РОЗВИТОК МЕТОДИК МІКРОТРАСОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У КОНТЕКСТІ СУЧАСНОЇ КРИМІНАЛІСТИКИ

НАЗАРЕНКО Павло Григорович - кандидат юридичних наук, доцент кафедри кримінального, цивільного та міжнародного права Національного університету «Запорізька політехніка»

https://orcid.org/0000-0002-6569-0845

БАЄВА Лілія Вікторівна - кандидат юридичних наук, доцент кафедри конституційного, адміністративного та трудового права Національного університету «Запорізька політехніка»

https://orcid.org/0000-0001-8161-9005

ЛОПОХА Василь Васильович - кандидат юридичних наук, кафедра права, Волинський інститут імені В'ячеслава Липинського Міжрегіональної Академії управління персоналом

https://orcid.org/0009-0002-4966-2411

УДК 343.982

DOI: https://doi.org/10.32782/NP.2024.2.11

У статті наведено огляд методик мікротрасологічних досліджень з наголосом на фотомікроскопічних методиках, які дозволяють розслідувати злочини на мікрорівні. В огляді наведена коротка характеристика об'єктів, які досліджує мікротрасологія, розвиток методик мікрострасологічних досліджень в історичному контексті, детальний огляд сучасних можливостей та обмежень мікроскопічних методик, а також можливі напрямки розвитку фотомікроскопічних методик у майбутньому. Наведений огляд показує, що подальший розвиток методик мікротрасологічних досліджень дозволить розширити спектр мікроскопічних об'єктів, для яких можна проводити дослідження та аналіз, і дозволить розширити спектр правопорушень, які можуть бути розкриті.

Ключові слова: скануюча мікроскопія, аналіз слідів, ідентифікація матеріалів, цифрова обробка зображень

Постановка проблеми

Науково-технічний прогрес однією рукою дає можливість особам, які вчиняють злочини, вчиняти набагато більш продумані, технічно складні злочини і залишати мінімальну кількість доказів на макрорівні, а іншою рукою дає криміналістам засоби та методики розкриття таких злочинів на мікрорівні.

Злочинність як явище існувало протягом дуже великого періоду історії людства, якщо не всього. Поява такої науки як криміналістика наприкінці 19-го ст. була обумовлена різким зростанням організованої злочинності в результаті стрімкого розвитку науково-технічного прогресу як одного з факторів. На початку 21-го ст. розвиток криміналістики стрибнув на якісно новий рівень завдяки глобальним процесами розвитку інформаційних технологій, цифровізації та діджиталізації. У 2019 році світова пандемія спричинила стрибкоподібний розвиток електронно-цифрових сервісів та дистанційних форм взаємодії людей, що певним чином змінило форми злочинних проявів, наприклад, незаконного обороту наркотичних засобів і зброї, реалізації контрафактної продукції, активності екстремістських, терористичних та мафіозних угрупувань.

Останній виток розвитку та ускладнення злочинності як явища був спричинений

початком війни в Україні, який пролив світло на крайню потребу в нових підходах до розкриття та розслідування кримінальних правопорушень, пов'язаних з воєнними діями, через їхню специфіку в контексті способів вчинення, наявних слідів та особливостей особи злочинця. Узагальнюючи, науково-технічний прогрес в області техніки, технології та науки сприяв розвитку та суттєвому ускладненню злочинності як явища.

Вчинення злочину неминуче супроводжується утворенням певних слідів на місці його скоєння, на людині, одязі, навколишніх предметах, знаряддях злочину тощо. Якщо раніше макрослідів (слідів рук, ніг, транспортних засобів тощо) було достатньо для розкриття злочину, то в останні декілька десятків років науково-технічний прогрес надав засоби та методи досить успішного приховування та знищення макрослідів вчинення злочину. Це змусило криміналістику як науку перейти з макрорівня на макрорівень, оскільки мікросліди в широкому розумінні непомітні неозброєному оку і особі, яка вчинила злочин, дуже важко позбутися або знищити такі сліди. Таким чином, особлива цінність мікрослідів у контексті сучасної криміналістики та мікротрасології полягає в тому, що завжди існує набагато більша імовірність їх існування на місці злочину, ніж видимих людському оку мікрослідів [1-3].

Мета і завдання дослідження

Метою цього огляду є аналіз сучасного ступеня розвитку методик мікротрасологічних досліджень, зокрема фотомікроскопічних, оцінка ступеня їхнього розвитку в історичному контексті та оцінка можливих напрямків розвитку в майбутньому.

Виклад основного матеріалу

Для розуміння історичного контексту розвитку методик мікротрасологічних досліджень спочатку варто визначитися з базовими термінами і поняттями трасології.

1.1. Основні терміни і поняття

Трасологія – це галузь криміналістичної техніки, яка вивчає матеріальні об'єкти, які залишаються після вчинення злочину, і закономірності їхнього утворення, та розробляє науково-технічні засади і методологію виявлення, фіксації, вилучення і дослідження цих матеріальних об'єктів.

Мікротрасологія – розділ трасології, який вивчає матеріальні об'єкти, непомітні неозброєному оку. На сьогодні єдиної думки про точний часовий період виникнення мікротрасології як такої, ще не офіційно затвердженої галузі науки, немає, що обумовлено географічною приналежністю вчених-криміналістів. Проте можна вважати, що найбільш імовірно найперші засади мікротрасології виникли у 16-му ст. після створення першого найпростішого мікроскопа, який у 1686 році відкрив можливості для дослідження папілярних візерунків людських пальців. Першу появу основного терміну мікротрасології «мікросліди» можна з упевненістю віднести до 1951 року. Уже рівно через 20 років, у 1971 році, було запропоновано виділити окремий розділ трасології – мікротрасологію.

Поняття «мікросліди» дуже часто використовується як у науково-популярній, так і в спеціальній криміналістичній літературі різних країн, однак воно має більш родовий, узагальнюючий, характер, і включає три конкретні типи об'єктів: мікрочастки, власне мікросліди та мікрокількості речовини. У цій статті нас цікавлять класифікації мікроскопічних об'єктів за розміром та природою походження, оскільки вони мають визначальне практичне значення для правильного вибору засобів і методик виявлення, вилучення, фіксації і дослідження мікроскопічних об'єктів.

За розміром мікроскопічні об'єкти поділяються на:

- мікрооб'єкти – матеріальні об'єкти, факт наявності яких за нормальних умов спостереження може бути встановлений, але дослідження його морфологічних ознак уже потребує найпростіших позалабораторних збільшувальних засобів;
- ультрамікрооб'єкти – матеріальні об'єкти, факт наявності яких за нормальних умов спостереження не може бути встановлений, але за допомогою найпростіших позалабораторних збільшувальних засобів може бути встановлений, а дослідження

його морфологічних ознак потребує застосування лабораторних збільшувальних засобів і проведення експертизи;

- ультраоб'єкти – матеріальні об'єкти, факт наявності яких не можна встановити візуально навіть жодними лабораторними збільшувальними засобами, а тільки опосередкованими методами якісного і кількісного аналізу та експертизою.

За природою походження мікроскопічні об'єкти поділяють на:

- природні органічні (мікроскопічні залишки рослинних і тваринних організмів, нафти, торфу тощо),
- виробничі органічні (мікроскопічні залишки синтетичних волокон, фарби, пластмаси, нафтопродуктів, фармацевтичних препаратів),
- природні неорганічні (мікроскопічні залишки руди, мінералів, ґрунту),
- виробничі неорганічні (мікроскопічні залишки металів та сплавів, скла, кераміки, будівельних матеріалів тощо).

За агрегатним станом мікрооб'єкти бувають рідкими (розчини, емульсії, суспензії), твердими (кристалічними й аморфними) і газоподібними.

Загалом, і трасологія, і мікротрасологія призначені досліджувати матеріальні об'єкти, проте самі об'єкти та методики їхнього дослідження різні, а технічні засоби для дослідження мікроскопічних об'єктів відрізняються від таких для макроскопічних об'єктів.

Таким чином, мікротрасологія як розділ трасології покликана вирішувати ряд своїх наукових задач, до яких відносяться:

- дослідження закономірностей виникнення мікроскопічних об'єктів, які відрізняються від закономірностей виникнення макроскопічних об'єктів;
- розробка специфічної методології виявлення, фіксування, вилучення та дослідження мікроскопічних об'єктів, оскільки основною їхньою відмінністю є невидимість для неозброєного ока.

Тому, на відміну від трасології, основною методикою фіксації мікроскопічних об'єктів є мікрофотозйомка, а основною методикою дослідження мікрослідів та їхніх морфологічних ознак є мікроскопія [4-6].

1.2 Мікрофотозйомка: історія та сучасний стан

Фотозйомка як засіб фіксації об'єктів та отримання об'єктивної, доказової інформації застосовується в криміналістиці, починаючи з 19-го ст. З того часу фотозйомка набула широкого застосування у світовій криміналістичній практиці і виокремилася в спеціальний розділ – судову фотозйомку.

Мікрофотозйомка як окремий вид судової фотозйомки застосовується для дослідження мікроструктури і мікрорельєфу мікроскопічних об'єктів та отримання збільшених фотографій мікроскопічних об'єктів. Така фотозйомка проводиться за допомогою двох типів інструментів: фотоапаратів зі спеціальним мікрофотооб'єктивом та фотообладнання, з'єднаного з мікроскопом.

В українськомовній літературі ці два види фотозйомки часто позначаються одним терміном – мікрофотозйомка. Проте в англомовних країнах у контексті отримання зображень мікроскопічних об'єктів розрізняють два терміни: фотомікрографія (photomicrography), яку проводять за допомогою мікроскопів, та мікрофотографія (microphotography), яку проводять за допомогою фотоапаратів зі спеціальним мікрофотооб'єктивами. Ці дві методики мають різне призначення.

Мікрофотографію найчастіше застосовують для фіксації мікрооб'єктів на об'єктіносії під час процедур виявлення, фіксації та вилучення мікроскопічних об'єктів. На сьогодні можливості мікрофотографічної фіксації об'єктів усе ще залишаються обмеженими через невідповідність між розміром мікроскопічних об'єктів та роздільною здатністю фотообладнання. Тому мікрофотозйомку проводять або для фіксації об'єктівносіїв, або фіксації розташування мікроскопічних об'єктів [7, 8].

Фотомікрографію вже широко застосовують для дослідження та експертизи мікроскопічних об'єктів.

Загальноприйнятної версії виникнення фотомікрографічного напрямку на сьогодні немає. Вважається, що піонером був Томас Веджвуд (Thomas Wedgwood), який у своїй праці від 1802 року запропонував нове застосування оптичного мікроскопу для фо-

тографування маленьких об'єктів, проте немає жодних підтверджень, що Веджвуду вдалося реалізувати свою ідею та отримати фотомікрографічне зображення. Найперші зображення за допомогою фотомікрографічної методики були зроблені в 1830-х роках вченим і фотографом Вільямом Генрі Фоксом Тальботом.

Найперші конструкції, які дозволяли отримати фотомікрографічне зображення являли собою фізичні збірки фотоапаратів та оптичних мікроскопів, але дуже скоро оптична мікроскопія досягла своїх меж своїх можливостей: максимальне збільшення становило 1000х, а максимальна роздільна здатність – 0,2 мм. Причому цей ліміт був обумовленим не лише кількістю та якістю лінз, але й довжиною хвилі світла, що використовувалася для освітлення об'єкта в оптичному мікроскопі. Тому в 1931 році у Ернеста Руска (Ernst Ruska) та Макса Нола (Max Knoll) з'явилася ідея усунути обмежувальний фактор у вигляді довжини хвилі білого світла і використовувати в якості джерела освітлення пучок електронів з набагато коротшою довжиною хвилі, що привело до створення першого трансмісійного електронного мікроскопа, у якому електрони спрямовані безпосередньо на мікроскопічний зразок і проходять крізь нього, створюючи зображення мікроскопічного об'єкта.

У 1941 році Ернестом Руска (Ernst Ruska) був розроблений інший підхід: використання сфокусованого пучка електронів, який не проходив крізь зразок, а взаємодіяв з поверхнею зразка. Так з'явилася скануюча електронна мікроскопія. І вже 1986 році в Японії було представлено перший цифровий мікроскоп, який передавав зображення з-під мікроскопа на комп'ютер для миттєвого аналізу. У наш час електронні мікроскопи мають вбудовані монітори високої чіткості, що усуває потребу в зовнішньому комп'ютері для перегляду зображень [9-11].

На сьогодні однією з основних методик мікротрасологічних досліджень залишається фотомікроскопія, але вже не оптична, а трансмісійна електронна мікроскопія (TEM) та скануюча електронна мікроскопія (SEM), причому скануючий електронний мікроскоп має більш широке поширення завдяки меншим габаритам та меншій вартості, а також можливості для експерта інтуїтивно інтерпретувати отримане тривимірне зображення.

Як зазначалося вище, методика скануючої електронної мікроскопії полягає в опроміненні мікроскопічного зразка тонким сфокусованим пучком електронів і досліджені поверхневої та приповерхневої структури. Пучок електронів генерується термоемісійними або автоемісійними джерелами, далі він отримує прискорення у вакуумі, фокусується лінзою об'єктива і розгортається у растр на поверхні підготовленого мікроскопічного зразка розміром від 1 нм до 20 нм. Коли пучок електронів потрапляє на поверхню мікроскопічного зразка, він проникає в мікроскопічний зразок на глибину в кілька мікрон, після чого відбувається взаємодія пучка електронів з поверхнею мікроскопічного зразка і утворюються декілька типів електронів та фотони з різною енергією, які реєструються датчиками мікроскопу.

Тривимірне зображення поверхні мікрооб'єкта можна переглядати в реальному часі на зовнішньому моніторі за допомогою програмного забезпечення. Найбільш використовуваними сигналами є сигнали вторинних електронів, електронів зворотного розсіювання та характеристичного рентгенівського випромінювання: вторинні електрони використовують для відображення рельєфу поверхні (тобто топографії), оскільки вони генеруються ближче до поверхні зразка, електрони зворотного розсіювання використовують для виявлення фазового складу зразка, а рентгенівські промені застосовують для точного хімічного аналізу [12-14]. Для більшої наочності схематичне зображення скануючого електронного мікроскопа наведене на Рис. 1.

Як зазначалося вище, максимальна роздільна здатність оптичного мікроскопа не перевищує 1000х, скануючий же електронний мікроскоп дає можливість аналізувати зразки розмірами щонайменше 1 нм. З цієї причини сучасна скануюча електронна мікроскопія дозволяє отримати інформацію про мікроскопічний зразок, яку отримати раніше за допомогою оптичних мікроскопів не представлялося можливим, а саме:

- зображення мікроскопічного зразка високої роздільної здатності, що робить можливим детальне дослідження топографії поверхні, текстури та структурних особливостей мікроскопічних об'єктів, їхню ідентифікацію та диференціацію;
- елементний склад для виявлення невідомих речовин, таких як наркотичні засоби, вибухівка або хімічні залишки, що може надати критичне розуміння природи злочину або допомогти в ідентифікації заборонених речовин.

Принцип трансмісійної електронної мікроскопії та будова самого мікроскопа дуже схожі на принцип скануючої електронної мікроскопії. Обидва типи мікроскопів містять джерело електронів, серію лінз для контролю форми і траєкторії пучка електронів, апертури всередині камери, що знаходиться під тиском. Проте ТЕМ має свої певні відмінності [15, 16] (Таблиця 1).

Глобально, розвиток методик мікротрасологічного дослідження не є рівномірним і залежить від ступеня розвитку окремого географічного регіону. Наприклад, криміналістична лабораторія столичної поліції в Лондоні почала регулярно використовувати методику SEM для ручного виявлення та аналізу залишків вогнепальної зброї ще наприкінці 1960-х рр. В інших географічних регіонах активне використання SEM почалося нещодавно, і тільки нещодавно дало змогу проводити, наприклад, ідентифікацію типу живої істоти за мікрослідами волосся, ідентифікацію етнічної приналежності за тими ж мікрослідами волосся, ідентифікацію кольору, марки та моделі транспортного засобу за мікрослідами фарбового покриття, ідентифікацію місця вчинення злочину за мікрослідами ґрунту, пилу та мінералів, насіння, пилку та рослин, а також ідентифікацію причини та часу смерті за мікрослідами комах, личинок та яєць тощо.

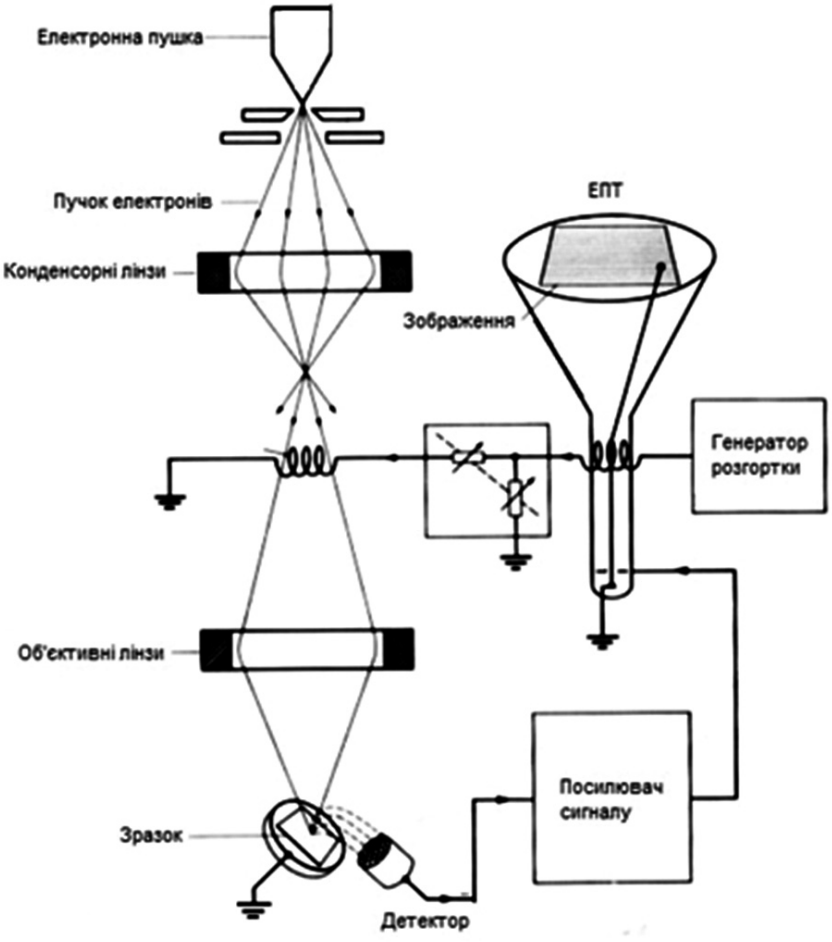


Рис. 1 – Схематичне зображення скануючого електронного мікроскопа

Узагальнюючи, у сучасній криміналістиці фотомікроскопічний аналіз необхідний в областях, де є потреба у зображенні з великою глибиною фокусу при відносно великих збільшеннях у поєднанні з елементним аналізом, тобто для мікроскопічних об'єктів відносно неоднорідного характеру та/або зі складним складом, наприклад, залишків вогнепальної зброї та фарби. Навпаки, навіть сьогодні застосування фотомікроскопічного аналізу в галузі судової медицини відносно обмежене, оскільки роздільна здатність для біологічних об'єктів, особливо м'яких тканин, є поганою. Крім

Таблиця 1 – Короткий порівняльний аналіз SEM і TEM

Характеристика	Скануюча електронна мікроскопія (SEM)	Трансмісійна електронна мікроскопія (TEM)
Тип зображення	тривимірне	двовимірне
Тип отримуваної інформації	топографія та елементний склад	внутрішня структура зразка
Принцип отримання зображення	зчитування сигналів вторинних електронів, електронів зворотного розсіювання та характеристичного рентгенівського випромінювання	зчитування сигналів електронів, які пройшли крізь зразок
Оптимальна просторова роздільна здатність	приблизно 0,5 нм	приблизно 50 пм
Величина збільшення	до 1-2 млн раз	до 50 млн раз
Характер розміщення зразка в мікроскопі	в нижній частині колони	в середній частині колонки
Підготовка зразків	незначні вимоги до підготовки	ретельна підготовка, маленька товщина зразка (менше 150 мн), необхідністю у кваліфікованому персоналі
Величина напруги прискорення	до 30 кВ	60-300 кВ
Принцип утворення зображення	електрони вловлюються та підраховуються детекторами, зображення виводиться на екран ПК	безпосередній вивід зображення на флуоресцентний екран або екран ПК

того, фотомікроскопічний аналіз висуває певні вимоги до мікроскопічних зразків через наявність вакууму в мікроскопі, тому біологічні мікрооб'єкти потребують набагато більш ретельної підготовки, що ускладнює проведення дослідження [17].

1.3 Майбутнє методик мікротрасологічних досліджень

У 2024 році здається, що фотомікроскопія досягла визначного прогресу. Проте криміналістика все ще стикається з рядом обмежень при практичному використанні електронних мікроскопічних методик мікротрасологічних досліджень. Наприклад, досі існує проблема в оптимізації просторової роздільної здатності, швидкості виведення зображення, співвідношення сигнал/шум і фотопошкодження, що впливає на якість кінцевого зображення мікроскопічного об'єкта.

У цьому огляді ми розглянули лише дві найбільш поширені та найбільш інформаційні методики фотомікроскопії, проте на сьогодні існує величезна кількість типів мікроскопії: катодолюмінісцентна, флуоресцентна, інтерференційна тощо. Усі вони забезпечують можливість дослідження мікроскопічних об'єктів, проте, як ми вже сказали в підрозділі 1.1, типів мікроскопічних об'єктів існує велика кількість, тому немає універсальної мікроскопічної методики та універсального мікроскопа для дослідження кожного без винятку типу об'єкта. Тому забезпечення цієї універсальності є однією із задач розвитку фотомікроскопії. Наприклад, одним із останніх помітних технологічних досягнень стала можливість аналізувати вологі, забруднені та непровідні мікроскопічні зразки, які раніше були непридатні для мікроскопічного дослідження, а їхня обробка не мала суттєвого впливу на покращення результатів.

Щодо майбутнього науки про мікроскопічні об'єкти, то подальший розвиток методик мікротрасологічних досліджень у великому ступені буде пов'язаний з науково-технічним поступом у галузі фотомікроскопії. Так, електронна мікроскопія переживає постійний розвиток з моменту свого виник-

нення і по сьогодні в декількох напрямках: спрощення процедури підготовки зразка, удосконалення конструкції самого мікроскопа, покращення якості зображення, забезпечення універсальності [18-21].

Висновки

Науково-технічний прогрес однією рукою дає можливість особам, які вчиняють злочини, вчиняти набагато більш продумані, технічно складні злочини і залишати мінімальну кількість доказів на макрорівні, а іншою рукою дає криміналістам засоби та методики розкриття таких злочинів на мікрорівні.

Ступінь розвитку сучасних методик мікротрасологічних досліджень дозволяє проводити аналіз великої кількості різноманітних мікроскопічних об'єктів з метою розкриття конкретного злочину. Сьогодні криміналісти можуть досліджувати велику кількість мікроскопічних об'єктів: мікрочастки волосся, фарбового покриття, ґрунту, пилу та мінералів, насіння, пилку та рослин, комах, личинок та яєць тощо, і отримувати цінну інформацію про особу, яка вчинила злочин, засоби та інструменти вчинення злочину, місце і час вчинення злочину.

У підсумку хотілося зауважити, що, дійсно, розвиток мікротрасології очевидно спростив процедури дослідження мікроскопічних об'єктів, збільшив точність і достовірність отриманих результатів і дозволив розкривати злочини, які раніше залишалися б нерозкритими через суто технічний фактор. Однією з неочевидних переваг розвитку мікротрасології може стати збільшення спектру злочинів та правопорушень, які можна розкрити. Тому наостанок наведемо один приклад з практики компанії VERTEX.

У своїх маркетингових матеріалах VERTEX описує випадок затоплення декількох поверхів житлового будинку внаслідок протікання води. На момент замовлення експертизи фрагмент пошкодженої труби вже поміняли на новий, компанія VERTEX отримала пошкоджений фрагмент окремо. Візуально наданий фрагмент був схожий на решту труби і не представлялося можливості упевнено сказати, що наданий фрагмент дійсно був або не був фрагментом труби будинку. Тому експерти VERTEX вирізали невеличкі зразки відремонтованого фрагменту нової труби і провели електронно-мікроскопічне порівняння своїх зразків з наданим окремо фрагментом труби. У результаті, компанія довела, що наданий фрагмент ніколи не був частиною труби пошкодженого будинку. Причину такого неспівпадіння компанія не розкриває, проте цей випадок наочно демонструє широкі можливості електронної мікроскопії надавати доказову базу для широкого спектру правопорушень [22]. Науково-технічний прогрес, який неминуче чекає нас у майбутньому, ще більше розширить можливості криміналістики та мікротрасології.

Література за ДСТУ

1. Boman J. H., Gallupe O. Has COVID-19 changed crime? Crime rates in the United States during the pandemic. *American Journal of Criminal Justice*. 2020. Vol. 45. No. 4. P. 537-545. DOI: https://doi.org/10.1007/s12103-020-09551-3 (дата звернення: 24.05.2024).

2. Шевчук В. М. Криміналістичні засоби, методи та технології протидії злочинам у сфері національної безпеки в контексті європейської інтеграції. 2024. URL: http://baltijapublishing.lv/omp/index.php/bp/catalog/download/451/12177/25446-1?inline=1 (дата звернення: 24.05.2024).

3. Логвинський, Г.В. Родовий об'єкт для посягання на захисника чи представника особи. *Нове українське право*. 2021. № 3. С. 249-254.

4. Chornyi H. Microtraces in the system of criminal characteristics of terrorist nature crimes. *Theory and Practice of Forensic Science and Criminalistics*. 2020. Vol. 22. No. 2. P. 60–72. DOI: https://doi.org/10.32353/khrife.2.2020.05 (Last accessed: 24.05.2024).

5. Авдєєва Г. К. Вплив наукових здобутків М. С. Бокаріуса на розвиток криміналістики і судової експертизи. *Актуальні питання судової експертизи і криміналістики: збірник матеріалів міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 150-річчю з дня народження Заслуженого професора М.С. Бокаріуса* (Харків, 18–19 квіт. 2019 р.). Харків: Національний науковий центр «Інститут судових експертиз ім. Засл. проф. М.С. Бокаріуса».

С. 13-14. URL: https://dspace.nlu.edu.ua/bitstream/123456789/17395/1/Avdeeva-13-15.pdf (дата звернення: 24.05.2024).

6. Kowalcze M., Mirek M. Micro traces of great importance - a case study of microtraces analysis to identify the perpetrator of a car accident involving identical twins. *Forensic Science International*. 2022. P. 111444. DOI: https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2022.111444 (Last accessed: 24.05.2024).

7. Patel D. The role of forensic photography in criminal investigation and trial. *International Journal of Science and Research (IJSR)*. 2024. Vol. 13. No. 3. P. 1535–1536. DOI: https://doi.org/10.21275/mr24323182402 (Last accessed: 24.05.2024).

8. Fatima F. Forensic photography: A visual and legal record of crime scene. *International Journal for Electronic Crime Investigation*. 2019. Vol. 3. No. 2. P. 10. DOI: https://doi.org/10.54692/ijeci.2019.030234 (Last accessed: 24.05.2024).

9. Gase J. Illuminating the History and Process of Photomicrography at the National Museum of Health and Medicine. 2019. DOI: https://medicalmuseum.health.mil/micrograph/index.cfm/posts/2019/photomicrography_history (Last accessed: 24.05.2024).

10. Staehelin L. A., Paolillo D. J. A brief history of how microscopic studies led to the elucidation of the 3D architecture and macromolecular organization of higher plant thylakoids. *Photosynthesis Research*. 2020. Vol. 145. No. 3. P. 237–258. DOI: https://doi.org/10.1007/s11120-020-00782-3 (Last accessed: 24.05.2024).

11. Ansari N., Dasgupta J., Umre S., Rajput P. Harnessing Electron Microscope for Trace Evidence Analysis. Chapter from Electron Microscopes, Spectroscopy and Their Applications. IntechOpen, 2024. URL: https://www.intechopen.com/chapters/1169646 (Last accessed: 24.05.2024).

12. What is Scanning Electron Microscopy? URL: https://www.nanoscience.com/techniques/scanning-electron-microscopy/ (Last accessed: 24.05.2024).

13. Scanning electron microscopy (SEM). URL: https://www.fhi.mpg.de/1073234/dangsheng_su__scanning_electron_microscopy__100129.pdf (Last accessed: 24.05.2024).

14. Koga D. et al. Applications of scanning electron microscopy using secondary and backscattered electron signals in neural structure. *Frontiers in Neuroanatomy*. 2021. Vol. 15. DOI: https://doi.org/10.3389/fnana.2021.759804 (Last accessed: 24.05.2024).

15. Gentile G. et al. A brief review of scanning electron microscopy with energy-dispersive X-ray use in forensic medicine. *American Journal of Forensic Medicine & Pathology*. 2020. Vol. 41. No. 4. P. 280-286. DOI: https://doi.org/10.1097/paf.0000000000000609 (Last accessed: 24.05.2024).

16. Transmission Electron Microscopy vs Scanning Electron Microscopy: Electron microscopy reference focusing on the difference between transmission electron microscopy (TEM) and scanning electron microscopy (SEM). URL: https://www.thermofisher.com/tr/en/home/materials-science/learning-center/applications/sem-tem-difference.html#:~:text=SEMs%20provide%20a%203D%20image,more%20difficult%20for%20the%20operator (Last accessed: 24.05.2024).

17. Wang Y. et al. The development of microscopic imaging technology and its application in micro- and nanotechnology. *Frontiers in Chemistry*. 2022. Vol. 10. DOI: https://doi.org/10.3389/fchem.2022.931169 (Last accessed: 24.05.2024).

18. Balasubramanian H., Hobson C. M., Chew T. L. et al. Imagining the future of optical microscopy: everything, everywhere, all at once. *Communications Biology*. 2023. Vol. 1096. No. 6. P. 1-12. DOI: https://doi.org/10.1038/s42003-023-05468-9 (Last accessed: 24.05.2024).

19. The Future of Scanning Electron Microscopy with SEM Automation. URL: https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=17919 (Last accessed: 24.05.2024).

20. Bharda A. V., Jung H. S. Liquid electron microscopy: then, now and future. *Applied Microscopy*. 2019. Vol. 49. No. 1. DOI: https://doi.org/10.1186/s42649-019-0011-7 (Last accessed: 24.05.2024).

21. The future of electron microscopy. URL: https://hub.jhu.edu/2021/03/02/electron-microscopy-artificial-intelligence-data-science/ (Last accessed: 24.05.2024).

22. The use of microscopy in forensic engineering. URL: https://vertexeng.com/insights/the-use-of-microscopy-in-forensic-engineering/ (Last accessed: 24.05.2024).

Література за міжнародним стандартом

1. Boman, J. H., & Gallupe, O. (2020). Has COVID-19 Changed Crime? Crime Rates in the United States during the Pandemic. *American Journal of Criminal Justice*, 45(4), 537–545. DOI: https://doi.org/10.1007/s12103-020-09551-3.

2. Shevchuk, V. M. (2024). Forensic means, methods and technologies of combating crimes in the sphere of national security in the context of European integration. Retrieved from http://baltijapublishing.lv/omp/index.php/bp/catalog/download/451/12177/25446-1?inline=1.

3. Logvynskyi, G.V. (2021). Generic object for encroachment on a person's defender or representative. *New Ukrainian Law*, 3, 249-254.

4. Chornyi, H. (2020). Microtraces in the system of criminal characteristics of terrorist nature crimes. *Theory and Practice of Forensic Science and Criminalistics*, 22(2), 60–72.

5. Avdeeva H. K. (2019). The influence of scientific achievements of M. S. Bokarius on the development of criminology and forensic examination. *Current issues of forensic examination and criminology: a collection of materials of the international scientific and practical conference dedicated to the 150th anniversary of the birth of Honored Professor M.S. Bokarius* (Kharkiv, April 18–19, 2019) (pp. 13-14.). Kharkiv: National Scientific Center "Institute of Forensic Expertise named after Ex. Prof. M.S. Bocarius". Retrieved from https://dspace.nlu.edu.ua/bitstream/123456789/17395/1/Avdeeva-13-15.pdf.

6. Kowalcze, M., & Mirek, M. (2022). Micro traces of great importance - a case study of microtraces analysis to identify the perpetrator of a car accident involving identical twins. *Forensic Science International*, 111444. DOI: https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2022.111444.

7. Patel, D. (2024). The role of forensic photography in criminal investigation and trial. *International Journal of Science and Research (IJSR),* 13(3), 1535–1536. DOI: https://doi.org/10.21275/mr24323182402.

8. Fatima, F. (2019). Forensic photography: A visual and legal record of crime scene. *International Journal for Electronic Crime Investigation*, 3(2), 10. DOI: https://doi.org/10.54692/ijeci.2019.030234.

9. Gase, J. Illuminating the History and Process of Photomicrography at the National Museum of Health and Medicine. Retrieved from https://medicalmuseum.health.mil/micrograph/index.cfm/posts/2019/photomicrography_history.

10. Staehelin, L. A., & Paolillo, D. J. (2020). A brief history of how microscopic studies led to the elucidation of the 3D architecture and macromolecular organization of higher plant thylakoids. *Photosynthesis Research,* 145(3), 237–258. DOI: https://doi.org/10.1007/s11120-020-00782-3.

11. Ansari, N., Dasgupta, J., Umre, S., Rajput, P. (2024). Harnessing Electron Microscope for Trace Evidence Analysis. Chapter from Electron Microscopes, Spectroscopy and Their Applications, IntechOpen. Retrieved from https://www.intechopen.com/chapters/1169646.

12. What is Scanning Electron Microscopy? Retrieved from https://www.nanoscience.com/techniques/scanning-electron-microscopy/.

13. Scanning electron microscopy (SEM). Retrieved from https://www.fhi.mpg.de/1073234/dangsheng_su__scanning_electron_microscopy__100129.pdf.

14. Koga, D., Kusumi, S., Shibata, M., & Watanabe, T. (2021). Applications of Scanning electron microscopy using secondary and backscattered electron signals in neural structure. *Frontiers in Neuroanatomy*, 15. DOI: https://doi.org/10.3389/fnana.2021.759804.

15. Gentile, G., Andreola, S., Bailo, P., Battistini, A., Boracchi, M., Tambuzzi, S., & Zoja, R. (2020). A brief review of scanning electron microscopy with energy-dispersive X-ray use in forensic medicine. *American Journal of Forensic Medicine & Pathology*, 41(4), 280-286. DOI: https://doi.org/10.1097/paf.0000000000000609.

16. Transmission Electron Microscopy vs Scanning Electron Microscopy: Electron microscopy reference focusing on the difference between transmission electron microscopy (TEM) and scanning electron microscopy (SEM). Retrieved from https://www.thermofisher.com/tr/en/home/materials-science/learning-center/applications/sem-tem-difference.html#:~:text=SEMs%20provide%20a%203D%20image,more%20difficult%20for%20the%20operator.

17. Wang, Y., Zhang, X., Xu, J., Sun, X., Zhao, X., Li, H., Liu, Y., Tian, J., Hao, X., Kong,

X., Wang, Z., Yang, J., & Su, Y. (2022). The development of microscopic imaging technology and its application in micro- and nanotechnology. *Frontiers in Chemistry*, 10. DOI: https://doi.org/10.3389/fchem.2022.931169.

18. Balasubramanian, H., Hobson, C.M., Chew, T.L., Aaronm J.S. (2023). Imagining the future of optical microscopy: everything, everywhere, all at once. *Communications Biology*, 6(1), 1096. DOI: 10.1038/s42003-023-05468-9.

19. The Future of Scanning Electron Microscopy with SEM Automation. Retrieved from https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=17919.

20. Bharda, A. V., & Jung, H. S. (2019). Liquid electron microscopy: then, now and future. *Applied Microscopy*, 49(1). DOI: https://doi.org/10.1186/s42649-019-0011-7.

21. The future of electron microscopy. Retrieved from https://hub.jhu.edu/2021/03/02/electron-microscopy-artificial-intelligence-data-science/.

22. The use of microscopy in forensic engineering. Retrieved from https://vertexeng.com/insights/the-use-of-microscopy-in-forensic-engineering/.

Pavlo Nazarenko
PhD in Law, Associate Professor, Department of Criminal, Civil and International Law, National University Zaporizhzhya Polytechnic, https://orcid.org/0000-0002-6569-0845
Liliia Baieva
PhD in Law, Associate Professor, Department of Constitutional, Administrative and Labor Law, National University Zaporizhzhya Polytechnic, https://orcid.org/0000-0001-8161-9005
Vasyl Lopoha
PhD in Law, Head of Department of Law Vyacheslav Lipinski Institute of Volyn, JSC «MAUP», https://orcid.org/0009-0002-4966-2411

DEVELOPMENT OF MICROTRASOLOGY RESEARCH METHODS IN THE CONTEXT OF MODERN FORENSICS

Crime as a phenomenon has existed for a very long period of the human history. The historical context shows that each turn of scientific and technological progress contributes to the evolution of not only society, but also the crime as a phenomenon, including commitment of more complex, well-planned criminal acts and concealment the traces of the crime. At the same time, scientific and technical progress provides more advanced means and methods of forensic investigation. One branch of the forensics that is undergoing constant improvement is microtrace evidence analysis designed for the study and analysis of microscopic objects, namely microparticles, microtraces and microquantities of the matter. Important methods of microtrace evidence analysis are those aimed at obtaining an image of the microscopic object and its analysis, such as microphotography and photomicrography, and important tools are photographic equipment and microscopes. Since the development of the first optical microscopes, the field of microscopy has evolved significantly. Now forensic scientists possess a decent range of current high-resolution electron microscopes and methods of scanning and transmission electronic analysis. Today, with these methods of analysis, information about the surface topography, elemental composition and internal structure of the microscopic object is obtained by increasing the image of the object under the microscope by millions of times. To be specific, such information is a key one for identification of the type of living being (human, animal), ethnicity, color, name and model of a vehicle, crime scene, and cause and time of death. Despite the great progress of electron microscopy methods, forensic science still experiences a number of technological limitations, for example, the inability to obtain images of the microscopic objects of ultrahigh quality, the need to carry out thorough and complex preparation of some microscopic samples with the involvement of the trained personnel, inability to examine and analyze each and any sample on the same equipment without the involvement of different methods, etc. It is safe to say that progress will continue, and therefore, microscopic methods of microtrace evidence analysis will improve, offer more universal and simple solutions in the context of the study of the microscopic objects, and possibly expand the range of offenses that forensics will be able to reveal.

Keywords: scanning microscopy, trace analysis, material identification, digital image processing.