

СИНТЕЗ ТА АНАЛІЗ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН

УДК 612.12-001.45:340.624

<https://doi.org/10.24959/nphj.20.20>В. В. Сапелкін¹, В. А. Руднєв², В. Г. Нікітюк², О. В. Коломійцев²¹ Харківська медична академія післядипломної освіти, Україна² Харківський НДІ судових експертиз імені засл. проф. М. С. Бокаріуса, Україна

Застосування хемометричного методу для обробки результатів рентгенофлуоресцентного спектрального аналізу вогнепальних пошкоджень, спричинених кулями патронів «Терен-12П»

Визначення науково-обґрунтованих критеріїв, які б дозволяли об'єктивно діагностувати пошкодження одягу, заподіяних при пострілах еластичними кулями патронів «Терен-12П», які знаходяться на озброєнні правоохоронців України, на сьогодні є актуальною проблемою в судовій медицині та криміналістиці.

Метою дослідження є визначення спроможності використання хемометричного методу (методу головних компонент) для обробки результатів експериментальних досліджень, отриманих за допомогою рентгено-флуоресцентного спектрального аналізу при визначенні елементного складу нашарувань у зоні пошкоджень тканини одягу, спричинених у результаті влучень еластичних куль патронів «Терен-12П».

Матеріали та методи. Матеріали – шість розповсюджених зразків тканини: штучний шкіряний стрейч-матеріал на флісовій основі (зразок «А»), бавовняне трикотажне полотно (зразок «Б»), штучний шкіряний матеріал з полівінілхлоридним (ПВХ) покриттям на тканинній основі (зразок «В»), плащова тканина на одношаровій синтепоновій підкладці (зразок «Г»), плащова тканина (зразок «Д») та камуфльована тканина «Грета» кольору «Ліс» (зразок «Е»); балістичний пластилін «Beschussmasse, 6287156» (виробник – фірма «Carl Weible KG», Німеччина). Методи, які використовувалися в дослідженні: метод рентгенофлуоресцентного спектрального аналізу (РФСА).

Результати та їх обговорення. З використанням шести поширених зразків тканин одягу та балістичного пластиліну були проведені експериментальні постріли з помпової рушниці «Форт-500А» кулями патронів «Терен-12П» при стрільбі з відстаней 0-15 м. За допомогою РФСА був визначений елементний склад куль, продуктів згорання порохового заряду, які були вилучені зі ствола рушниці після пострілу, а також тканини мішеней до пострілів та в ділянках пошкоджень після пострілів. Аналіз та обробка якісного і кількісного складу хімічних елементів у ділянках пошкоджень був здійснений з використанням хемометричного підходу – методу головних компонент.

Висновки. Встановлені головні критерії діагностики пошкоджень тканин одягу, спричинених кулею патрону «Терен-12П» за допомогою РФСА, які доцільно використовувати при проведенні відповідних експертних досліджень.

Ключові слова: еластична куля травматичної дії; патрон «Терен-12П»; вогнепальні пошкодження тканин одягу; рентгенофлуоресцентний спектральний аналіз; хемометричний підхід; метод головних компонент

V. V. Sapielkin¹, V. A. Rudniev², V. G. Nikitiuk², O. V. Kolomiitsev²¹ Kharkiv Medical Academy for Post-Graduate Education, Ukraine² Hon. Prof. M. S. Bokarius Kharkiv Research Institute of Forensic Examinations, Ukraine

Application of the chemometric method for processing the results of the X-ray fluorescence spectral analysis of gunshot injuries caused by bullets of “Terен-12P” cartridges

Determination of scientifically grounded criteria that allow us to objectively diagnose damage to clothing caused by firing elastic bullets of “Terен-12P” cartridges, which are in service with Ukrainian law enforcement agencies, is currently an urgent problem in forensic medicine and forensic science.

Aim. To determine the ability to use the chemometric method (principal component method) for processing the results of the experimental studies obtained using the X-ray fluorescence spectral analysis when determining the elemental composition of deposits in the area of damage to clothing fabrics obtained as a result of the hit of elastic balls of “Terен-12P” cartridges.

Materials and methods. Six common fabrics – fleece-backed faux leather stretch fabric (Pattern A), cotton knitted fabric (Pattern B), fabric-backed polyvinyl chloride (PVC), coated faux leather fabric (Pattern C), raincoat fabric on a single-layer sintepon backing (sample “D”), raincoat fabric (sample “D”) and camouflage fabric “Greta”, colors “Forest” (sample “E”); ballistic plasticine “Beschussmasse, 6287156” (manufacturer – Carl Weible KG, Germany) were used. The following research methods were applied: X-ray fluorescence spectral analysis (RFSA) method.

Results and discussion. Using six common samples of clothing fabrics and ballistic plasticine the experimental shots from a Fort-500A pump-action gun were carried out by bullets of "Teren-12P" cartridges from distances of 0-15 m. Using RFSA the elemental composition of bullets and products of combustion of a powder charge was determined. These bullets were removed from the barrel of the gun after a shot, as well as target fabrics before shots and in areas of damage after shots. The analysis and processing of the qualitative and quantitative composition of chemical elements in the damaged areas was carried out using the chemometric approach – the method of principal components.

Conclusions. The main criteria for diagnosing clothing fabrics damage by a bullet from the "Teren-12P" cartridge using RFSA have been determined; they must be used when conducting the appropriate expert studies.

Key words: *traumatic elastic bullet; "Teren-12P" cartridge; gunshot damage to clothing fabrics; X-ray fluorescence spectral analysis; chemometric approach; principal component analysis*

В. В. Сапелкин¹, В. А. Руднев², В. Г. Никитюк², А. В. Коломийцев²

¹ Харьковская медицинская академия последипломного образования, Украина

² Харьковский научно-исследовательский институт судебных экспертиз имени засл. проф. М. С. Бокариуса, Украина

Применение хемометрического метода для обработки результатов рентгенофлуоресцентного спектрального анализа огнестрельных повреждений, причинённых пулями патронов «Терен-12П»

Определение научно-обоснованных критериев, позволяющих объективно диагностировать повреждения одежды, причиненные при выстрелах эластичными пулями патронов «Терен-12П», которые находятся на вооружении правоохранительных органов Украины, в настоящее время является актуальной проблемой в судебной медицине и криминалистики.

Целью исследования является определение способности использования хемометрического метода (метода главных компонент) для обработки результатов экспериментальных исследований, полученных с помощью рентгенофлуоресцентного спектрального анализа при определении элементного состава отложений в зоне повреждений тканей одежды, полученных в результате попадания эластичных шаров патронов «Терен-12П».

Материалы и методы. Материалы – шесть распространенных образцов ткани: искусственный кожанный стрейч-материал на флисовой основе (образец «А»), хлопковое трикотажное полотно (образец «Б»), искусственный кожанный материал с поливинилхлоридным (ПВХ) покрытием на тканевой основе (образец «В»), плащевая ткань на однослойной синтетической подложке (образец «Г»), плащевая ткань (образец «Д») и камуфлированная ткань «Грета» расцветки «Лес» (образец «Е»); баллистический пластилин «Beschussmasse, 6287156» (производитель – фирма «Carl Weible KG», Германия). Методы, используемые в исследовании: метод рентгенофлуоресцентного спектрального анализа (РФСА).

Результаты и их обсуждение. С использованием шести распространенных образцов тканей одежды и баллистического пластилина были проведены экспериментальные выстрелы из помпового ружья «Форт-500А» пулями патронов «Терен-12П» с расстояний 0-15 м. С помощью РФСА был определен элементный состав пуль, продуктов сгорания порохового заряда, которые были изъяты из ствола ружья после выстрела, а также ткани мишеней до выстрелов и в участках повреждений после выстрелов. Анализ и обработка качественного и количественного состава химических элементов в участках повреждений был осуществлен с использованием хемометрического подхода – метода главных компонент.

Выводы. Установлены главные критерии диагностики повреждений тканей одежды пулей патрона «Терен-12П» с помощью РФСА, которые необходимо использовать при проведении соответствующих экспертных исследований.

Ключевые слова: *эластичная пуля травматического действия; патрон «Терен-12П»; огнестрельные повреждения тканей одежды; рентгенофлуоресцентный спектральный анализ; хемометрический подход; метод главных компонент*

Вступ. Для припинення масових заворушень та групових правопорушень громадського порядку спеціальними підрозділами Міністерства внутрішніх справ України активно застосовуються помпові рушниці 12-го калібру модельного ряду «Форт-500». Стрільба з зазначеної зброї зазвичай здійснюється сертифікованими кульовими та картечними патронами травматичної дії «Терен-12П» та «Терен-12К», які виготовляються на підприємстві ТОВ «НВП «Еколог» (м. Київ) [1]. Найчастіше використовуються кульові патрони «Терен-12П» (рис. 1), оскільки вони є найбільш ефективними при застосуванні проти біологічних об'єктів при стрільбі на відстані до 15...20 м.

Масове застосування зазначеної зброї та патронів травматичної дії до неї у ході припинення противоправних дій призводить до значної кількості випадків травмування еластичними уражаючими елементами як осіб, які брали безпосередню участь у заворушеннях, так і сторонніх осіб, які були спостерігачами цих подій. Внаслідок цього виникає гостра необхідність визначення комплексу диференційно-діагностичних ознак вогнепальної травми та вогнепальних пошкоджень, які були спричинені еластичними кулями патронів травматичної дії «Терен-12П».

Сучасний підхід до вивчення механізмів формування вогнепальної травми в умовах ударно-контактної взаємодії з високошвидкісним еластичним кінетичним снарядом (кулею) травматичної дії ґрунтується виключно на комплексному вивченні як самих об'єктів досліджень, так і особливостей фізичних процесів, що відбуваються під час влучення кулі у тканини біологічного об'єкта. Для цього застосовуються інноваційні біомеханічні та цифрові технології, а також математико-статистичні методи аналізу ре-

зультатів досліджень, що відбуваються під час влучення кулі у тканини біологічного об'єкта. Для цього застосовуються інноваційні біомеханічні та цифрові технології, а також математико-статистичні методи аналізу ре-



Рис. 1. Загальний вигляд патрону 12-го калібру «Терен-12П» та кулі, якою він споряджений

зультатів натурних випробувань. Судово-медична діагностика ушкоджень тіла та пошкоджень одягу, спричинених еластичними кулями патронів калібру 9 мм, виготовлених на підприємствах різних фірм-виробників в Україні, достатньо широко висвітлена у роботах вітчизняних фахівців з судової медицини [2-5]. Проте в судовій медицині та судовій балістиці на сталих методологічних засадах не опрацьовано комплексу науково-обґрунтованих діагностичних критеріїв, які б дозволили об'єктивно встановити як «вогнепальний» характер спричиненого пошкодження одягу, так і визначити саме уражаючий елемент, що його спричинив.

Метою дослідження є визначення спроможності використання хемометричного методу (методу головних компонент (МГК)) для обробки результатів експериментальних досліджень, отриманих за допомогою рентгенофлуоресцентного спектрального аналізу (РФСА) при визначенні елементного складу нашарувань у зоні пошкоджень тканин одягу, спричинених у результаті влучень еластичних куль патронів «Терен-12П».

Матеріали та методи. Для натурних випробувань з метою отримання найбільш достовірних даних були використані шість розповсюджених зразків тканини, а саме: штучний шкіряний стрейч-матеріал на флісовій основі (зразок «А»), бавовняне трикотажне полотно (зразок «Б»), штучний шкіряний матеріал з полівінілхлоридним (ПВХ) покриттям на тканинній основі (зразок «В»), плащова тканина на одношаровій синтепоновій підкладці (зразок «Г»), плащова тканина (зразок «Д») та камуфльована тканина «Грета» кольору «Ліс» (зразок «Е»). Зазначені зразки тканини мають різні фізико-механічні та слідосприймаючі властивості і достатньо широко використовуються для виготовлення верхнього одягу [6]. Для більшої достовірності відтворення умов стрільби і механізму спричинення вогнепальних пошкоджень у ході

експериментальних досліджень зразки тканин закріплювалися на блоках балістичного пластиліну «Beschussmasse, 6287156» (виробник – фірма «Carl Weible KG», Німеччина), сертифікованого Європейським комітетом зі стандартизації для балістичних досліджень [7]. Експериментальні постріли проводились з рушниці «Форт-500А», ствол якої був орієнтований перпендикулярно до поверхні мішені. Стрільба здійснювалася серіями по п'ять пострілів з дев'яти відстаней – у «щільний притул», 5 см, 10 см, 50 см, 1 м, 3,5 м, 5 м, 10 м та 15 м. Відстань пострілу 15 м була обрана як «гранична», оскільки, починаючи з цієї відстані, як було встановлено в ході попередніх натурних випробувань, ступінь вираження слідів контакту в зоні пошкоджень тканин із збільшенням дистанції стрільби відрізняється незначно. У ході проведення натурних випробувань було досліджено 270 об'єктів, що дозволяє провести розгорнуті статистичні дослідження експериментальних даних.

Елементний склад куль патронів «Терен-12П», порохових газів, які були вилучені зі ствола рушниці після пострілу, а також тканини мішеней «А-Е» у вихідному вигляді (до пострілів) та в ділянках пошкоджень після пострілів досліджувався методом РФСА за допомогою спектрометра «ElvaX» з використанням при реєстрації спектрів ліцензійного програмного забезпечення, що постачається разом із зазначеним приладом. Цей спектрометр призначений для неруйнівного експрес-аналізу елементного складу і має межу виявлення домішок важких металів у легкій матриці 1 ppm, похибка вимірювання масових часток металів становить 0,1 %. Сутність методу РФСА полягає в опромінюванні досліджуваного фрагменту матеріалу високоенергетичними (звичайно рентгенівськими) променями та реєстрації спектра супутнього при цьому флуоресцентного випромінювання [8-10]. Застосування методу РФСА у практиці судово-медичних та криміналістичних досліджень має низку переваг перед іншими методами атомного спектрального аналізу, до яких належать:

- мінімальна тривалість та простота підготовки об'єкта до досліджень; зразки не потребують спалювання чи переведення у вигляд розчину і досліджуються у незмінному вигляді; зразки потрібно лише просушити до повітряно-сухого стану (за наявності вакуумної камери видалення вологи відбувається автоматично);
- об'єкти дослідження не руйнуються і не зазнають змін на якісному та кількісному рівні впродовж дослідження (однак фрагменти тканини потрібно вирізати перед дослідженням);
- оперативність проведення досліджень; час реєстрації одного спектра складає декілька хвилин.

Реєстрація спектрів рентгенівської флуоресценції (РФ) для контрольного дослідження зазвичай виконується у трьох окремих точках зразка тканини. Реєстрацію спектрів РФ після пострілу здійснено з ділянок, розташованих поблизу пошкодження, а саме у зоні пояса обтирання та у зоні контакту торцевої поверхні головної частини кулі, на яких містяться нашару-

вання полімерного матеріалу кулі після ударно-контактної взаємодії.

Аналіз якісного та кількісного складу хімічних елементів зі встановленням внутрішніх прихованих зв'язків між окремими показниками та визначенням закономірностей утворення нашарувань здійснювався з використанням хемометричного підходу – МГК, який є сучасним та більш прийнятним для візуалізації та інтерпретації багатовимірних даних, зокрема продуктів пострілу [11-13]. Сутність МГК полягає у приведенні великого масиву вихідних даних до нової системи координат (кількість координатних осей відповідає кількості змінних у вихідному масиві – N), у якій за першою координатною віссю (перша головна компонента) спостерігаються найбільші варіації вихідних даних у N-мірному просторі. За другою головною компонентою описується значна частина залишкової варіації, при цьому друга координатна вісь перпендикулярна попередній і т. п. За допомогою перших двох-трьох головних компонент можна візуально та швидко виділити об'єкти, які відрізняються від інших. Окрім того, це дозволяє виявити групи подібних об'єктів, проаналізувати, які змінні здійснюють найбільший внесок у результати дослідження, а також встановити, які змінні корелюють між собою, та відкинути частину даних як «шумову» складову [14-16]. У ході проведення досліджень методом МГК та для обробки даних застосовувалося ліцензійне програмне забезпечення, а саме статистичний пакет Statistica 10.0 Enterprise (розробник – компанія Stat Soft Inc., США).

Результати та їх обговорення. При дослідженнях хімічного та елементного складу еластичної кулі патрону травматичної дії «Терен-12П» за методикою систематичної ідентифікації полімерів та РФСА було встановлено, що вона виготовлена з пластифікованого полівінілхлориду, у складі мінеральної частини якої містяться переважно Са (близько 90 %), Сl, Sr та Pb з домішкою алюмінієвої пудри (близько 4-6 %). У складі продуктів пострілу в стволі рушниці «Форт-500А» після пострілу кулею патрону «Терен-12П» виявлені такі хімічні елементи: Fe, Pb та Cu. Відсутність сурми (Sb) капсульного складу у продуктах згорання може бути зумовлена нерівномірністю її розподілення, низьким вмістом або маскуванням лініями флуоресценції інших елементів.

Дослідження даних, отриманих з використанням методу РФСА за допомогою МГК для зразка «А», наведено на рис. 2.

Додатково більш наочно представлені відомості щодо елементного складу зразка «А» у тривимірному вигляді. При побудові тривимірних діаграм вихідні дані стосовно інтенсивності ліній рентгенівської флуоресценції (РФ) нормалізовано за кожним елементом. Це дозволяє уявити одночасно характер зміни інтенсивності ліній РФ для елементів як з великою інтенсивністю, так і з малою, зобразивши їх у одній системі координат. Проекції зразка у новій

системі координат (від фактора 1 до фактора 3) подані на рис. 2 у лівому стовпчику, а вплив (внесок) змінних (значень інтенсивності ліній РФ елементів) у зразку «А» показано у правому стовпчику на проекції з окружністю. При формуванні проекцій використані дані стосовно трьох перших головних компонент (факторів), які обумовлюють більше 80 % варіацій вихідних змінних (за даними розрахунків, конкретне значення для кожного фактора вказане біля його найменування).

На основі обробки та аналізу даних про елементний склад у зоні контакту кулі патрону «Терен-12П» з мішенями зразків тканин «А-Е», який включав візуальну оцінку отриманих результатів та застосування хемометричного підходу (МГК), встановлено наступне. Сліди контакту еластичної кулі патрону «Терен-12П» із тканиною у місці їх взаємодії характеризуються виявленням таких хімічних елементів:

- за наявності в складі тканини при контрольному вимірюванні Сl інтенсивність його ліній РФ після пострілу зменшується або зовсім не фіксується, при відсутності у складі тканини при контрольному вимірюванні після пострілу можуть з'являтися його лінії РФ;
- інтенсивність ліній РФ Са після пострілу систематично зменшується або зовсім не відмічається;
- за відсутності у складі тканини при контрольному вимірюванні Fe його лінії РФ можуть з'явитися після пострілу з будь-якої дослідженої відстані; за наявності у складі тканини при контрольному вимірюванні Fe збільшення інтенсивності ліній РФ відмічено при пострілі у «щільний притул» та були слабкішими за вихідну інтенсивність при збільшенні відстані пострілу (ВП);
- лінії РФ Zn не були відмічені у складі тканини при контрольному вимірюванні, після пострілу лінії РФ Zn зареєстровано у 44 випадках з 54;
- лінії РФ As не були відмічені у складі тканини при контрольному вимірюванні, після пострілу лінії РФ As зареєстровано у 23 випадках з 54;
- лінії РФ Sb не були відмічені у складі тканини при контрольному вимірюванні, після пострілу лінії РФ Sb зареєстровано у 20 випадках з 54 на всіх ВП, з яких 17 випадків (85 %) на ВП до 1 м;
- лінії РФ Pb не були відмічені у складі тканини при контрольному вимірюванні, після пострілу лінії РФ Pb зареєстровано у 47 випадках з 54;
- вміст Тi зменшувався у 29 випадках з 45; при дослідженні зразків «Б» Тi не був знайдений ані до, ані після пострілу, отже, зменшення інтенсивності ліній РФ Тi слід вважати лише додатковою ознакою щодо контакту з кулею патрону «Терен-12П».

Оскільки інтенсивність ліній РФ Zr та Вг може як зменшуватися, так і збільшуватися, виявлення цих елементів не є інформативними щодо визначення факту контакту кулі з тканиною. As, Sr, Се, Re та Cu, хоча й були помічені в окремих випадках у продуктах пострілу, але за результатами досліджень не мо-

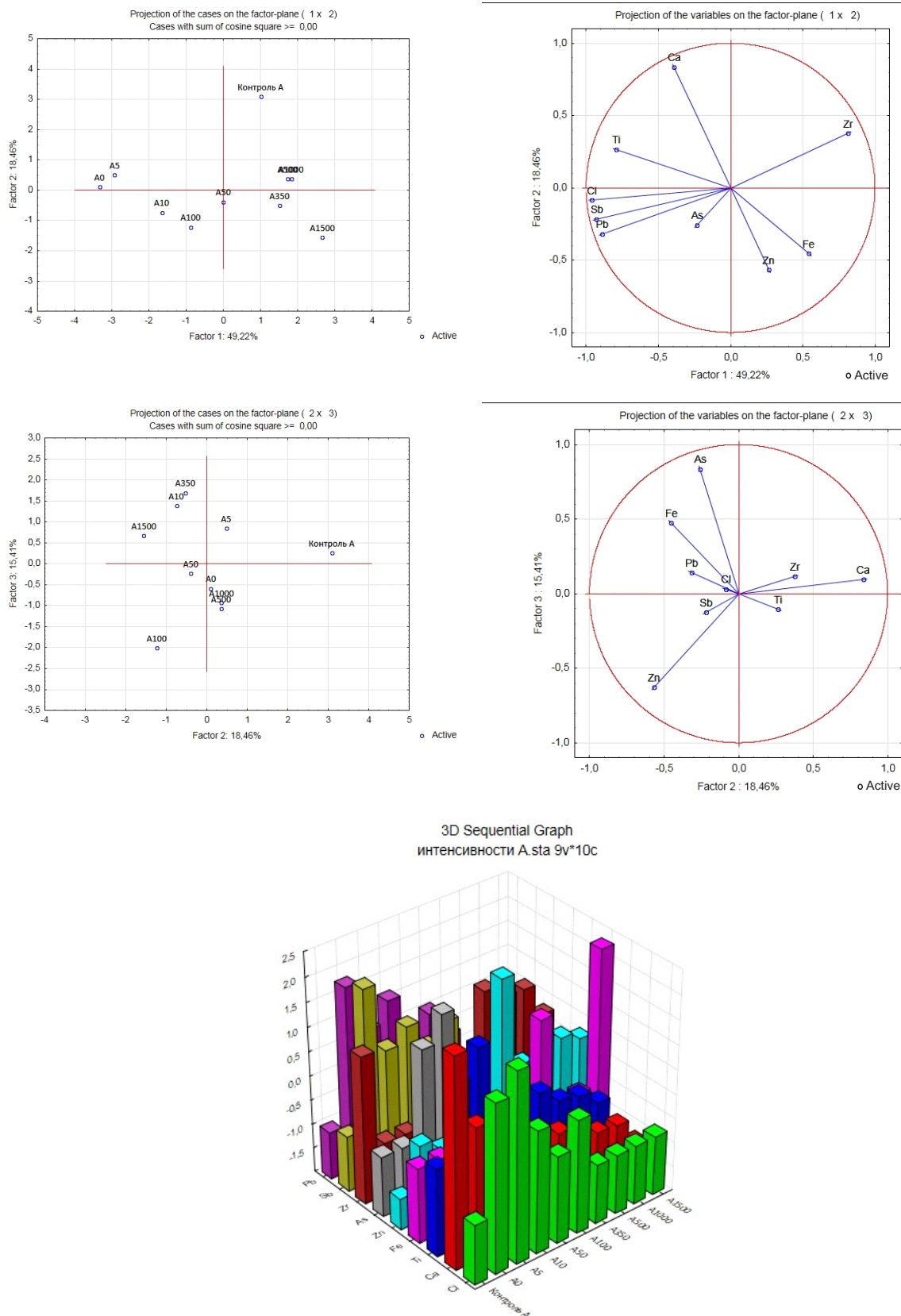


Рис. 2. Дослідження елементного складу ділянок пошкоджень зразка тканини «А» за допомогою МГК

жуть використовуватися як ознака безпосереднього контакту кулі з тканиною одягу. В окремих випадках виключення може бути зроблене для Си, який стабільно виявлявся в продуктах згорання порошу в каналі ствола.

Наявність або відсутність хімічних елементів є ознаками, певна сукупність яких достовірна для результатів пострілів з кожної відстані для зразків «А-Е»: 2 ознаки – 1 (1,8 %); 3 ознаки – 9 (16,7 %); 4 – 11 (20,4 %); 5 – 16 (29,6 %); 6 – 12 (22,2 %); 7 – 5 (9,3 %).

Таким чином, у більш ніж 98 % випадків пострілів з різних відстаней спостерігається сукупність не менше 2 ознак, а у 80 % випадків спостерігається 4 або більше ознак, що разом із результатами судово-медичного, криміналістичного, хімічного та балістичного експертних досліджень може бути використано для підтвердження факту, що пошкодження тканин одягу було спричинено внаслідок влучення саме еластичної кулі патрону травматичної дії «Терен-12П».

Слід відмітити, що у більшості випадків основним хімічним елементом, який відображається в зоні пошкодження тканини одягу при пострілі безоболонковою кулею, є Pb, вміст якого перевищує 90 % та наближається до 100 %. При пострілах оболонковою кулею переважно визначаються Cu та Zn. У складі кулі патрону «Терен-12П» вміст Pb, встановлений методом РФСА, не перевищує 50 %, а Cu та Zn не виявляється. Отже, елементний склад за даними РФСА може використовуватися як ознака, за допомогою якої можна достеменно відрізнити місце контакту тканини з еластичною кулею патрону «Терен-12П» від місця контакту з оболонковою або безоболонковою металевими кулями.

Висновки та перспективи подальших досліджень.

Для вирішення питання, чи утворені пошкодження на окремих ділянках одягу еластичною кулею патрону «Терен-12П», застосування методу РФСА є найбільш доцільним. Якісні та кількісні показники елементного складу в місцях пошкодження та у контрольній пробі (на непошкодженій ділянці) дозволяють вирішувати питання, чи могли дані пошкодження утворитися саме у результаті пострілу еластичною кулею патрону «Терен-12П», чи у результаті влучення іншого уражаючого елемента. Дані стосовно кількісного вмісту елементів слід представляти у вигляді інтенсивності ліній РФ, а не нормалізованого вмісту.

Інтенсивність ліній характеризує абсолютний елементний склад в органічному матеріалі (тканині, нашаруванні матеріалу кулі), виявлений характер зміни якого (складу) і свідчить про можливість здійснення пострілу кулею патрону «Терен-12П».

Головними критеріями діагностики та ідентифікації пошкоджень тканин одягу еластичною кулею патрону «Терен-12П» при застосуванні методу РФСА є:

- зменшення інтенсивності ліній елементів, які присутні у контрольній пробі; до цих елементів переважно відносяться Ca, Ti, Cl та Fe (останні два можуть бути відсутніми у контрольній пробі);
- поява елементів, які відсутні у контрольній пробі – переважно Fe, Cl, Zn, As, Sb, Pb, Cu. Fe входить до складу примолу, а Cu відмічена у нашаруваннях продуктів згорання порошу у каналі ствола; інші елементи можуть міститися у складі кулі або певним чином супроводжувати постріл.

Хоча кальцій міститься у складі матеріалу кулі патрону «Терен-12П», дані щодо зменшення вмісту кальцію на поверхні пошкоджені ділянки (у порівнянні з контрольною пробою) є одними з найбільш відтворюваних (спостерігалися у 90,7 % дослідів).

Поява сурми на пошкодженій ділянці є непрямою ознакою пострілу з близької відстані (до 1 м). У 85 % експериментальних досліджень при пострілі з відстані менше 1 м спостерігалася поява сурми, яка входить до складу ініціюючої речовини капсуля патрону.

Висновок про належність елементного складу, що був виявлений в ділянці пошкодження тканини одягу, до матеріалу кулі патрону «Терен-12П» може бути сформульований лише в імовірній формі, оскільки на склад та кількість привнесених елементів впливає ціла низка умов слідоутворення.

Конфлікт інтересів: відсутній.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Sapielkin V. V. Forensic Medical Peculiarities of Skin Damage Caused by a Large-Caliber Bullet Cartridge of Traumatic (Non-Lethal) Action «Терен-12П» *Galician Medical Journal*. 2016. Vol. 23, № 2. P. 67–73.
2. Сухий В. Д. Судово-медична характеристика ушкоджень, спричинених 9 мм еластичними кулями : автореф. дис. ... канд. мед. наук : 14.01.25 / Нац. мед. акад. післядиплом. освіти ім. П. Л. Шупика. Київ, 1999. 20 с.
3. Колос О. П. Порівняльна судово-медична характеристика пошкоджень різних видів тканин одягу при пострілах з використаними патронів «Оса», «ПНД-9П» та «АЛ-9Р», споряджених еластичними кулями : автореф. дис. ... канд. мед. наук : 14.01.25 / Нац. мед. акад. післядиплом. освіти ім. П. Л. Шупика. Київ, 2010. 20 с.
4. Михайленко, О. В. Морфологічні особливості ушкоджень, заподіяних при пострілах патронами «Терен 3ФП» і «АЕ 9» : автореф. дис. ... канд. мед. наук : 14.01.25 / Нац. мед. акад. післядиплом. освіти ім. П. Л. Шупика. Київ, 2010. 18 с.
5. Паралелі між ушкодженнями, що заподіяні при пострілах еластичними кулями з пістолетів та револьверів, призначених для самооборони, і ушкодженнями, що заподіяні зі штатної вогнестрільної зброї / В. Д. Мішалов та ін. *Судово-медична експертиза*. 2016. № 1. С. 41–45.
6. Козаченко І. М., Сухін О. П., Стариченко В. В. Оптимізація вибору матеріалів-імітаторів одягу для експериментальних досліджень ушкоджень зі ствольної зброї. *Питання судової медицини та експертної практики* : XI зб. наук. пр., присвяч. 90-річ. Донецького обл. бюро судово-мед. експертизи та 60-річ. каф. судової мед. Донецького нац. мед. ун-ту ім. М. Горького. Донецьк, 2013. С. 150–152.
7. Сапелкін В. В. Оптимізація вибору імітатора біологічних тканин при моделюванні вогнепальних поранень, спричинених кулями патрону травматичної дії «Терен-12П». *Криміналістика і судовая експертиза* : Міжвідомч. наук.-метод. зб. Київ, 2014. Вип. 59. С. 475–484.
8. Рентгенофлуоресцентний аналіз / В. П. Афонин и др. Новосибирск : Наука, Сиб. отделение, 1991. 173 с.
9. Полежаев Ю. М. Оптический атомно-эмиссионный и рентгенофлуоресцентный методы спектрального анализа : учеб. Екатеринбург : УПИ, 1991. 92 с.
10. Fonseca J. F., Cruz M. M., Carvalho M. L. Muzzle-to-target distance determination by X-ray fluorescence spectrometry. *X-Ray Spectrom.* 2014. Vol. 43, P. 49–55.

11. Chemometric classification of gunshot residues based on energy dispersive x-ray microanalysis and inductively coupled plasma analysis with massspectrometric detection / S. Stefen et al. *9th Rio Symposium on Atomic Spectrometry. Spectrochimica Acta. Part B: Atomic Spectroscopy*. 2007. № 62 (9). P. 1028–1036.
12. Multivariate optimisation of ICP OES instrumental parameters for Pb/Ba/Sb measurement in gunshot residues / G. Vanini et al. *Microchemical Journal*. 2015. Vol. 120, P. 58–63.
13. Родионова О. Е., Померанцев А. Л. Хемометрика: достижения и перспективы. *Успехи химии*. 2006. № 75 (4). С. 302–321.
14. Kumar R., V. Sharma V. Chemometrics in Forensic Science. *Trends in Analytical Chemistry*. 2018. № 105. P. 191–201.
15. Краснянчин Я. Н., Пантелеймонов А. В., Холин Ю. В. Хемометрические методы в контроле подлинности продуктов питания и пищевого сырья. *Методы и объекты химического анализа*. 2010. Т. 5, № 3. С. 118–147.
16. Харман Г. Современный факторный анализ / пер. с англ. В. Я. Лумельского; науч. ред. и вступ. ст. Э. М. Бравермана. Москва : Статистика, 1972. 487 с.

REFERENCES

1. Sapielkin, V. V. (2016). Forensic Medical Peculiarities of Skin Damage Caused by a Large-Caliber Bullet Cartridge of Traumatic (Non-Lethal) Action «Teren-12P». *Galician Medical Journal*, 23 (2), 67–73.
2. Sukhyi, V. D. (1999). Sudovo-medychna kharakterystyka ushkodzhen, sprychynenykh 9 mm elastychnymy kuliamy. *Extended abstract of candidates thesis*. Kyiv, 20.
3. Kolos, O. P. (2010). Porivnialna sudovo-medychna kharakterystyka poshkodzhen riznykh vydiv tkanyn odiahu pry postrilakh z vykorystanniam patroniv «Osa», «PND-9P» ta «AL-9R», sporiadzhenykh elastychnymy kuliamy. *Extended abstract of candidates thesis*. Kyiv, 20.
4. Mykhailenko, O. V. (2010). Morfolohichni osoblyvosti ushkodzhen, zapodiianykh pry postrilakh patronamy «Teren 3FP» i «AE 9». *Extended abstract of candidates thesis*. Kyiv, 18.
5. Mishalov, V. D., Sukhyi, V. D., Voichenko, V. V., Kostenko Ye. Ya. (2016). *Sudovo-medychna ekspertyza*, 1, 41–45.
6. Kozachenko, I. M., Sukhin, O. P., Starychenko V. V. (2013). Proceeding from Pytannia sudovoi medytsyny ta ekspertnoi praktyky : XI zb. nauk. pr., prysviachena 90-richchiu Donetskoho oblasnoho biuro sudovo-medychnoi ekspertyzy ta 60-richchiu kafedry sudovoi medytsyny Donetskoho natsionalnoho medychnoho universytetu im. M. Horkoho. (pp. 150–152). Donetsk.
7. Sapielkin, V. V. (2014). *Kriminalistika i sudebnaia ekspertiza*. (Vol. 59). Kyiv, 475–484.
8. Afonin, V. P., Komiak, N. Y., Nikolaev, V. P., Plotnikov R. Y. (1991). *Renthenofluorestsentnyi analiz*. Novosybyrsk: Nauka, Syb. otdelnye, 173.
9. Polezhaev, Yu. M. (1991). *Opticheskii atomno-emissionnyi i renthenofluorestsentnyi metody spektralnoho analiza*. Ekaterinburh: UPI, 92.
10. Fonseca, J. F., Cruz, M. M., Carvalho, M. L. (2014). Muzzle-to-target distance determination by X-ray fluorescence spectrometry. *X-Ray Spectrom*, 43, 49–55.
11. Stefen, S., Otto, M., Niewoehner, L., Barth, M., Brozek-Mucha, Z., Biegstraaten, J., Horvath, R. (2007). Chemometric classification of gunshot residues based on energy dispersive x-ray microanalysis and inductively coupled plasma analysis with massspectrometric detection. *9th Rio Symposium on Atomic Spectrometry. Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 62 (9), 1028–1036.
12. Vanini, G. et al. (2015). Multivariate optimisation of ICP OES instrumental parameters for Pb/Ba/Sb measurement in gunshot residues. *Microchemical Journal*, 120, 58–63.
13. Rodionova, O. E., Pomerantsev A. L. (2006). *Uspekhi khimii*, 75 (4), 302–321.
14. Kumar, R., Sharma V. (2018). Chemometrics in Forensic Science. *Trends in Analytical Chemistry*, 105, 191–201.
15. Krasnianshin, Ya. N., Panteleimonov, A. V., Kholin Yu. V. (2010). *Metody i obekty khimicheskoho analiza* 5 (3), 118–147.
16. Kharman, H. (1972). *Sovremennyi faktorny analiz*. Moscow: Statistika, 487.

Відомості про авторів:

Сапелкін В. В., асистент кафедри судово-медичної експертизи, Харківська медична академія післядипломної освіти.

E-mail: bodydoc666@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9795-8463>

Руднев В. А., кандидат хім. наук, провідний науковий співробітник Лабораторії криміналістичних досліджень,

Харківський науково-дослідний інститут судових експертиз імені засл. проф. М. С. Бокаріуса. E-mail: vasily.rudniev@gmail.com.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2550-3515>

Нікітюк В. Г., завідувач сектора балістичних досліджень Лабораторії криміналістичних досліджень, Харківський науково-дослідний

інститут судових експертиз імені засл. проф. М. С. Бокаріуса. E-mail: nikityuk_sha@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7937-7334>

Коломійцев О. В., кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник Лабораторії криміналістичних досліджень,

Харківський науково-дослідний інститут судових експертиз імені засл. проф. М. С. Бокаріуса. E-mail: sashagun@ukr.net.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1932-1034>

Information about authors:

Sapielkin V. V., teaching assistant of the Department of Forensic Medical Examination, Kharkiv Medical Academy for Post-Graduate Education.

E-mail: bodydoc666@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9795-8463>

Rudniev V. A., Candidate of Chemistry (Ph.D.), leading researcher of the Laboratory of Forensic Examination,

Hon. Prof. M. S. Bokarius Kharkiv Research Institute of Forensic Examinations. E-mail: vasily.rudniev@gmail.com.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2550-3515>

Nikityuk V. G., head of the Section of Ballistic Research at the Laboratory of Forensic Examination,

Hon. Prof. M. S. Bokarius Kharkiv Research Institute of Forensic Examinations. E-mail: nikityuk_sha@ukr.net.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7937-7334>

Kolomiitsev O. V., Candidate of Technical Sciences (Ph.D.) leading researcher of the Laboratory of Forensic Examination,

Hon. Prof. M. S. Bokarius Kharkiv Research Institute of Forensic Examinations. E-mail: sashagun@ukr.net.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1932-1034>

Сведения об авторах:

Сапелкин В. В., ассистент кафедры судебно-медицинской экспертизы, Харьковская медицинская академия последипломного образования. E-mail: bodydoc666@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9795-8463>

Руднев В. А., кандидат хим. наук, ведущий научный сотрудник Лаборатории криминалистических исследований,

Харьковский научно-исследовательский институт судебных экспертиз имени засл. проф. М. С. Бокариуса.

E-mail: vasily.rudniev@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2550-3515>

Никитюк В. Г., заведующий сектором баллистических исследований Лаборатории криминалистических исследований,

Харьковский научно-исследовательский институт судебных экспертиз имени засл. проф. М. С. Бокариуса.

E-mail: nikityuk_sha@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7937-7334>

Коломийцев А. В., кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Лаборатории криминалистических исследований,

Харьковский научно-исследовательский институт судебных экспертиз имени засл. проф. М. С. Бокариуса.

E-mail: sashagun@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1932-1034>

Надійшла до редакції 21.06.2019 р.