

РЕЦЕНЗИЯ НА СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК ЖУРНАЛА “X-RAY SPECTROMETRY” – “РЕНТГЕНОВСКАЯ СПЕКТРОМЕТРИЯ В КРИМИНАЛИСТИКЕ”

А.Г. Ревенко

*Институт земной коры СО РАН
Российская Федерация, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128
xray@crust.irk.ru*

Поступила в редакцию 4 марта 2014 г.

Обсуждены публикации, представленные в специальном выпуске журнала “X-ray Spectrometry” – “Рентгеновская спектрометрия в криминалистике” (X-ray Spectrometry. January/February 2014, vol. 43, no. 1, pp. 1–66). В отдельных статьях рассмотрены особенности применения рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) в различных ситуациях расследования преступлений. Это отравление мышьяком, добавленным в приправу карри, что привело к гибели нескольких человек, влияние расстояния от огнестрельного оружия до цели на содержание Cu, Zn, Sb, Ba и Pb на поверхности ткани одежды пострадавшего, экспериментальное исследование остатков после выстрела на руке стрелявшего и передача (перенос) остатков при рукопожатии, особенности анализа осколков стекла с использованием микро-РФА, применение портативных рентгеновских спектрометров при исследовании материалов, представляющих культурные ценности и аналогичных материалов в криминалистике, организация судебной базы данных для почв в Японии. В статьях можно найти примеры использования возможностей, как простейших ручных спектрометров, так и сложного оборудования (синхротрон SPring-8). Выпуск представляет интерес как для аналитиков, решающих криминалистические проблемы, так и специалистам, работающим в других областях.

Ключевые слова: рентгенофлуоресцентный анализ, применение в криминалистике

Ревенко Анатолий Григорьевич – доктор технических наук, заведующий Аналитическим центром Института Земной коры СО РАН.

Область научных интересов – рентгенофизика, рентгенофлуоресцентный анализ природных материалов и объектов, имеющих археологическую, историческую или художественную ценность.

Автор более 310 научных публикаций.

Опубликован первый номер журнала “X-Ray Spectrometry” за 2014 г. Это специальный тематический выпуск “Рентгеновская спектрометрия в криминалистике”. Он подготовлен M. Bailey, английским специалистом по варианту рентгеноспектрального анализа с протонным возбуждением. Отметим, что различные варианты рентгеноспектрального метода анализа пользуются в последние десятилетия в криминалистике всё возрастающей популярностью из-за его неразрушающей природы, сравнительно низкой стоимости и простоты в эксплуатации. Некоторую информацию по этой проблеме можно найти в [1, 2]. Так, в обзоре [2] приведён список материалов, при исследовании которых рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) применялся в последние пять лет. Он достаточно обширен: чешуйки краски, автомобильные краски, стеклянные фрагменты, строительные материалы, пластмассы, чернила, продукты коррозии, лекарства и наркотики, примеси токсичных металлов в фармацевтических материалах, материал стоматологических реставрационных смол, поддельные монеты и банковские карты, пластинки искусственной кожи, слоновая кость, волосы, кровь и мышечные ткани. РФА ис-

пользуется для изучения материала скелетных останков человека и огнестрельных выхлопов от гладкоствольного или нарезного оружия, жидких образцов конфискованных материалов, вероятно, используемых для изготовления фейерверков.

Специальный выпуск предваряется коротким вступлением редактора выпуска M. Bailey [3], содержит обзор J. Kawai [4], отклик на него I. Nakai [5] и 6 оригинальных статей авторов из США, Италии, Израиля, Японии, Португалии и Великобритании [6-11].

S. Bell в обзорной статье [12] отмечала: “Чтобы быть приемлемыми в суде, судебные данные должны соответствовать требованиям как научного сообщества (руководствоваться научными методами), так и юридического сообщества (руководствоваться требованиями состоятельности методов). Оба сообщества влияют на судебные исследования и практику”. Сложность интерпретации рентгеноспектральных данных в судебном контексте обсуждена J. Kawai на примере дела о смертельном случае в Японии. Что произошло? Четыре человека получили смертельную дозу и погибли, а 63 других заболели после того, как отравленная мышьяком приправа карри была подана во время летнего

фестиваля в Вакаяма-Сити, Япония, 25 июля 1998 года [13]. Страховой агент была арестована по обвинению в убийстве и покушении на убийство, и после долгих исследований от районного до Верховного суда, женщина была приговорена к смерти без признания вины, на основе ключевых доказательств, полученных рентгеноспектральным методом. Мышьяк использовали в пестицидах против термитов, а уничтожение термитов было обычным делом в этом районе. Обнаружение мышьяка было ключевым моментом для лечения жертв, но информация получена слишком поздно.

Галли и др. (Италия) [7] показали, как портативные рентгенофлуоресцентные приборы используются в области культурного наследия и как некоторые из преимуществ портативных РФА могут быть применены при исследовании судебно-медицинских образцов. Отмечается, что научные анализы образцов культурного наследия и аналитические исследования в криминалистике обладают некоторыми общими чертами. В самом деле, в обоих случаях аналитики имеют дело с уникальными, «драгоценными» и часто количественно очень ограниченными, которые должны быть сохранены в максимальной степени. Более того, при изучении материалов культурного наследия учёные в полевых условиях ищут ответы по истории артефактов, пытаются помочь выяснению их происхождения, собирают доказательства их подлинности или поддержке приёмов корректного восстановления. Энергодисперсионный рентгеновский флуоресцентный анализ является одним из лучших подходов для проведения качественных и количественных анализов без потери пробы. Более того, ручные портативные спектрометры нового поколения позволяют выполнять аналитическое исследование практически в любом месте. Авторы представили несколько своеобразных тематических исследований, в которых научная экспертиза оказалась полезной в решении историко-археологической неопределённости.

На сходство условий работы аналитиков, исследующих объекты в криминалистике, и аналитиков при оценке материалов культурного наследия обращалось внимание в работах [14-16]: «Работа аналитика при исследовании рассматриваемых материалов похожа на работу криминалиста. В обоих случаях приходится восстанавливать картину того, что и как происходило, по мельчайшим крупичкам сохранившегося материала. Добытый материал желательнее сохранить. Очевидно, не зря известный специалист по РФА Ph. Potts в своих ежегодных обзорах в одном разделе рассматривает применение РФА в археологии и криминалистике. Ещё одно обстоятельство представляет особую важность: по результатам работы делаются выводы, от которых зависит судьба людей (у криминалистов) или идей (у аналитиков, исследующих рассматриваемые материалы). Поэтому очень важно обеспечить получение истинных результатов».

T. Ernst и др. (США) [6] наметили протокол для криминалистического анализа стекла с помощью РФА. Образцы стекла представляются в лаборатории судебной экспертизы в различных следственных обстоятельствах, при которых первичный объект из стекла бывает разбитым. Это дорожно-транспортные происшествия и столкновения или варианты нападения. В таких ситуациях битое стекло, возможно, передаётся от источника к другому объекту или человеку. Целью судебной экспертизы стекла является сравнение нескольких образцов для выяснения можно ли разделить их с помощью физических и/или химических свойств (например, цвет, толщина, показатель преломления, плотность и элементный состав). Если образцы значимо отличаются по любому из этих свойств, можно сделать вывод, что они происходят из разных стеклянных объектов. Если образцы не отличаются по всем этим свойствам, существует вероятность, что они принадлежат одному первичному объекту стекла.

Стеклянные образцы, представляемые для судебно-медицинской экспертизы, могут быть как фрагментом полной толщины диаметром несколько сантиметров, так и очень мелкими, тонкими частицами диаметром меньше 100 мкм. Поверхность образцов может быть обработанной (плоской или изогнутой) или иметь трещины, неровные поверхности. Естественно, что геометрия, размер и толщина представленных стеклянных образцов влияют на результаты исследований, выполненных на образцах. Отметим, что подобные проблемы имеют место и при исследованиях других материалов, встречающихся в практике криминалистики.

Использование рентгенофлуоресцентного анализа обеспечивает высокий уровень дискриминации между различными объектами из стекла. Интерпретация элементарных данных для образцов из стекла часто включает в себя сочетание сравнения спектров или сравнений отношений интенсивностей пиков. При сравнениях спектров сопоставляют общий профиль элементов для двух образцов, в том числе регистрируемых элементов, формы пиков и относительные интенсивности пиков. Отношения интенсивностей пиков позволяют выполнять полуколичественные сравнения элементного состава. Несколько криминалистических публикаций продемонстрировали эффективность распознавания образцов стекла на основе одного или обоих этих подходов. В статье T. Ernst и др. [6] рассмотрено применение давно используемых параметров сигнал-фон, предела обнаружения и предела количественного определения в судебной экспертизе стекла с упором на то, что принимаемые аналитические решения должны быть объективными и стандартизированными. Для лучшего понимания этих терминов аналитиками-криминалистами в Приложении даны краткие объяснения используемых терминов.

В ряде исследований показано, что анализ выхлопов выстрелов из огнестрельного оружия на огнестрельных повреждениях имеет первостепенное значение в судебно-медицинской экспертизе [17-24]. Эти остатки, как правило, состоят из частиц, выделенных из грунта, пропеллента и самой пули. Это объясняет большую изменчивость остатков, выделяемых после выстрела. Металлы, рассматриваемые как специфические для этого случая, Pb, Sb и Ba, входят в состав несгоревшего и частично сожженного пропеллента и частиц от грунта боеприпасов, дыма, жира, смазочных материалов и металлов из патрона, а также самого оружия; нахождение всех трёх металлов в образце является убедительным доказательством огнестрельного поражения. Три статьи в рассматриваемом выпуске посвящены этой проблеме.

Одним из важных аспектов уголовного расследования некоторых инцидентов является оценка расстояния от ствола до мишени. Это помогает установить относительные положения стрелка и жертвы. J.F. Fonseca и др. [10] из Португалии показали, что энергодисперсионный рентгеновский флуоресцентный анализ (ЭДРФА) может представлять собой альтернативу для традиционного хемографического метода, который основан на серии химических реакций, в результате которых получают цветной спектр. Преимущества ЭДРФА – нет необходимости в трудоёмкой химической подготовке, более быстрый и неразрушающий анализ. Авторы, используя ткани из чистого белого хлопка в качестве мишени и два типа пистолетов, подготовили несколько образцов ткани, стреляя в неё с различных расстояний. Из каждой цели были вырезаны и проанализированы непосредственно ЭДРФА четыре квадрата (4x3 см). Как и ожидалось, содержания Cu, Zn, Sb, Ba и Pb уменьшались с расстоянием для всех элементов. Такое поведение было изучено в зависимости от длины ствола и варианта нарезки в стволах. Концентрации элементов определяли с использованием способа фундаментальных параметров. Разработанная методика может быть использована для анализа любого типа боеприпасов, включая новые их виды.

J. French и др. [11] из Великобритании провели эксперименты, которые способствовали пониманию динамики вторичного переноса остатков выстрелов из огнестрельного оружия. Отмечено, что полный спектр частиц различных размеров может быть передан от стрелка к другому человеку через рукопожатие. Полученные результаты указывают на ряд возможных последствий для судебного протокола в расследовании, включающем анализ следов пороха. При сборе образцов желательнее отбирать образцы как можно скорее и как можно с большего количества поверхностей и предметов, которые, возможно, участвовали в контакте со стрелком или огнестрельным оружием, сохраняя, таким образом, важную информацию и исключая распространение

огнестрельных остатков через дальнейшие передачи. Это позволит сравнить образцы и потенциально реконструировать переносы, при этом ограничивая потерю важных доказательств.

В лаборатории E.S. Izraeli и др. (Израиль) [8] сканирующий электронный микроскоп JEOL JSM-6480LV (Япония) был заменён на TESCAN MIRA3 XMN FEG-SEM (Чехия). Авторы разработали процедуру для проведения автоматизированного анализа огнестрельных выхлопов и предложили вариант оптимизации условий анализа для конкретной тестируемой системы.

Часто при судебно-медицинских исследованиях необходимо идентифицировать неизвестные вещества. Автоматизированные базы данных могут облегчить бремя сравнения: исследуемый материал может быть сравнен с многими известными стандартами в течение короткого периода времени. Подобные базы уже используются для многих материалов. Так, показано, что зубные смолы могут быть определены в соответствии с брендом или торговой группой [25]. Большинство криминалистических лабораторий не в состоянии адекватно характеризовать образцы почв, отобранных следователями на месте преступления. Основная причина этого заключается в том, что морфологические, минералогические и знания в области спектроскопических методов анализа, необходимые для изучения и интерпретации исследуемых почв, требуют высокого уровня подготовки и опыта, которые в настоящее время не доступны в большинстве научных судебных учреждений. Чтобы преодолеть эту ситуацию, I. Nakai и др. [9] начали создавать судебную базу данных для почв в Японии. Из своих наблюдений, авторы обнаружили, что содержания элементов с высокими атомными номерами Z и минералы с этими элементами представляют геологические, а также географические отличительные признаки почв. Сделан вывод о том, что база данных с такой информацией для потоковых отложений будет полезной для судебно-медицинской идентификации почвы. На момент написания статьи авторы измерили 1791 образец методом РФА и 1478 образцов рентгенофазовым методом. Плотность точек отбора была 10x10 км. Предполагается завершить все измерения через 2 года. Когда эта работа будет завершена, источник данного образца почвы может быть идентифицирован неопытным персоналом без соответствующего опыта. Образец почвы в несколько миллиграммов может быть отправлен в лабораторию SPring-8 (крупнейший в мире центр синхротронного излучения третьего поколения, Япония) и ответ будет дан в течение короткого времени.

Заключение

Представленные в специальном выпуске статьи в целом отражают высокий уровень исследований по разработке и применению специфических методик РФА для поиска ответов на вопросы,

возникающие у следователей в различных криминальных ситуациях. Считаю необходимым отметить, что за исключением нескольких специалистов большинство авторов – это профессионалы в области судебно-медицинской экспертизы. Соответственно в приведённых литературных ссылках лишь менее трети – работы, опубликованные в профессиональных аналитических журналах. По моему мнению, наибольший интерес для профессиональных аналитиков-рентгенофизиков представляет дискуссия между проф. J Kawai (университет г. Киото, Япония) и проф. I. Nakai (университет г. Токио, Япония). Она показывает, насколько важно тщательно оценивать влияние различных факторов на результаты измерения и интерпретацию полученных данных.

ЛИТЕРАТУРА

- Ninomiya T. X-Ray Spectrometry in Forensic Research // X-Ray Spectrometry: Recent Technological Advances: eds. K. Tsuji, J. Injuk, R. Van Grieken. Chichester, John & Wiley. 2004. P. 553-567.
- Revenko A. Application of X-ray fluorescence analysis to science and industry // Proc. Conf. on X-Ray Analysis. Ulaanbaatar: University Press, 2012. P. 7-11.
- Bailey M.J. Editorial // X-Ray Spectrom. 2014. V. 43, № 1. P. 1.
- Kawai J. Forensic analysis of arsenic poisoning in Japan by synchrotron radiation X-ray fluorescence // X-Ray Spectrom. 2014. V. 43, № 1. P. 2-12.
- Nakai I. Response to Professor Kawai's review on forensic synchrotron X-ray fluorescence analysis of arsenic poisoning in Japan // X-Ray Spectrom. 2014. V. 43, No. 1. P. 62-66.
- Signal-to-noise ratios in forensic glass analysis by micro X-ray fluorescence spectrometry / T. Ernst [et al.] // X-Ray Spectrom. 2014. V. 43, No. 1. P. 13-21.
- Galli A., Bonizzoni L. True versus forged in the cultural heritage materials: the role of PXRF analysis // X-Ray Spectrom. 2014. V. 43, No. 1. P. 22-28.
- Izraeli E.S., Tsach T., Levin N. Optimizing FEG-SEM combined with an SDD EDX system for automated GSR analysis // X-Ray Spectrom. 2014. V. 43, No. 1. P. 29-37.
- Quantitative analysis of heavy elements and semi-quantitative evaluation of heavy mineral compositions of sediments in Japan for construction of a forensic soil database using synchrotron radiation X-ray analyses / I. Nakai [et al.] // X-Ray Spectrom. 2014. V. 43, No. 1. P. 38-48.
- Fonseca J.F., Cruz M.M., Carvalho M.L. Muzzle-to-target distance determination by X-ray fluorescence spectrometry // X-Ray Spectrom. 2014. V. 43, No. 1. P. 49-55.
- French J., Morgan R., Davy J. The secondary transfer of gunshot residue: an experimental investigation carried out with SEM-EDX analysis // X-Ray Spectrom. 2014. V. 43, No. 1. P. 56-61.
- Bell S. Forensic Chemistry // Annual Review of Analytical Chemistry. 2009. P. 297-319.
- Kawai J., Gohshi Y. Guest Editorial // X-Ray Spectrom. 1999. V. 28, No. 6. P. 419-420.
- Ревенко А.Г., Ревенко В.А. Применение рентгено-спектрального метода анализа для исследования материалов культурного наследия (Обзор) // Методы и объекты химического анализа. 2007. Т. 2, № 1. С. 4-29.
- Ревенко А.Г. Оценка взаимных влияний элементов при рентгеноспектральных исследованиях материалов культурного наследия из стекла // Аналитика и контроль. 2009. Т. 13, № 1. С. 4-22.
- Revenko A.G. Estimation and account for matrix effects in studying glass materials of cultural heritage by X-ray spectral analysis // X-Ray Spectrom. 2010. V. 39, No. 1. P. 63-69.
- Berendes A., Neimke D., Schumacher R., Barth M. A versatile technique for the investigation of gunshot residue patterns on fabrics and other surfaces: μ -XRF // J. Forensic Sci. 2006. V. 51, No. 5. P. 1085-1090.
- Martiny A, Campos A.P, Sader M.S, Pinto A.L. SEM/EDS analysis and characterization of gunshot residues from Brazilian lead-free ammunition // Forensic Sci. Int. 2008. V. 177, No. 1. P. 9-17.
- Bailey M.J., Kirkby K.J., Jeynes C. Trace element profiling of gunshot residues by PIXE and SEM-EDS: a feasibility study // X-Ray Spectrom. 2009. V. 38, No. 3. P. 190-194.
- Dalby O., Butler D., Birkett J.W. Analysis of Gunshot Residue and Associated Materials - A Review // J. Forensic Sci. 2010. V. 55, No. 4. P. 924-943.
- Stubs Versus Swabs? A Comparison of Gunshot Residue Collection Techniques / L. Reid [et al.] // J. Forensic Sci. 2010. V. 55, No. 5. P. 753-756.
- Gunshot Residues on Dry Bone After Decomposition - A Pilot Study / A. Taborelli [et al.] // J. Forensic Sci. 2012. V. 57, No. 5. P. 1281-1284.
- Shooting distance determination by μ -XRF - examples on spectra interpretation and range estimation / S. Latzel [et al.] // Forensic Sci. Int. 2012. V. 223. P. 273-278.
- Ditrich H. Distribution of gunshot residues - The influence of weapon type // Forensic Sci. Int. 2012. V. 220. P. 85-90.
- Bush M.A., Miller R.G., Norrlander A.L., Bush A.L. Analytical Survey of Restorative Resins by SEM/EDS and XRF: Databases for Forensic Purposes // J. Forensic Sci. 2008. V. 53, No. 2. P. 419-425.

REVIEW OF THE SPECIAL ISSUE OF "X-RAY SPECTROMETRY" – "X-RAY SPECTROMETRY IN FORENSIC SCIENCE"

A.G. Revenko

*Institute of the Earth's crust SB RAS
128 Lermontova St., Irkutsk, 664033, Russian Federation
xray@crust.irk.ru*

The publications are discussed which are presented in a special issue of the journal "X-ray Spectrometry", - "X-ray Spectrometry in Forensic Science" - (X-ray Spectrometry. January/February 2014, vol. 43, issue 1, pp. 1-66). In some articles the features of using X-ray fluorescence analysis (XRF) in var-

ious situations of forensic investigation are considered. This is the arsenic poisoning added to the curry, which led to several deaths, the effect of the distance from the point of firing to the target on Cu, Zn, Sb, Ba, and Pb contents on a victim clothing, experimental study of gunshot residues on hands of a shooter and transfer of gunshot residues via a handshake, features of broken glass analysis using μ -XRF, the use of portable X-ray spectrometers in studying materials of cultural values and similar materials in forensics, the organization of the judicial database of soils in Japan. In the articles one can find examples of the use of possibilities of simple hand-held spectrometers and complex equipment (Spring-8 synchrotron). The issue is of interest to analysts, solving forensic problems, and specialists working in other areas.

Key words: X-ray fluorescence analysis, application to the forensic science.

REFERENCES

- Ninomiya T. X-Ray Spectrometry in Forensic Research. *X-Ray Spectrometry: Recent Technological Advances*: eds. K. Tsuji, J. Injuk, R. Van Grieken. Chichester, John & Wiley. 2004. P. 553-567.
- Revenko A. Application of X-ray fluorescence analysis to science and industry. *Proc. Conf. on X-Ray Analysis*. Ulaanbaatar: University Press, 2012. P. 7-11.
- Bailey M.J. Editorial. *X-Ray Spectrom.*, 2014, vol. 43, no. 1, pp. 1. doi: 10.1002/xrs.2506.
- Kawai J. Forensic analysis of arsenic poisoning in Japan by synchrotron radiation X-ray fluorescence. *X-Ray Spectrom.*, 2014, vol. 43, no. 1, pp. 2-12. doi: 10.1002/xrs.2506.
- Nakai I. Response to Professor Kawai's review on forensic synchrotron X-ray fluorescence analysis of arsenic poisoning in Japan. *X-Ray Spectrom.*, 2014, vol. 43, no. 1, pp. 62-66. doi: 10.1002/xrs.2515.
- Ernst T., Berman T., Buscaglia J., Eckert-Lumsdon T., Hanlon C., Olsson K., Palenik C., Ryland S., Trejos T., Valadez M., Almirall J.R. Signal-to-noise ratios in forensic glass analysis by micro X-ray fluorescence spectrometry. *X-Ray Spectrom.*, 2014, vol. 43, no. 1, pp. 13-21. doi: 10.1002/xrs.2437.
- Galli A., Bonizzoni L. True versus forged in the cultural heritage materials: the role of PXRF analysis. *X-Ray Spectrom.*, 2014, vol. 43, no. 1, pp. 22-28. doi: 10.1002/xrs.2461.
- Izraeli E.S., Tsach T., Levin N. Optimizing FEG-SEM combined with an SDD EDX system for automated GSR analysis. *X-Ray Spectrom.*, 2014, vol. 43, no. 1, pp. 29-37. doi: 10.1002/xrs.2495.
- Nakai I., Furuya Sh., Bong W., Abe Y., Osaka K., Matsumoto T., Itou M., Ohta A., Ninomiya T. Quantitative analysis of heavy elements and semi-quantitative evaluation of heavy mineral compositions of sediments in Japan for construction of a forensic soil database using synchrotron radiation X-ray analyses. *X-Ray Spectrom.*, 2014, vol. 43, no. 1, pp. 38-48. doi: 10.1002/xrs.2496.
- 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, no. 1, pp. 49-55. doi: 10.1002/xrs.2497.
- French J., Morgan R., Davy J. The secondary transfer of gunshot residue: an experimental investigation carried out with SEM-EDX analysis. *X-Ray Spectrom.*, 2014, vol. 43, no. 1, pp. 56-61. doi: 10.1002/xrs.2498.
- Bell S. Forensic Chemistry. *Annual Review of Analytical Chemistry*, 2009, pp. 297-319. doi: 10.1146/annurev-anchem-060908-155251.
- Kawai J., Gohshi Y. Guest Editorial. *X-Ray Spectrom.*, 1999, vol. 28, no. 6, pp. 419-420.
- Revenko A.G., Revenko V.A. [Application of X-ray spectral analysis for the study of materials of cultural heritage (Review)]. *Metody i ob'ekty khimicheskogo analiza* [Methods and objects for the chemical analysis], 2007, vol. 2, no 1, pp. 4-29 (in Russian).
- Revenko A.G. [Estimating matrix effects in X-ray spectral studies of glass materials of cultural heritage]. *Analitika i Kontrol'* [Analytical and Control], 2009, vol. 13, no. 1, pp. 4-22 (in Russian).
- Revenko A.G. Estimation and account for matrix effects in studying glass materials of cultural heritage by X-ray spectral analysis. *X-Ray Spectrom.*, 2010, vol. 39, no. 1, pp. 63-69. doi: 10.1002/xrs.1223.
- Berendes A., Neimke D., Schumacher R., Barth M. A versatile technique for the investigation of gunshot residue patterns on fabrics and other surfaces: μ -XRF. *J. Forensic Sci.*, 2006, vol. 51, no. 5, pp. 1085-1090. doi: 10.1111/j.1556-4029.2006.00225.x.
- Martiny A, Campos A.P, Sader M.S, Pinto A.L. SEM/EDS analysis and characterization of gunshot residues from Brazilian lead-free ammunition. *Forensic Sci. Int.*, 2008, vol. 177, no. 1, pp. 9-17. doi: 10.1016/j.forsciint.2007.07.005.
- Bailey M.J., Kirkby K.J., Jeynes C. Trace element profiling of gunshot residues by PIXE and SEM-EDS: a feasibility study. *X-Ray Spectrom.*, 2009, vol. 38, no. 3, pp. 190-194. doi: 10.1002/xrs.1142.
- Dalby O., Butler D., Birkett J.W. Analysis of Gunshot Residue and Associated Materials - A Review. *J. Forensic Sci.*, 2010, vol. 55, no. 4, pp. 924-943. doi: 10.1111/j.1556-4029.2010.01370.x.
- Reid L., Chana K., Bond J.W., Almond M.J., Black S. Stubs Versus Swabs? A Comparison of Gunshot Residue Collection Techniques. *J. Forensic Sci.*, 2010, vol. 55, no. 5, pp. 753-756. doi: 10.1111/j.1556-4029.2010.01332.x.
- Taborelli A., Gibelli D., Rizzi A., Andreola S., Brandone A., Cattaneo C. Gunshot Residues on Dry Bone After Decomposition - A Pilot Study. *J. Forensic Sci.*, 2012, vol. 57, no. 5, pp. 1281-1284. doi: 10.1111/j.1556-4029.2012.02119.x.
- Latzel S., Neimke D., Schumacher R., Barth M., Niewohner L. Shooting distance determination by μ -XRF - examples on spectra interpretation and range estimation. *Forensic Sci. Int.*, 2012, vol. 223, pp. 273-278. doi: 10.1016/j.forsciint.2012.10.001.
- Ditrich H. Distribution of gunshot residues - The influence of weapon type. *Forensic Sci. Int.*, 2012, vol. 220, pp. 85-90. doi: 10.1016/j.forsciint.2012.01.034.
- Bush M.A., Miller R.G., Norrlander A.L., Bush A.L. Analytical Survey of Restorative Resins by SEM/EDS and XRF: Databases for Forensic Purposes. *J. Forensic Sci.*, 2008, vol. 53, no. 2, pp. 419-425. doi: 10.1111/j.1556-4029.2006.00308.x.