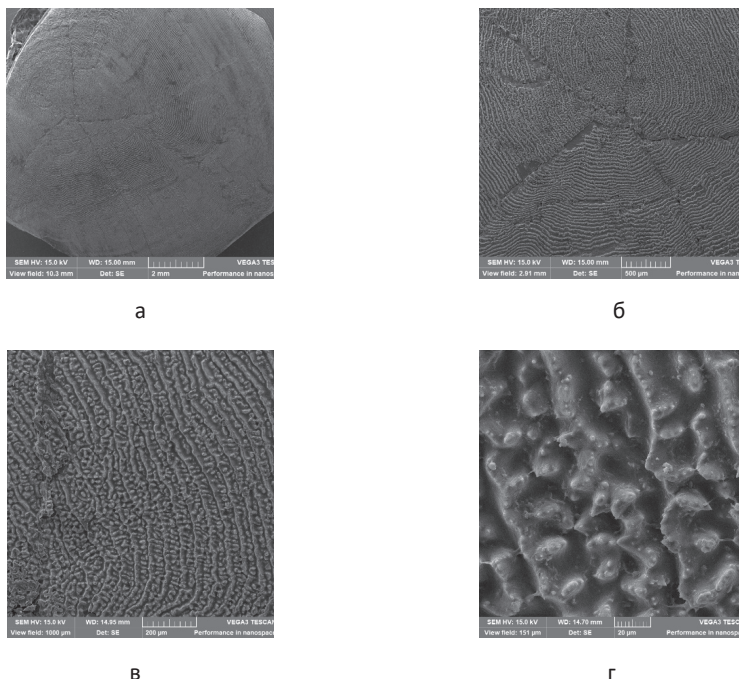
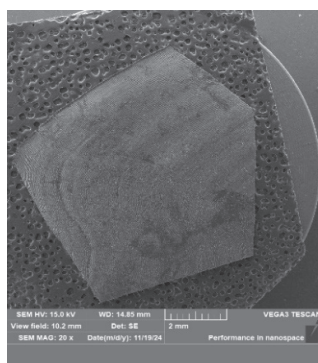
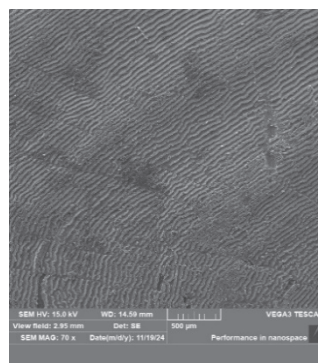


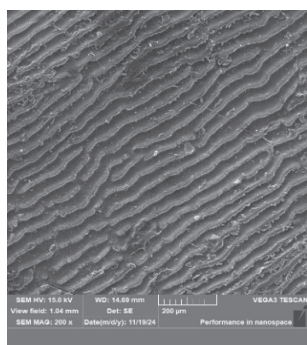
Рис. 3. Зображення фрагмента луски Товстолобика білого (*Hypophthalmichthys molitrix*): а) збільшено до 20[×]; б) збільшено до 70[×]; в) збільшено до 200[×]; г) збільшено до 1400[×]



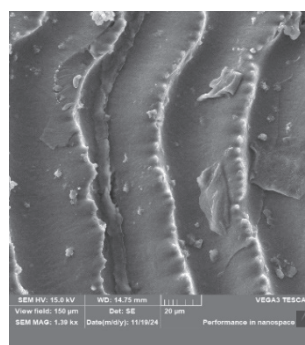
а



б



в



г

Рис. 4. Зображення фрагмента луски Коропа звичайного (*Cyprinus carpio*):

а) збільшено до 20[×]; б) збільшено до 70[×]; в) збільшено до 200[×]; г) збільшено до 1400[×]

Під час дослідження луски риб Коропа звичайного (*Cyprinus carpio*) і Товстолобика білого (*Hypophthalmichthys molitrix*) спостерігаються суцільні концентричні валики, які іменуються склеритами. У коропоподібних склерити розташовані навколо центру колами. Луска є тонкою, із центральним або передньоцентральним ядром, без ктенів у задній частині.

Луска Товстолобика білого (*Hypophthalmichthys molitrix*) циклоїдна, дрібна з рівними краями, радіальних каналів мало, найменша кількість склеритів у передньому секторі луски, найбільша — у задньому. Для луски Коропа звичайного (*Cyprinus carpio*) характерна наявність радіальних смужок або променів, особливо в апікальному (верхівковому) шарі.

Досліджувана луска має характерні морфологічні ознаки циклоїдної луски з чіткою диференціацією передньої та задньої

ділянок. У задній частині виявляються ряди пігментованих гранул різної форми, а на дорсальній поверхні — лепідонти та циркулі, що забезпечують прикріплення луски до шкіри. Луска бічної лінії характеризується наявністю каналу з переднім і заднім отворами. Зміни в морфології луски (порушення рисунка циркулів, утрата лепідонтів і гранул) можна використовувати як діагностичні ознаки впливу несприятливих умов середовища.

Під час дослідження морфологічних характеристик луски коропових риб за допомогою скануючої електронної мікроскопії виявлено, що луска досліджуваних видів риб різниться за формою, розмірами, топологічною макро- і мікроструктурою, візерунком орнаменту луски.

В умовах електронно-мікроскопічного аналізу луски риб виявлено численні приховані морфологічні та структурні характеристики, а також тип, форму й розмір, товщину,

розташування та відносну відстань кіл навколо фокуса, радіуси (кількість, форма, його розміщення від фокусу), лепідонти (фактура, форма, розмір, орієнтація і тип їх прикріплення), гранули (форма, розмір, кількість і конфігурація), які можуть ефективно сприяти ідентифікації та класифікації риб на рівні роду й виду. Положення ядра, наявність радіусів на полях луски (переднє, заднє та бічні), наявність специфічного розташування горбків на задній ділянці можна використати як таксономічну ознаку.

Кількісні та якісні ознаки, описані на основі оптичної світлової мікроскопії і СЕМ, можуть бути реалізовані разом з іншими морфологічними характеристиками. На основі отриманих результатів можна дійти виснов-

ку, що форма й розмір лепідонтів на гребні циркулю, положення, форма та розмір горбків і наявність як переднього, так і заднього радіусів можуть свідчити про надійні таксономічні ознаки.

Отже, застосування СЕМ у судово-біологічній експертизі підвищує інформативність і доказову обґрунтованість висновків експертів, зокрема, за умов складної таксономічної диференціації або обмеженої кількості зразків. Аналіз рельєфу та мікроструктури об'єктів дає змогу вирішувати завдання видової діагностики й ідентифікації, а практика використання СЕМ підтверджує перспективність її застосування у розслідуванні правопорушень, пов'язаних з об'єктами біологічного походження.