

DOI: 10.31393/reports-vnmedical-2018-22(1)-03

УДК: 612.12-001.45:340.624

## ВИЯВЛЕННЯ ЧАСТОЧОК МЕТАЛІВ З ОБОЛОНКИ КУЛІ ДЛЯ ЧАСТКОВОЇ ВИДОВОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ВОГНЕПАЛЬНОЇ ЗБРОЇ З ВИКОРИСТАННЯМ РЕНТГЕНФЛУОРЕСЦЕНТНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ

Михайленко О.В.<sup>1</sup>, Чихман Я.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Київське міське клінічне бюро судово-медичної експертизи (вул. Докучаєвська, 4 м. Київ, Україна, 03141),

<sup>2</sup>Національна медична академія післядипломної освіти імені П. Л. Шупика (вул. Дорогожицька, 9, м. Київ, Україна, 04112)

Відповідальний за листування:  
e-mail: k-sme@nmapo.edu.ua

Статтю отримано 28 грудня 2017 р.; прийнято до друку 20 лютого 2018 р.

**Анотація.** Одним із актуальних в експертизі вогнепальних ушкоджень є визначення продуктів згоряння заряду чи факторів, що супроводжують постріл. При цьому, важливим залишається питання щодо використання злочинцем нарізної чи ненарізної короткоствольної зброї. Тому, шляхом виявлення часточок металів з оболонки кулі, що утворюються при проходженні через канал ствола нарізної зброї, їх візуального, стереомікроскопічного дослідження і з використанням інфрачервоних променів та рентгенфлуоресцентного спектрального аналізу, можливим стало проведення часткової видової ідентифікації вказаної зброї. У роботі був використаний архівний матеріал відділення слово-медичної криміналістики Київського міського клінічного бюро судово-медичної експертизи. Отримані результати були оброблені стандартними методами варіаційної статистики. В результаті дослідження у товщі нижнього краю вхідної вогнепальної рани були виявлені смужки металевої щільності жовтого кольору з підвищеним вмістом міді (Cu), цинку (Zn) та свинцю (Pb), що свідчить про особливості складу оболонки кулі, зовні покритою томпаком (сплав міді і цинку). Основним металом куль калібру 4 мм, наданих на експертизу, був свинець. При дослідженні поверхні кулі №1, що звернена до каналу зброї, виявлено чотири ділянки обтирання матеріалу оболонки, що утворились від дії полів нарізів каналу вогнепальної зброї і є нарізами на поверхні оболонки кулі, дно яких має паралельні валки та борозенки, що чергуються одні з одними. Таким чином, виявлення смужок металевої щільності жовтого кольору, що утворились у результаті проходження кулі через канал нарізної зброї, дало підстави ідентифікувати використану зброю саме як нарізну. Підвищений рівень вмісту міді (Cu), цинку (Zn) та свинцю (Pb) свідчить про те, що зовні оболонка кулі була покритою томпаком (сплавом міді і цинку). Отже, куля була оболонковою.

**Ключові слова:** судово-медична експертиза, вогнепальна нарізна зброя, продукти пострілу, рентгенфлуоресцентний спектральний аналіз.

### Вступ

Одним із актуальних в експертизі вогнепальних ушкоджень є визначення продуктів згоряння заряду чи факторів, що супроводжують постріл [11]. З радянських часів відомий цілий комплекс лабораторних методів і методик, що дозволяли проводити визначення (ідентифікацію) факторів, що супроводжують постріл із вогнепальної зброї: емісійний спектрографічний метод, полум'яна емісійна фотометрія, інфрачервона спектрометрія, іскрова мас-спектрометрія, атомно-абсорбційний аналіз, нейтронно-активаційний аналіз і ін. [2-4, 7-10], які широко використовуються на практиці у багатьох бюро судово-медичної експертизи і сьогодні.

Одним із високоефективних методів елементного складу нашарувань металів і інших факторів, що супроводжують постріл, є рентгенівський флуоресцентний спектральний аналіз (РФСА). Його використання дозволяє проводити діагностику вогнепального ушкодження (пошкодження), ідентифікувати мікрочасточки із ранових каналів, визначати вид снаряда і мікроелементний склад продуктів пострілу [5]. За останні роки технологічні можливості РФСА суттєво зросли [6], хоча наукових досліджень, присвячених комплексним і поглибленим дослідженням факторів, що супроводжу-

ють постріл, у тому числі й у випадках часткової видової ідентифікації нарізної короткоствольної зброї ще не достатньо.

Метою дослідження було проведення часткової видової ідентифікації нарізної короткоствольної зброї шляхом дослідження особливостей факторів, що супроводжують постріл, на об'єктах біологічного (шкіра голови потерпілого) і небіологічного (поверхня куль до вогнепальної зброї) походження з використанням інфрачервоних променів та рентгенфлуоресцентного спектрального елементного аналізу.

### Матеріали та методи

У роботі був використаний архівний матеріал відділення слово-медичної криміналістики Київського міського клінічного бюро судово-медичної експертизи. Дослідження об'єктів біологічного і небіологічного походження проводилось візуально та стереомікроскопічно (за допомогою стереомікроскопу МБС-10 при збільшенні від 4,8 до 56 крат). З метою виявлення наявності нашарувань кіптяви пострілу на клаптях шкіри з вогнепальними пораненнями правої скроневої ділянки проводилось дослідження в інфрачервоній ділянці спектру світла за допомогою телекамери "CCD B/W

Camera Model: MTC - 5C23B", матриця якої чутлива до інфрачервоних променів. Дослідження елементного складу продуктів пострілу в об'єктах біологічного і небіологічного походження проводилось з використанням рентгенфлуоресцентного спектрального елементного аналізу на спектрометрі "M4 TORNADO" компанії Bruker (Німеччина) з використанням пакету стандартних аналітичних методик. У роботі були застосовані стандартні методи варіаційної статистики.

### Результати. Обговорення

При дослідженні трупа на місці його виявлення мали місце два вогнепальних поранення в голову. Також, під час огляду місця події було виявлено та вилучено подушку з речовиною бурого кольору та з явним по-

шкодженням (наскрізна дірка), а також дві кулі до короткоствольної вогнепальної зброї.

При дослідженні клаптя шкіри з правої скроневої ділянки потерпілого було виявлено дві вхідні вогнепальні рани (№1 і №2) з циркулярним осадненням та з дефектом "мінус-тканина" (рис. 1). Рана №1 локалізувалась в нижній половині клаптя шкіри праворуч. Рановий канал від рани №1 закінчувався вихідною ранною на задній поверхні шиї по центру, ушкоджуючи за своїм ходом правий соскоподібний відросток, м'які тканини шиї. Навколо країв дефекту шкіри, у секторі між позначками 4 та 9 умовного циферблату годинника розташовувалась рівномірно виражене буровато-коричневого кольору осаднення шкіри у вигляді "напівпасочка", шириною до 0,9 см по нижньому краю

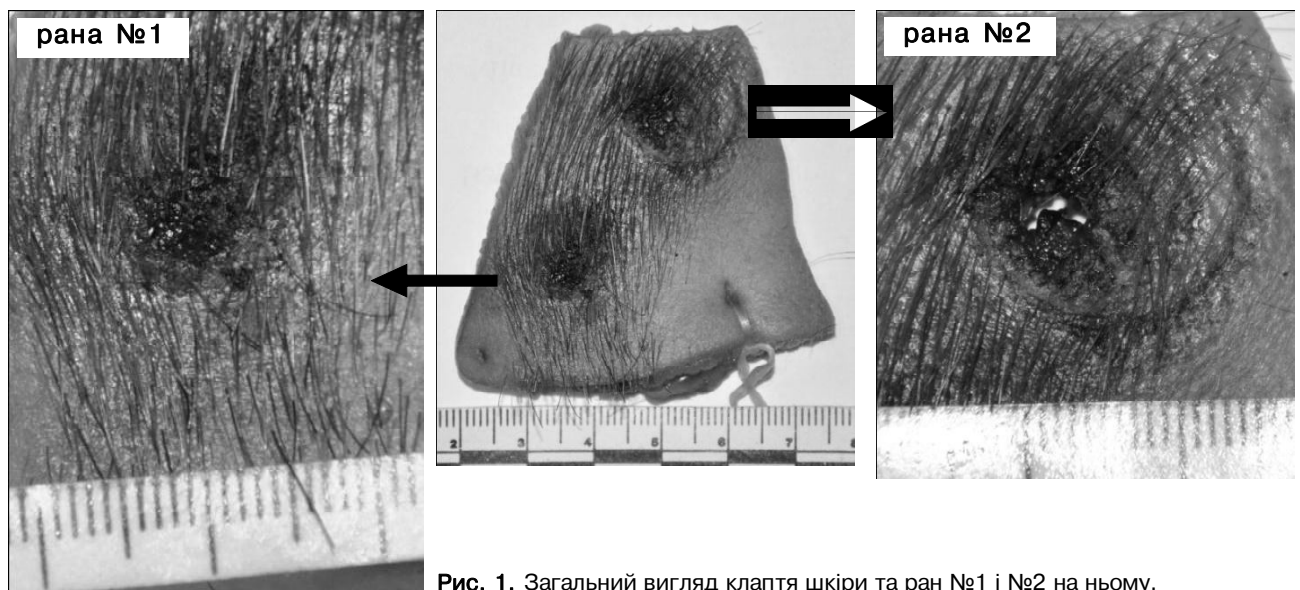


Рис. 1. Загальний вигляд клаптя шкіри та ран №1 і №2 на ньому.

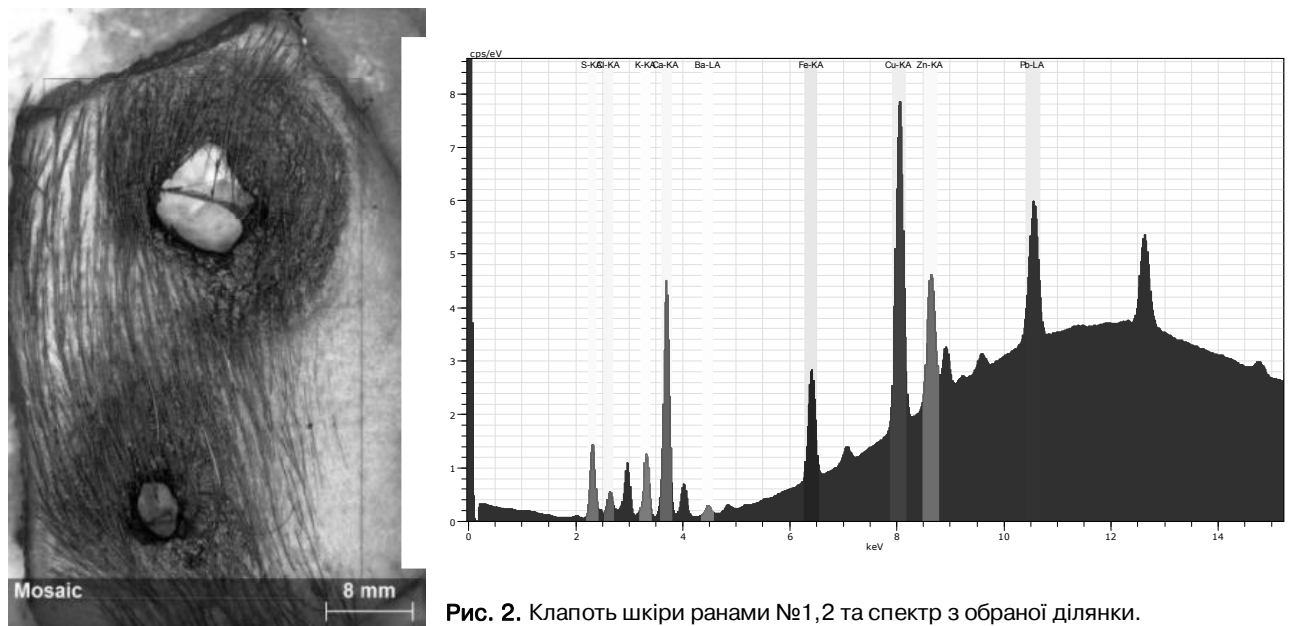
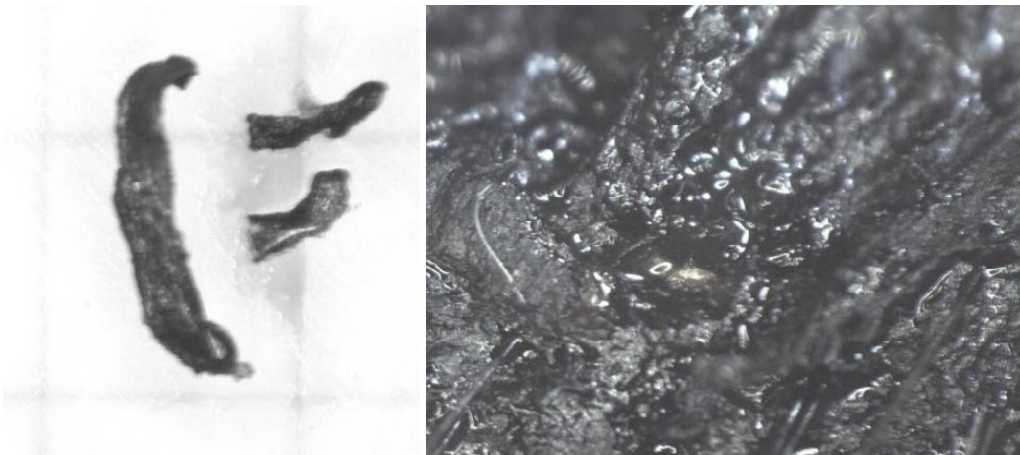


Рис. 2. Клапоть шкіри ранами №1,2 та спектр з обраної ділянки.



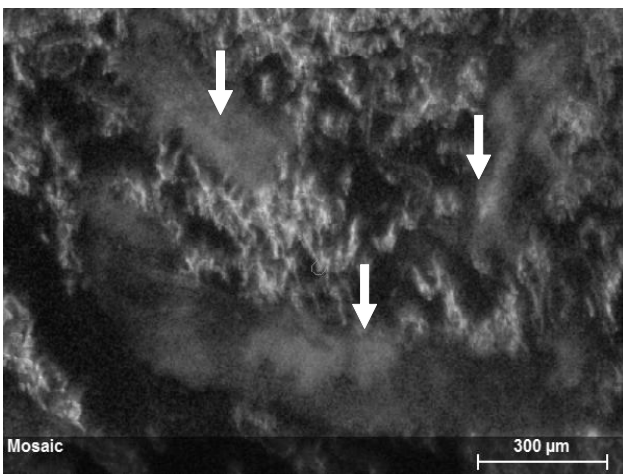
**Рис. 3.** Тонкі смужки металевої щільності (а) та жовтого кольору (б), що були виявлені у товщі нижнього краю рани №2.

та з закругленням, що мало рівні чіткі краї та діаметр біля 0,9 см. Дно вказаного осаднення розташоване нижче рівня неушкодженої шкіри.

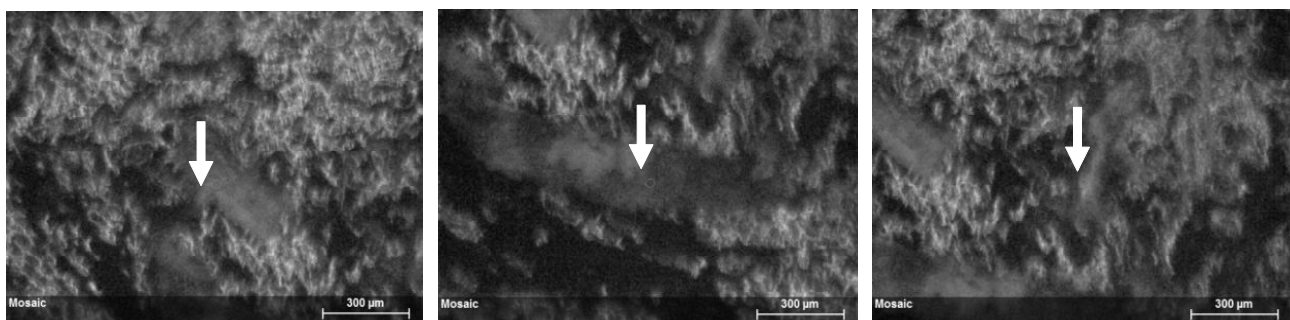
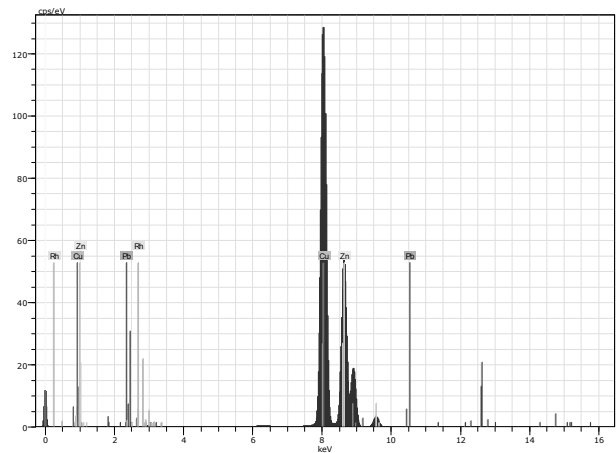
Рана №2 розташовувалась у верхній половині клапті шкіри ліворуч, рановий канал від якої закінчувався вихідною раною в потиличній ділянці зліва, ушкоджуючи за своїм ходом праву скроневу кістку, головний

1 та 7 умовного циферблату годинника.

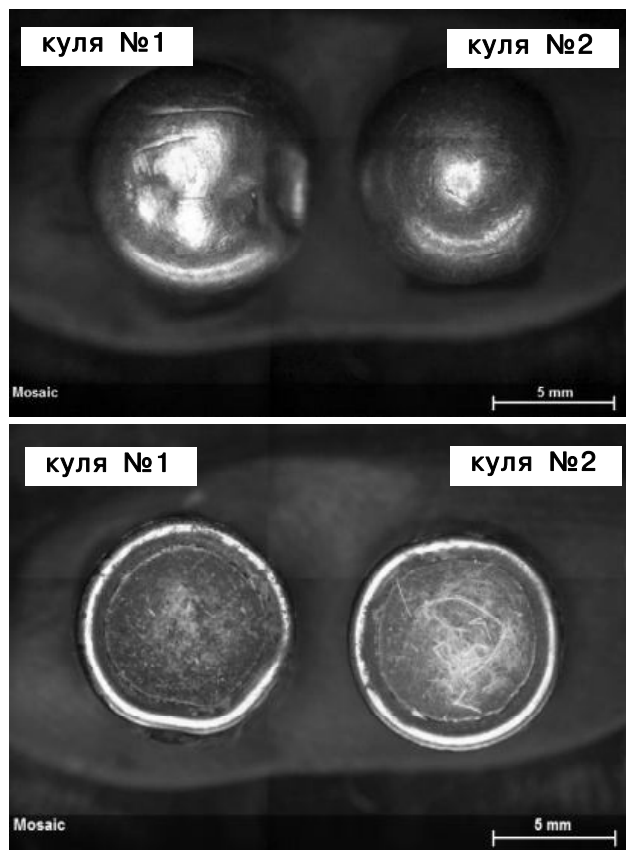
З метою виявлення наявності нашарувань кіптяви пострілу на клапті шкіри з правої скроневої ділянки з локалізацією в ділянці ран №1 та №2, їх форми та контурів, клапті шкіри були досліджені в інфрачервоній ділянці спектру світла за допомогою телекамери "CCD V/W Camera Model: MTC - 5C23B", матриця якої чутли-



**Рис. 4.** Зовнішній вигляд включень металу жовтого кольору, які були вилучені з краю рани №2 та спектр з довільно обраних крапок їх поверхні (вказано стрілками).



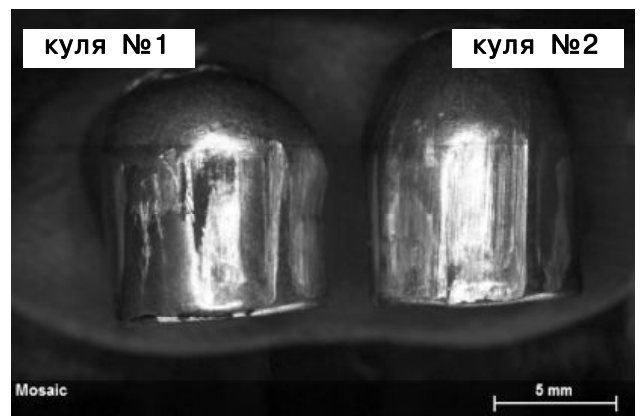
**Рис. 5.** Зовнішній вигляд смужок металу жовтого кольору, які були вилучені з краю рани №2 та довільно обрані крапки їх поверхні, з яких визначався спектр (вказано стрілками).



**Рис. 6.** Зовнішній вигляд наданих на експертизу куль, які були вилучені при огляді місця події.

ва до інфрачервоних променів. При цьому, навколо ран було виявлене нерівномірно виражене поглинання інфрачервоних променів світла округлої форми розміром 2,0х2,5 см. Більш інтенсивне поглинання інфрачервоних променів відмічалось по краям рани, яка розташована у верхній частині клаптя шкіри, а також у вигляді пасочки шириною 0,1-0,3 см навколо країв ран.

Для встановлення наявності металів (елементного

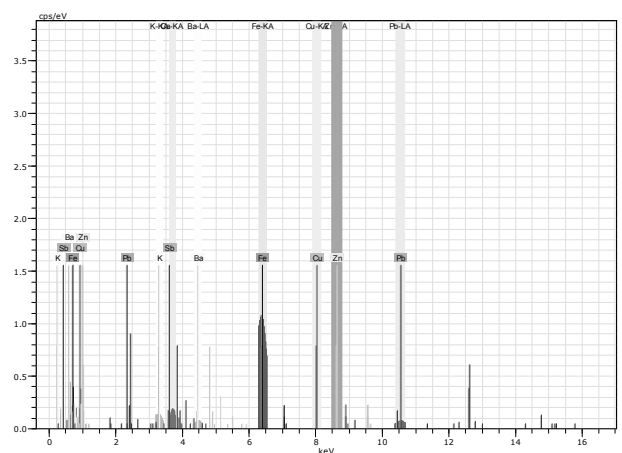
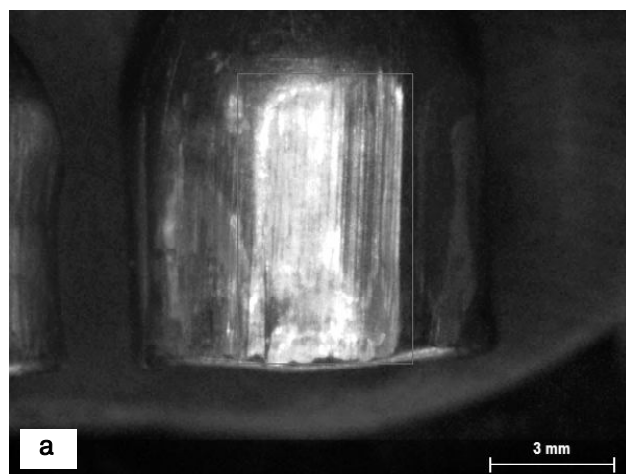


складу нашарувань) на поверхні клаптів шкіри був застосований мікрорентгенівський флуоресцентний спектральний аналіз. Вказане дослідження проводилось за стандартними аналітичними методиками. В результаті з площини сканування в ділянці ран отримано спектри наступних елементів: P, S, Cl, K, Ca, Ba, Fe, Cu, Zn, та Pb (рис. 2), що свідчить про їх вогнепальне походження.

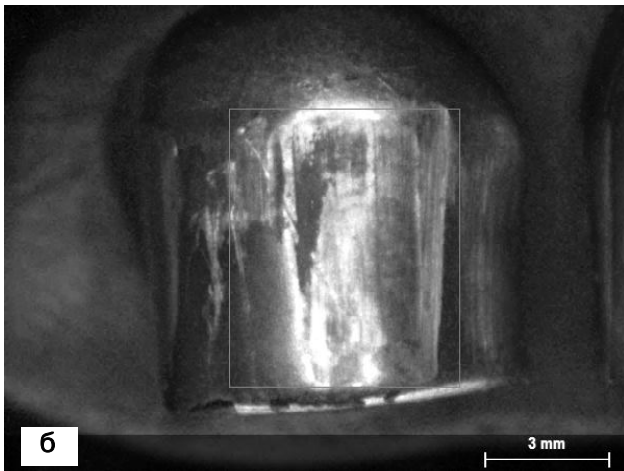
З використанням мікрорентгенівського флуоресцентного спектрометра "M4 TORNADO" у товщі нижнього краю рани №2 були виявлені тонкі смужки металевої щільності та жовтого кольору (рис. 3).

Для виявлення елементного складу смужки вилучались і поміщалися на клапоть вуглецевого скотчу на предметному столі камери спектрометра. Дослідження часточок проводилося при збільшенні в 10 та 100 крат, причому зразок переводився у фокальну площину за допомогою автофокуса. На відеозображенні виявлених часточок була обрана точка, з якої отримували спектри елементів Cu, Zn та Pb (рис. 4, 5).

Таким чином, в результаті дослідження із застосуванням мікрорентгенфлуоресцентного спектрального аналізу у складі смужок металевої щільності жовтого кольору, що локалізувались у товщі нижнього краю



**Рис. 7.** Зовнішній вигляд ділянок обтирання матеріалу оболонки куль №1 (а) та №2 (б) (нарізи), що утворились від дії полів нарізів каналу вогнепальної зброї, а також спектри виявлених елементів.



Продовження рис. 7.

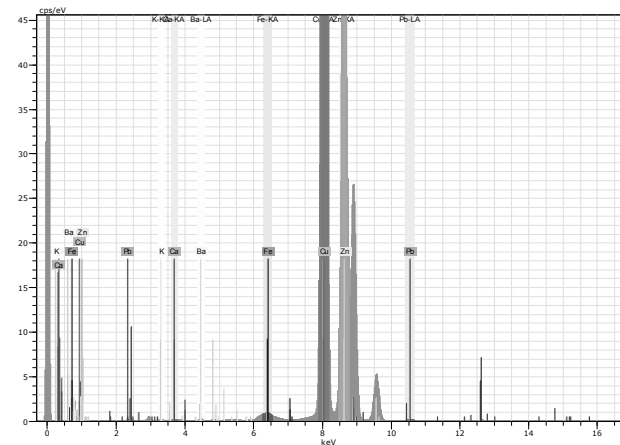
рани №2, було виявлено підвищений рівень вмісту міді (Cu), цинку (Zn) та свинцю (Pb). Основним металом куль, наданих на експертизу калібру 4 мм був свинець.

При дослідженні виявлених куль, на поверхні кулі №1, що звернена до каналу зброї, виявлено чотири ділянки обтирання матеріалу оболонки, що утворились від дії полів нарізів каналу вогнепальної зброї і є нарізами на поверхні оболонки кулі, дно яких має паралельні валки та борозенки, що чергуються одні з одними (рис. 6, 7).

Таким чином, смужки металевої щільності жовтого кольору, що локалізувались у товщі нижнього краю рани №2, є часточками металу, що утворились в результаті проходження через канал нарізної зброї, які умовно можна назвати "стружками". Це й дало нам підстави ідентифікувати використану зброю як нарізну.

Виявлений підвищений рівень вмісту міді (Cu), цинку (Zn) та свинцю (Pb) свідчить про склад оболонки кулі зовні покритою томпаком (сплав міді і цинку). Отже, куля була оболонковою. Основним металом куль, наданих на експертизу калібру 4 мм був свинець.

Отже, шляхом виявлення часточок металів з оболонки кулі, що утворюються при проходженні через



канал ствола нарізної зброї, з використанням інфрачервоних променів та рентгенфлуоресцентного спектрального аналізу, можливим було проведення часткової видової ідентифікації вогнепальної зброї, а саме - як нарізної.

### Висновки та перспективи подальших розробок

1. Смужки металевої щільності жовтого кольору, що локалізувались у товщі нижнього краю рани №2, були часточками металу, що утворились в результаті проходження через канал нарізної зброї, які умовно можна назвати "стружками". Виявлення останніх дало підстави ідентифікувати використану зброю як нарізну.

2. Підвищений рівень вмісту міді (Cu), цинку (Zn) та свинцю (Pb) свідчить про склад оболонки кулі зовні покритою томпаком (сплав міді і цинку). Отже, куля була оболонковою. Основним металом куль, наданих на експертизу калібру 4 мм був свинець.

Перспективи подальших розробок полягають у встановленні за допомогою рентгенфлуоресцентного спектрального аналізу спектрів неорганічних хімічних елементів розкладання ініціюючого вибухового складу різних видів капсулів до пістолетних патронів.

### Список посилань

1. Катонин, В. А. (Ред. В. И. Пашкова & В. В. Томилин) (1975). *Исследование огнестрельных повреждений. Лабораторные и специальные методы исследования в судебной медицине: Практическое руководство*. Москва: Медицина.
2. Колкутин, В. В., Мусин, Э. Х. & Катаева, Н. П. (2005). Применение рентгеноспектрального анализа в экспертной практике. Перспективы развития и совершенствования судебной-медицинской практики, Материалы VI Всероссийского съезда судебных медиков, посвященного 30-летию Всероссийского общества судебных медиков. Москва-Тюмень: Академия.
3. Колосова, В. М., Митричев, В. С. & Одинокина, Т. Ф. (1974). *Спектральный эмиссионный анализ при исследовании вещественных доказательств*. (с. 34-79). Москва: Медицина.
4. Макаренко, Т. Ф., & Назаров, Г. Н. (1991). Сравнительная оценка некоторых методов исследования металлизации объектов судебно-медицинской экспертизы в случаях огнестрельной травмы. Методология и методика судебно-медицинской экспертизы огнестрельных повреждений, Материалы научной конференции. Ленинград: Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова.
5. Мишалов, В. Д., & Михайленко, А. В. (2016). Новые возможности лабораторной диагностики продуктов выстрела путем проведения микрорентгенофлуоресцентного спектрального элементного анализа. *Морфология*, 10(3), 373-376.
6. Мишалов, В. Д., Михайленко, А. В. & Хохалева, Т. В. (2017). Рентгенфлуоресцентный спектральный элементный анализ, как инструмент идентификации на современном уровне исследования вогнепальной травмы. *Судово-медична*

- експертиза, 1, 75-82.
7. Назаров, Ю. В., & Лебедева, Т. В. (2006). Эмиссионный спектральный анализ при экспертизе огнестрельных повреждений, причиняемых эластичными поражающими элементами. *Актуальные вопросы судебной медицины и экспертной практики*, 11, 251-254.
  8. Пашкова, В. И., & Томилин, В. В. (1975). *Лабораторные и специальные методы исследования в судебной медицине*. Москва: Медицина.
  9. Попов, В. Л., Исаков, В. Д. & Кривожейко, А. Г. (1990). О предельных расстояниях свободного полета частиц пороха и металлов при выстрелах из ручного огнестрельного оружия. *Судебно-медицинская экспертиза*, 1, 13-17.
  10. Татаренко, В. А. (1999). *Огнестрельные повреждения. Эмиссионный спектральный анализ в судебно-медицинской практике: Практическое руководство*. Харьков: Харьковский государственный медицинский университет.
  11. Филипчук, О. В., & Коваленко, Ю. Н. (1983). К методике определения следов металлов методом цветных отпечатков. *Судебно-медицинская экспертиза*, 3, 47.

## References

1. Katonin, V. A. (Red. V. I. Pashkova & V. V. Tomilin) (1975). *Issledovanie ognestrelnykh povrezhdenij. Laboratornye i specialnye metody issledovaniya v sudebnoj medicine: Prakticheskoe rukovodstvo. [Investigation of gunshot injuries. Laboratory and special methods of research in forensic medicine: A practical guide]*. Moskva: Medicina - Moscow: Medicine.
2. Kolkutin, V. V., Musin, E. H. & Kataeva, N. P. (2005). *Primenenie rentgenospektralnogo analiza v ekspertnoj praktike. Perspektivy razvitiya i sovershenstvovaniya sudebno-medicinskoj praktiki, Materialy VI Vserossijskogo sezda sudebnykh medikov, posvyashennogo 30-letiyu Vserossijskogo obshchestva sudebnykh medikov. [Application of X-ray spectral analysis in expert practice. Prospects for the development and improvement of forensic medicine, Materials of the VI All-Russian Congress of Forensic Medicine, dedicated to the 30th anniversary of the All-Russian Society of Forensic Medicine]*. Moskva-Tyumen: Akademiya - Moscow-Tyumen: Academy.
3. Kolosova, V. M., Mitrichev, V. S. & Odinkina, T. F. (1974). *Spektralnyj emissionnyj analiz pri issledovanii veshestvennykh dokazatelstv. [Spectral emission analysis in the study of physical evidence ]*. (s. 34-79). Moskva: Medicina - Moscow: Medicine.
4. Makarenko, T. F., & Nazarov, G. N. (1991). *Sravnitel'naya ocenka nekotorykh metodov issledovaniya metallizacii obektov sudebno-medicinskoj ekspertizy v sluchayah ognestrelnoj travmy. Metodologiya i metodika sudebno-medicinskoj ekspertizy ognestrelnykh povrezhdenij, Materialy nauchnoj konferencii. [Comparative evaluation of some methods of investigation of metallization of forensic objects in cases of gunshot trauma. Methodology and methods of forensic examination of gunshot injuries, Materials of the scientific conference]*. Leningrad: Voenno-medicinskaya akademiya im. S.M. Kirova - Leningrad: Military Medical Academy. CM. Kirov.
5. Mishalov, V. D., & Mihajlenko, A. V. (2016). *Novye vozmozhnosti laboratornoj diagnostiki produktov vystrela putem provedeniya mikrorentgenofluorescentnogo spektralnogo elementnogo analiza. [New possibilities of laboratory diagnostics of shot products by carrying out micro-radiolofluorescence spectral elemental analysis]*. *Morfologiya - Morphology*, 10 (3), 373-376.
6. Mishalov, V. D., Mykhailenko, A. V. & Khokholieva, T. V. (2017). *Renthenfluorescentnyi spektralnyi elementnyi analiz, yak instrument identyfikatsii na suchasnomu rivni doslidzhennia vohnepalnoi travmy. [X-ray fluorescence spectral element analysis, as an identification tool at the current level of fire injury research]*. *Sudovo-medychna ekspertyza - Forensic medical examination*, 1, 75-82.
7. Nazarov, Yu. V., & Lebedeva, T. V. (2006). *Emissionnyj spektralnyj analiz pri ekspertize ognestrelnykh povrezhdenij, prichinyaemykh elastichnymi porazhayushimi elementami. [Emission spectral analysis in the examination of gunshot injuries caused by elastic injuring elements]*. *Aktualnye voprosy sudebnoj medicyny i ekspertnoj praktiki - Actual issues of forensic medicine and expert practice*, 11, 251-254.
8. Pashkova, V. I., & Tomilin, V. V. (1975). *Laboratornye i specialnye metody issledovaniya v sudebnoj medicine. [Laboratory and special methods of research in forensic medicine]*. Moskva: Medicina - Moscow: Medicine.
9. Popov, V. L., Isakov, V. D. & Krivozejko, A. G. (1990). *O predelnykh rasstoyaniyah svobodnogo poleta chastic poroha i metallov pri vystrelah iz ruchnogo ognestrelnogo oruzhiya. [On the limiting distances of the free flight of particles of gunpowder and metals during shots from a handgun]*. *Sudebno-medicinskaya ekspertiza - Forensic medical examination*, 1, 13-17.
10. Татаренко, В. А. (1999). *Огнестрельные повреждения. Эмиссионный спектральный анализ в судебно-медицинской практике: Практическое руководство. [Gunshot injuries. Emission spectral analysis in forensic medicine: Practical guidance]*. Harkov: Harkovskij gosudarstvennyj medicinskij universitet - Kharkov: Kharkov State Medical University.
11. Филипчук, О. В., & Коваленко, Ю. Н. (1983). *К методике определения следов металлов методом цветных отпечатков. [To the technique of determining trace metal by the method of color prints]*. *Sudebno-medicinskaya ekspertiza - Forensic medical examination*, 3, 47.

Михайленко О. В., Чихман Я. В.

## ВЬЯВЛЕНИЕ ЧАСТИЦ МЕТАЛЛОВ ОБОЛОЧКИ ПУЛИ ДЛЯ ЧАСТИЧНОЙ ВИДОВОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОРУЖИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕНТГЕНФЛУОРЕСЦЕНТНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

**Аннотация.** Одним из актуальных в экспертизе огнестрельных повреждений является определение продуктов сгорания заряда или факторов, сопровождающих выстрел. При этом, важным остается вопрос об использовании преступником нарезного или ненарезного короткоствольного оружия. Поэтому, путем выявления частиц металлов из оболочки пули, образующихся при прохождении через канал ствола нарезного оружия, их визуального, стереомикроскопического исследования и с использованием инфракрасных лучей и рентгенфлуоресцентного спектрального анализа, возможным стало проведение частичной видовой идентификации указанного оружия. В работе был использован архивный материал отделения судебно-медицинской криминалистики Киевского городского клинического бюро судебно-медицинской экспертизы. Полученные результаты были обработаны стандартными методами вариационной статистики. В результате исследования в толще нижнего края входной огнестрельной раны были обнаружены полоски металлической плотности желтого цвета с повышенным содержанием меди (Cu), цинка (Zn) и свинца (Pb), что свидетельствует об особенностях состава оболочки пули, внешне покрытой томпаком (сплавом меди и цинка). Основным металлом пуль калибра 4 мм, предоставленных на



экспертизу, был свинец. При исследовании поверхности пули №1, обращенной к каналу оружия, выявлено четыре участка обтирания материала оболочки, которые образовались от действия полей нарезов канала огнестрельного оружия и являются нарезами на поверхности оболочки пули, дно которых имеет параллельные валики и бороздки, чередующиеся друг с другом. Таким образом, выявление полосок металлической плотности желтого цвета, которые образовались в результате прохождения пули через канал нарезного оружия, дало основания идентифицировать использованное оружие именно как нарезное. Повышенный уровень содержания меди (Cu), цинка (Zn) и свинца (Pb) свидетельствует о том, что внешне оболочка пули была покрытой томпаком (сплавом меди и цинка). Итак, пуля была оболочечной.

**Ключевые слова:** судебно-медицинская экспертиза, огнестрельное нарезное оружие, продукты выстрела, рентгеновский флуоресцентный спектральный анализ.

*Mikhailenko A.V., Chikhman Ya.V.*

#### **DETECTION OF PARTICLES OF METALS IN THE SHELL CASING FOR A PARTIAL SPECIES IDENTIFICATION OF WEAPONS WITH THE USE OF X-RAY FUNCTION-SPECTRAL ANALYSIS**

**Annotation.** *One of the current in the examination of gunshot injuries is to determine the combustion charge or factors that accompany the shot. At the same time, the question remains about the use of a scapegoat or non-narrative short-barrel weapon. Therefore, by detecting particles of metal balls membrane formed passing through the bore rifle, their visual, stereomikroskopichnoho research and using infrared rays and renthenfluorestsentnoho spectral analysis was possible species of partial identification of said weapons. The archival material of the department of the word-medical criminology of the Kiev city clinic bureau of a forensic medicine was used in the work. The obtained results were processed by standard methods of variation statistics. The study in the thickness of the lower edge of the input gunshot wounds were found strips of metal density yellow color with a high content of copper (Cu), zinc (Zn) and lead (Pb), which indicates the characteristics of the membrane balls outside covered with red brass (an alloy of copper and zinc). The main metal of bullets of 4 mm caliber, provided for examination, was lead. In the study of the surface of the globe №1, facing the canal weapons found four areas of wiping material shell formed from the action fields rifling firearms is the rifling on the surface membrane of the globe, the bottom of which is parallel to the rolls and grooves alternating with one another . Thus, the detection of metallic strips of yellow density, resulting from passing through the channel rifle, gave reason to identify it as the weapon used in isolation. Elevated levels of copper (Cu), zinc (Zn) and lead (Pb) indicates that the outside shell of the balls were coated red brass (an alloy of copper and zinc). So the ball was shell.*

**Keywords:** *forensic medicine, fire rifle weapon, products of shot, X-ray fluorescence spectral analysis.*

---