



Капілярний електрофорез в ДНК-експертизі

Л. І. Кучеренко^{1,A,D,E,F}, І. В. Павлюк^{2,A,B,C,D}, В. В. Борисенко^{2,A,B,C,D}, Г. Р. Німенко^{1,D,E}

¹Запорізький державний медико-фармацевтичний університет, Україна,

²Запорізький науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України

A – концепція та дизайн дослідження; B – збір даних; C – аналіз та інтерпретація даних; D – написання статті; E – редагування статті; F – остаточне затвердження статті

Судова молекулярно-генетична експертиза відіграє важливу роль в ідентифікації особи та встановленні родинних зв'язків, особливо в умовах збройної агресії проти України. Капілярний електрофорез у поєднанні з ПЛР є сучасним стандартом ДНК-аналізу, що забезпечує високу точність і чутливість навіть при дослідженні деградованих і малокількісних біологічних зразків. Необхідність удосконалення методичних підходів до аналізу складних зразків зумовлює актуальність дослідження.

Мета роботи – розкриття проблематики капілярного електрофорезу в діагностиці ДНК у судовій молекулярно-генетичній експертизі.

Матеріали і методи. Під час дослідження у Запорізькому науково-дослідному експертно-криміналістичному центрі МВС України використано ампліфікатори GeneAmp PCR System2720 та Veriti Pro фірми «Applied Biosystems», генетичні аналізатори SeqStudio, Applied Biosystems 3500 та 3500XL Applied Biosystems. Досліджено біологічний матеріал, отриманий із репатріації, із зони бойових дій, а також зразки букального епітелію родичів зниклих безвісти.

Результати. При дослідженні зразків біологічного походження в секторі молекулярних досліджень Запорізького науково-дослідного експертно-криміналістичного центру МВС України отримано понад 95 % якісних ДНК-профілів, придатних для подальшої ідентифікації. Втім, під час аналізу слідів біологічного походження спостерігали зниження інформативності профілів, що пов'язано з малою кількістю біологічного матеріалу, деградацією ДНК і наявністю змішаних ДНК-профілів. Використання генетичних аналізаторів SeqStudio, Applied Biosystems 3500 та 3500XL дає змогу проводити одночасний аналіз від 4 до 24 зразків у межах одного прогону, що забезпечує високу пропускну здатність методу та можливість щоденного дослідження значної кількості об'єктів. Результати підтвердили ефективність капілярного електрофорезу для практичних завдань судової молекулярно-генетичної експертизи.

Висновки. Капілярний електрофорез – сучасний і незамінний метод у судовій молекулярно-генетичній експертизі, що забезпечує ефективну ідентифікацію особи та встановлення родинних зв'язків. Розвиток методів екстракції ДНК і розширення панелей генетичних маркерів сприятимуть підвищенню ефективності експертних досліджень в Україні.

Ключові слова: капілярний електрофорез, судова молекулярно-генетична експертиза, ДНК-аналіз, STR-локуси.

Актуальні питання фармацевтичної і медичної науки та практики. 2026. Т. 19, № 1(50). С. 49-53

Capillary electrophoresis in DNA examination

L. I. Kucherenko, I. V. Pavliuk, V. V. Borysenko, H. R. Nimenko

Forensic molecular genetic examination plays a crucial role in identifying individuals and establishing family ties, especially in the context of armed aggression against Ukraine. Capillary electrophoresis in combination with PCR is a modern standard of DNA analysis, which provides high accuracy and sensitivity even when studying degraded and small-quantity biological samples. The need to improve methodological approaches to the analysis of complex samples determines the relevance of this study.

Aim. Disclosure of the issues of capillary electrophoresis in DNA diagnostics in forensic molecular genetic examination.

Materials and methods. During the analysis in the Zaporizhzhia State Scientific Research Expert and Forensic Center, the GeneAmp PCR System2720 and Veriti Pro amplifiers from the company "Applied Biosystems", genetic analyzers SeqStudio, Applied Biosystems 3500 and 3500XL Applied Biosystems were used. The biological material obtained from repatriations, from the combat zone and samples of buccal epithelium of relatives of missing persons was subject to the study.

Results. When studying samples of biological origin in the molecular research sector of the Zaporizhzhia State Scientific Research Expert and Forensic Center, more than 95 % of high-quality DNA profiles suitable for further identification were obtained. At the same time, when analyzing traces of biological origin, a decrease in the informativeness of the profiles was observed, which is associated with a small amount of biological material, DNA degradation and the presence of mixed DNA profiles. The use of SeqStudio, Applied Biosystems 3500 and 3500XL genetic analyzers allows for simultaneous analysis of 4 to 24 samples within one run, which provides high throughput of

ARTICLE INFO



UDC 543.545.2:[340.64:577.212]

DOI: 10.14739/2409-2932.2026.1.349790

Current issues in pharmacy and medicine: science and practice. 2026;19(1):49-53

Keywords: capillary electrophoresis, forensic genetics, DNA analysis, STR loci.

Received: 21.11.2025 // Revised: 19.01.2026 // Accepted: 25.01.2026

© The Author(s) 2026. This is an open access article under the [Creative Commons CC BY 4.0 license](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

the method and the possibility of daily examination of a significant number of objects. The obtained results confirm the effectiveness of capillary electrophoresis for practical tasks of forensic molecular genetic examination.

Conclusions. Capillary electrophoresis is a modern and indispensable method in forensic molecular genetic examination, which provides effective identification of a person and establishment of family ties. Further development of DNA extraction methods and expansion of genetic marker panels will contribute to increasing the efficiency of expert studies in Ukraine.

Keywords: capillary electrophoresis, forensic genetics, DNA analysis, STR loci.

Current issues in pharmacy and medicine: science and practice. 2026;19(1):49-53

У Запорізькому державному медико-фармацевтичному університеті навчаються майбутні фахівці медичних і фармацевтичних галузей. Здобувачі освіти поглиблено вивчають анатомію, фармакологію, а також дисципліни хімічного спрямування. Це дає змогу випускникам Запорізького державного медико-фармацевтичного університету працювати не тільки в медичній галузі, але й на хімічних підприємствах, у сфері виробництва лікарських засобів і навіть фізико-хімічної або судово-медичної експертизи.

Нині судова молекулярно-генетична експертиза є однією з найсучасніших галузей криміналістики. Її завдання полягає в ідентифікації особи методом ДНК-аналізу, встановленні належності об'єктів біологічного походження (слина, кров, сперма, волосся, м'язова чи кісткова тканини) певній особі, ідентифікації останків невпізнаних трупів, встановленні слідів біологічного походження конкретної особи у змішаних слідах, визначенні спадковості певних генетичних ознак людини (біологічна спорідненість) – встановленні батьків дитини у випадках спірного батьківства тощо [1,2,3,4].

З початком повномасштабного вторгнення росії в Україну основний масив експертиз у секторі молекулярно-генетичних досліджень Запорізького науково-дослідного експертно-криміналістичного центру МВС України (Запорізький НДЕКЦ МВС України) – не кримінальні і цивільні справи, а експертизи, пов'язані зі встановленням ДНК-профілів фрагментів тіл, ідентифікацією загиблих, встановленням профілів зниклих безвісти, визначенням за залишками тіл наявності родинного зв'язку з родичами, які втратили близьких. Сьогодні це є не рутинною роботою, а великою відповідальністю перед сім'ями, які здійснюють пошук своїх рідних під час війни. Сектор молекулярних досліджень Запорізького НДЕКЦ МВС України протягом 2025 року здійснив понад 8500 експертиз, більшість із яких пов'язана саме з війною [5,6,7,8].

Мета роботи

Розкриття проблематики капілярного електрофорезу в діагностиці ДНК у судовій молекулярно-генетичній експертизі.

Матеріали і методи дослідження

Під час дослідження у Запорізькому НДЕКЦ МВС України використано ампліфатори GeneAmp PCR System 2720 та Veriti Pro фірми «Applied Biosystems», генетичні аналізатори SeqStudio, Applied Biosystems 3500 та 3500XL Applied Biosystems.

Досліджено біологічний матеріал, отриманий із репатріацій, із зони бойових дій, а також зразки букальної епітелію родичів зниклих безвісти.

Результати

Кожна людина має велику кількість ознак, що є характерними для виду, і водночас відрізняється за певними ознаками навіть від родичів. Ця індивідуальність особи зумовлена генотипом, тобто специфічною послідовністю молекули ДНК.

Значну частину геному людини становлять послідовності, утворені тандемними повторами. Це високополіморфні міні- або мікросателітні локуси – конкретні ділянки молекули ДНК, що знаходяться на певній хромосомі [9,10]. Кожен локус ДНК має свій набір алелів із певною частотою виявлення у різних осіб і є унікальним для кожної людини [11,12,13].

Виявлені в геномі людини гіперваріабельні мінісателітні VNTR-локуси (Variable Number Tandem Repeat) мають змінну кількість тандемних повторів – від семи і більше пар нуклеотидів, а мікросателітні STR-локуси (Short Tandem Repeat) – з короткими тандемними повторами, що складаються з 2–6 пар нуклеотидів. У результаті їх дослідження розроблено метод генотипоскопії, який дає змогу здійснювати ідентифікацію особи.

STR-локуси мають менший поліморфізм порівняно з VNTR-локусами, але дають змогу аналізувати одразу кілька локусів у рамках одного циклу дослідження. Крім того, можна скоротити терміни дослідження і підвищити їхню чутливість, встановити не одну, а одразу кілька генетичних ознак. Завдяки цьому STR-локуси мають ширше використання у криміналістичному ДНК-аналізі, і тому на їх основі створено базу даних ДНК [5,7,8].

Дослідження ядерної ДНК передбачає такі етапи: виділення ДНК, кількісний і якісний аналіз, ампліфікація, електрофоретичне розділення та детекція продуктів ампліфікації.

Основний напрям в ідентифікації біологічних об'єктів у судово-медичній експертизі пов'язаний з аналізом ДНК за допомогою полімеразної ланцюгової реакції (ПЛР). Завдяки цій реакції протягом кількох годин можна багаторазово збільшити (ампліфікувати) кількість конкретних фрагментів ДНК або РНК у зразку, створюючи мільйони копій для аналізу [8,10,13]. Процес включає цикли нагрівання й охолодження, використання ферменту ДНК-полімерази, праймерів і нуклеотидів для копіювання цільової послідовності ДНК [6,7,9,10].



Рис. 1. Будова генетичного аналізатора Applied Biosystems 3500XL.

У реакції використовують два олігонуклеотидні праймери, що гібридизують із двома протилежно спрямованими ланцюгами ДНК і фланкують ділянку ДНК. Синтез нового ланцюга ДНК забезпечений термостабільними ДНК-полімеразами, виділеними із термофільних субактерій. Повторюється серія циклів, що включає денатурацію вихідної матричної ДНК, реасоціацію праймерів і ДНК, елонгацію ланцюга ДНК термостабільною ДНК-полімеразою та призводить до експоненційного накопичення специфічних фрагментів ДНК. Продукти синтезу кожного циклу можуть бути матрицею в новому циклі. У такий спосіб кількість цілеспрямовано синтезованих копій ДНК подвоюється в кожному циклі. У результаті цього процесу 20 циклів ПЛР дають близько мільйона копій (2±) фрагмента ДНК, який досліджують. Оптимальна концентрація ДНК для капілярного електрофорезу – майже 0,07 нг/мкл. Реакції ампліфікації здійснювали з використанням ампліфікаторів GeneAmp PCR System2720 та Veriti Pro фірми «Applied Biosystems» [14,15,16].

Під час постановки реакції ампліфікації використано позитивні контролю (реакційні суміші, що містять контрольні ДНК 2800M та 007, надані виробниками реагентів із відомими наборами алелів за кожним локусом) і негативні контролю, що не містили ДНК.

STR і фрагменти амелогенінів відокремлюють відповідно до їхнього розміру за допомогою капілярного електрофорезу.

Капілярний електрофорез – аналітичний метод, за допомогою якого розділяють іони та молекули в тонкому капілярі під дією електричного поля на основі їхнього заряду, розміру і форми, використовуючи потік буфера, що рухається, для швидкого й точного визначення компонентів складних зразків (ДНК, білки чи амінокислоти).

Під час капілярного електрофорезу зразок вводять у буферний розчин, що зберігається в капілярній трубці. При застосуванні електричного поля по капілярній трубці компоненти зразка мігрують у результаті двох типів дій – електрофоретичної рухливості та електроосмотичної рухливості. Електрофоретична рухливість – реакція роз-

чиненої речовини на застосоване електричне поле, у якому катіони рухаються до негативно зарядженого катода, а аніони – до позитивно зарядженого анода. Інший чинник міграції розчиненої речовини – електроосмотичний потік, що виникає, коли буфер рухається через капіляр у відповідь на застосоване електричне поле. За нормальних умов буфер рухається до негативно зарядженого катода, забираючи більшість розчинених речовин, включаючи аніони та нейтральні види [4,7,16].

У Запорізькому НДЕКЦ МВС України для капілярного електрофорезу нині використовують три ДНК-аналізatori: чотириканальний генетичний аналізатор SeqStudio, що має 4 колонки і дає змогу аналізувати одночасно 4 об'єкти; восьмиканальний генетичний аналізатор Applied Biosystems 3500, що має 8 колонок і дає змогу аналізувати одночасно 8 об'єктів; та двадцятичотирикоканальний генетичний аналізатор Applied Biosystems 3500XL, що має 24 колонки і дає змогу аналізувати одночасно 24 об'єкти (рис. 1).

Головним процесом у генетичному аналізаторі є капілярний електрофорез – направлений рух молекул у густому середовищі гелю під дією електричного поля. Молекула ДНК внаслідок наявності фосфатних груп заряджена негативно, а тому рухається до анода (позитивно зарядженого електрода). Полімер, яким заповнений капіляр, густий, і тому створює механічні перешкоди на шляху ДНК і сповільнює її рух. У комірках плашки знаходяться наампліфіковані зразки, що містять фрагменти ДНК з флуоресцентними мітками певного кольору, до яких додають формамід, який утримує ДНК в одноланцюговому вигляді, і розмірний стандарт – набір наампліфікованих фрагментів ДНК чітко визначеного розміру, кожен з яких є міченим. У комірки вставляють капіляри, подають електричний струм, фрагменти засмоктують в капіляри. Завдяки різниці розмірів і довжини фрагментів ДНК вони проходять через капіляр із різною швидкістю і за різний час проходять через вікно детекції, де відбувається зчитування кольору мітки та її інтенсивності. Прилад визначає ці світіння, розділяє їх за кольорами та

подає як графіки, у котрих по вертикальній осі позначено інтенсивність світіння, а по горизонтальній – час детекції. Різні кольори міток використовують тому, що алелі двох різних локусів можуть мати однакову довжину.

Паралельно з пробою проходить алельний леддер, з яким порівнюють пробу. Алельний леддер – набір наампліфікованих усіх алелів, що трапляються в популяції для кожного досліджуваного локусу, кожен із них флуоресцентно мічений відповідною міткою.

Розподіл та детекцію флуоресцентно мічених ампліфікованих фрагментів здійснювали в середовищі полімеру POP4, довжина капілярів становить 36,0 см, час прогону проби – 45 хв за температури навколишнього середовища 20 °С. Довжину ампліфікованих фрагментів і номери алелів визначали відповідно до внутрішніх розмірних стандартів «GeneScan 600 LIZ Size Standard» і «WEN ILS 500» та алельного леддера, що входить до набору реагентів.

Упродовж цього процесу кожен фрагмент ДНК долає по капіляру, заповненому гелем, відстань 36 см до аргонного лазера, який збуджує фарби при 485 нм і 515 нм. Камера CCD фіксує отримані в результаті спектри випромінювання цих фарб, а сигнал виявляють як піки. Флуоресцентна мітка, приєднана до одного з праймерів, визначає колір піка. Висота піка є виміром обсягу визначеної флуоресценції. Електроферограма – графічне виявлення забарвлених піків, вимірних в одиницях відносної флуоресцентності (RFU) та часу [16,17].

Обговорення

Електроферограми аналізували за допомогою програми GeneMapperID v.6 або GeneMapperID v.7, що вимірює ці проби та визначає типи алелів безпосередньо з програми збору даних. Розмір кожного алеля визначають шляхом порівняння із внутрішнім стандартом. Щоб генотипувати проби, програма GeneMapperID визнає загальну структуру алельного леддера та створює навколо кожного алеля в леддері комірки (біни) розміром 1 п. н. Локуси, що є в системах, – тетра nukлеотидні короткі тандемні повтори. Алелі у зразку визначають шляхом накладання бінової сітки на всі здетектовані піки (порівнюючи їхні розміри з розмірами алелів алельної драбини). Леддери складаються з більш поширених алелів у загальній популяції, що очищені, просеквеновані та становлять алельну драбину. У технічній інструкції до ампліфікаційного набору наведено інформацію про локуси, що входять до леддера, та алелі, які містяться у певному локусі. Леддер проганяють із кожною серією зразків (один леддер на чотири прогони). Зразки, що порівнюють з леддером, треба проганяти за однакових із ним умов (температура, стан полімеру). Якщо будуть розбіжності умов форефу, у зразках можуть з'явитися OL-піки (піки, що не потрапляють у біни). Типування амелогенінів відбувається шляхом порівняння фрагментів із леддером.

Надалі експерт аналізує отримані електроферограми. Під час аналізу результатів враховують тільки ті алелі, що розташовані в області леддера та за рівнем розташування

відповідають алелям леддера. Припустиме відхилення від фрагментів леддера – не більше ніж 0,5 п. н. Усі фрагменти, що локалізовані вище або нижче від крайніх алелів леддера, є неспецифічними, надалі їх не аналізують.

Аналіз результатів починається з вивчення коректності позначень відповідного типу проби, методу аналізу, панелі, розмірного стандарту, перевірки алельного леддера, контрольних зразків і холостих реагентів. На основі отриманих результатів експерт формує висновки щодо належності решток тій чи іншій особі, спорідненості, встановлення батьківства тощо.

У секторі молекулярних досліджень Запорізького НДЕКЦ МВС України методом капілярного електрофорефу сьогодні досліджують майже 300 об'єктів – і зразків біологічного походження, і слідів. Якщо під час дослідження зразків отримують більше ніж 95 % якісних профілів, що надалі використовують для ідентифікації, то зі слідами (особисті речі, якими користувалися зниклі безвісти) працювати складніше, що пов'язано і з малою кількістю біологічного матеріалу на предметах-носіях, і з його якістю (деградація ДНК) чи змішаними профілями, у яких є ДНК родичів зниклих людей; усе це ускладнює або навіть унеможливує ідентифікацію профілю з цих слідів.

Доцільно розробляти нові методи для більш якісного отримання ДНК з біологічних зразків і слідів, а також актуальною є розробка нових наборів для ідентифікації ДНК людини методом капілярного електрофорефу, що містили би більше і звичайних STR-локусів, і статевих локусів X- та Y-хромосом.

Висновки

1. Капілярний електрофорез – сучасний і ефективний метод судової молекулярно-генетичної експертизи, що забезпечує отримання якісних та інформативних ДНК-електроферограм людини при використанні невеликої кількості біологічного матеріалу та мінімального ризику контамінації.

2. Використання капілярного електрофорефу дає змогу значно скоротити тривалість дослідження та забезпечує автоматизовану комп'ютерну обробку результатів, що підвищує точність, відтворюваність і ефективність експертних досліджень.

3. Практичне застосування методу в діяльності сектора молекулярних досліджень Запорізького НДЕКЦ МВС України підтвердило його високу значущість для ідентифікації загиблих і встановлення родинних зв'язків. Це має важливе наукове, соціальне й гуманітарне значення.

Перспективи подальших досліджень полягають у вдосконаленні методів виділення ДНК зі складних, деградованих і малокількісних біологічних зразків, що є особливо актуальним в умовах воєнних дій. Перспективним є розроблення нових мультиплексних наборів для капілярного електрофорефу з розширеним спектром STR-локусів, а також маркерів X- та Y-хромосом. Це сприятиме поліпшенню інформативності аналізу змі-

шаних ДНК-профілів та підвищенню ефективності встановлення родинних зв'язків. Окрему увагу слід приділити оптимізації умов капілярного електрофору та вдосконаленню програмного забезпечення для автоматизованої інтерпретації електрофоретичних даних, адже це сприятиме підвищенню надійності та об'єктивності експертних висновків.

Етичне схвалення

Комісія з питань біоетики Запорізького державного медико-фармацевтичного університету розглянула матеріали, наведені у статті, та не виявила порушень етичних стандартів, викладаючи у чинних нормативних документах, включаючи Гельсінську декларацію, Конвенцію Ради Європи про права людини та біомедицину, та інших правових актах (протокол від 25.12.2025 року № 6).

Подяка

Автори статті висловлюють вдячність Запорізькому державному медико-фармацевтичному університету, зокрема Навчально-науковому медико-лабораторному центру з віварієм і кафедрі фармакології та медичної рецептури з курсом нормальної фізіології за високий рівень підготовки випускників.

Конфлікт інтересів: відсутній.

Conflicts of interest: authors have no conflict of interest to declare.

Відомості про авторів:

Кучеренко Л. І., д-р фарм. наук, професор, зав. каф. фармацевтичної, органічної та біоорганічної хімії, Запорізький державний медико-фармацевтичний університет, Україна.

ORCID ID: 0000-0003-2229-0232

Павлюк І. В., канд. біол. наук, старший судовий експерт сектора молекулярно-генетичних досліджень, відділ біологічних досліджень та обліку, Запорізький науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України.

ORCID ID: 0000-0002-6423-8777

Борисенко В. В., судовий експерт сектора молекулярно-генетичних досліджень, відділ біологічних досліджень та обліку, Запорізький науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України.

ORCID ID: 0009-0002-5640-2079

Німенко Г. Р., канд. фарм. наук, доцент каф. фармацевтичної, органічної та біоорганічної хімії, Запорізький державний медико-фармацевтичний університет, Україна.

ORCID ID: 0000-0002-6486-5113

Information about the authors:

Kucherenko L. I., PhD, DSc, Professor, Head of the Department of Pharmaceutical Organic and Bioorganic chemistry, Zaporizhzhia State Medical and Pharmaceutical University, Ukraine.

Pavliuk I. V., PhD, Senior Forensic Expert of the Molecular Genetic Research Sector, Biological Research and Accounting Department, Zaporizhzhia Scientific Research Expert and Forensic Center of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine.

Borysenko V. V., Forensic Expert of the Molecular Genetic Research Sector, Biological Research and Accounting Department, Zaporizhzhia Scientific Research Expert and Forensic Center of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine.

Nimenko H. R., PhD, Associate Professor of the Department of Pharmaceutical, Organic and Bioorganic Chemistry, Zaporizhzhia State Medical and Pharmaceutical University, Ukraine.



Ганна Німенко (Hanna Nimenko)
nimenko.anna@gmail.com

References

- Kryvda L, Kryvda R. Henezys sudovo-medychnykh znan ta napriamy yikh vykorystannia v rozsliduvanni nasylnytskykh i koryslyvo-nasylnytskykh kryminalnykh pravoporushen [The genesis of forensic medical knowledge and directions of its use in the investigation of violent and selfish-violent criminal offenses]. *Law Herald*. 2021;(2):133-45. Ukrainian. doi: 10.32837/yuv.v0i2.2156
- Kavun S. [DNA Analysis: Place and Role in the System of Modern Criminalistics]. *Pravnychi chasopysy of the Vasyl' Stus Donetsk National University*. 2023;(2):169-80. Ukrainian. doi: 10.31558/2786-5835.2023.2.19
- Kostikov IY, Mariiko VV, Shcherbakova YV, Martynenko SV, Sirivlia AI, Sandalovych BO, et al. [Molecular-genetic identification of persons who died during russian armed aggression against Ukraine: successes and challenges]. *Forensics Herald*. 2023;(1):10-28. Ukrainian. doi: 10.37025/1992-4437/2023-39-1-10
- Kucherenko LI, Zubryk DV, Pavliuk IV, Nimenko HR. [Comparative performance of PrepFiler™ Forensic DNA Extraction Kit and NucleoSpin® DNA Forensic in the context of DNA extraction from problematic samples for STR analysis]. *Current issues in pharmacy and medicine: science and practice*. 2025;18(3):320-5. Ukrainian. doi: 10.14739/2409-2932.2025.3.332974
- Alketbi SK. The role of DNA in forensic science: A comprehensive review. *Int J Sci Res Arch*. 2023;9(2):814-29. doi: 10.30574/ij-sra.2023.9.2.0624
- Kucherenko LI, Pavliuk IV, Khromylova OV. [Molecular genetics is on the guard of the law]. *Current issues in pharmacy and medicine: science and practice*. 2025;18(1):57-63. Ukrainian. doi: 10.14739/2409-2932.2025.1.314270
- Stepaniuk R. [Rapid DNA analysis in the investigation of criminal offenses]. *Scientific Bulletin of Dnipro State University of Internal Affairs*. 2024;(2):247-54. Ukrainian. doi: 10.31733/2078-3566-2024-2-247-254
- Chong K, Thong Z, Syn CK. Recent trends and developments in forensic DNA extraction. *WIREs Forensic Sci*. 2021;3(2):e1395. doi: 10.1002/wfs2.1395
- Kofanov AV, Kobylanskiy OL, Kofanova OS, Erhard NM. [Forensic and legal aspects of collecting, accumulating and using biometric data on the example of individualizing information of biological origin]. *Dictum factum*. 2021;(1):84-96. Ukrainian. Available from: <http://ir.library.nmu.com/handle/123456789/2912>
- Bazyliuk ZH. [Evolution of DNA sequencing methods and prospects for their use in forensic dna examination]. *Young Scientist*. 2020;(11):123-7. Ukrainian. doi: 10.32839/2304-5809/2020-11-87-27
- Stepaniuk R, Husieva V. [Organizational principles of DNA identification of victims of mass casualty emergencies]. *Kryminalistychnyi visnyk*. 2023;(1):29-38. Ukrainian. doi: 10.37025/1992-4437/2023-39-1-29
- Hamaliuk BM, Khodyrieva IT. Osoblyvosti provedennia sudovoi molekuliarnohenychnoi ekspertyzy [Features of conducting forensic molecular genetic examination]. In: *Realizatsiia prav liudyny u diialnosti pravookhoronnykh orhaniv v umovakh okupatsii ukrainskykh terytorii*. Proceedings of the 5th International scientific and practical conference [Internet]; 2022 Sep 30; Donetsk State University of Internal Affairs; 2022. p. 276-9. Ukrainian.
- Husieva VO. Pryznachennia sudovykh ekspertyz u kryminalnykh provadzhenniakh iz masovymy zherstvamy [Ordering forensic examinations in criminal proceedings involving mass casualties]. In: *Teoria ta praktyka protydii zlochynnosti u suchasnykh umovakh*. Collection of abstracts of the International scientific and practical conference [Internet]; 2023 Nov 3. Lviv, UA: Lviv State University of Internal Affairs; 2023. p. 80-4. Ukrainian. Available from: <https://dspace.univd.edu.ua/handle/123456789/19159>
- Tanudisastro HA, Deveson IW, Dashnow H, MacArthur DG. Sequencing and characterizing short tandem repeats in the human genome. *Nat Rev Genet*. 2024;25(7):460-75. doi: 10.1038/s41576-024-00692-3
- Rooney KM. DNA Extraction and Genotyping from Burned Skeletal Remains [dissertation on the Internet]. CUNY Academic Works; 2021. Available from: https://academicworks.cuny.edu/jj_etds/208
- Foley MM. Applied Biosystems™ PrepFiler™ Forensic DNA Extraction Kit (Manual and Semi-automated via AutoMate Express™). In: *Methods in Molecular Biology*. New York, NY: Humana Press Inc; 2023. p. 53-81. Available from: 10.1007/978-1-0716-3295-6_4
- Hudlow WR. NucleoSpin® XS Columns for DNA Concentration and Clean-Up. In: Goodwin W, editor. *Forensic DNA Typing Protocols Methods in Molecular Biology*. New York, NY: Humana Press; 2016. p. 125-9. Available from: 10.1007/978-1-4939-3597-0_9