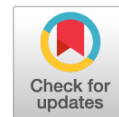


<https://doi.org/10.17816/fm381>



ХАРАКТЕРИСТИКА ФРАГМЕНТОВ СНАРЯДОВ ПОСЛЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ТРИПЛЕКСНОГО СТЕКЛА АВТОМОБИЛЯ ВЫСТРЕЛАМИ ИЗ ОХОТНИЧЬЕГО КАРАБИНА «САЙГА» ПОД ПАТРОН 5,45×39

С.В. Леонов^{1,2}, П.В. Пинчук^{1,3}, М.А. Сухарева², Ю.П. Шакирьянова^{1,2}

¹ Главный государственный центр судебно-медицинских и криминалистических экспертиз Минобороны России, Москва, Российская Федерация

² Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова, Москва, Российская Федерация

³ Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ. Актуальность. Статья посвящена возможностям инновационных методов исследования в судебной медицине — сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) с энергодисперсионным анализом. Описываемые методы были использованы при проведении экспериментальных исследований в случае огнестрельной запреградной травмы. **Цель** — исследование частиц, образующихся при разрушении полубололочного снаряда и преграды (триплексное стекло автомобиля) при выстрелах из карабина охотничьего «Сайга» патронами 5,45×39. **Материал и методы.** В качестве преграды использовали автомобильные триплексные лобовые стекла от автомобилей BMW и Mercedes-Benz. Выстрелы производились из карабина охотничьего «Сайга» под патрон 5,45×39. Выстрелы осуществлялись с расстояния 10 м. В качестве мишеней использовалась белая бязь размерами 100×150 см, натянутая на деревянную рамку или закрепленная на древесно-стружечном щите. Расстояние между мишенью и преградой было 100 см, что примерно соответствовало расстоянию от лобового стекла автомобиля до водителя и пассажира переднего сидения. Исследования проводились с помощью СЭМ Hitachi FlexSem1000 II и энергодисперсионного рентгеновского спектрометра Bruker Quantax 80. **Результаты.** На поверхности мишени с помощью микроскопии обнаружено 7 видов инородных тел, которые являются продуктами разрушения огнестрельного снаряда и преграды: отломки стекла; осколки стекла; крошковидное отложение частиц стекла; осколки стекла, спекшиеся с металлом снаряда; фрагменты снаряда; сферические частицы металла; наложения расплавленного металла в виде луж. При помощи энергодисперсионного анализа удалось установить элементный состав частиц преграды, огнестрельного снаряда, выявить наложение частиц мишени. **Заключение.** В результате проведенного экспериментального исследования установлено, что применение СЭМ и энергодисперсионного анализа значительно повышает эффективность и доказательность экспертных исследований при решении вопросов причинения повреждений через преграду — ветровое стекло современных автомобилей.

Ключевые слова: сканирующая электронная микроскопия; огнестрельная травма; энергодисперсионный анализ; фрагменты преграды.

Для цитирования: Леонов С. В., Пинчук П. В., Сухарева М. А., Шакирьянова Ю. П. Характеристика фрагментов снарядов после повреждения триплексного стекла автомобиля выстрелами из охотничьего карабина «Сайга» под патрон 5,45×39. *Судебная медицина*. 2021;7(3):139–145. DOI: <https://doi.org/10.17816/fm381>

Поступила 10.03.2021

Принята после доработки 16.03.2021

Опубликована 10.06.2021

АКТУАЛЬНОСТЬ

Запреградная травма является одним из проблемных вопросов проведения медико-криминалистических экспертиз в случаях причинения пострадавшим огнестрельных повреждений через такую преграду, как ветровое стекло автомобилей. В специальной судебно-медицинской литературе этому вопросу уделено крайне мало внимания [1, 2]. Вместе с тем в экспертной практике коллег авторов статьи был опыт проведения подобных

экспертиз, при производстве которых отмечены существенные трудности в решении ряда вопросов, касающихся, например, сложности выявления факторов выстрела на одежде, теле пострадавшего, обшивке и интерьере автомобиля, а также трактовки и анализа обнаруживаемых фрагментов огнестрельных снарядов, преграды, материала деталей автомобиля и т. д. Кроме этого, сложности возникли и с визированием, поскольку имело место отклонение снаряда к нормали при пробитии преграды.

CHARACTERISTICS OF SHELL FRAGMENTS AFTER HITTING TRIPLEX CAR GLASS WITH SHOTS FROM A HUNTING “SAIGA” CARBINE UNDER THE 5.45×39 CARTRIDGE

Sergey V. Leonov^{1,2}, Pavel V. Pinchuk^{1,3}, Marina A. Suhareva², Juliya P. Shakiryanova^{1,2}

¹ Main State Center for Medical Forensic and Criminalistical Examination, Moscow, Russian Federation

² Moscow State University of Medicine and Dentistry named after A.I. Evdokimov, Moscow, Russian Federation

³ The Russian National Research Medical University named after N.I. Pirogov, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT. Background: The article aims to assess the possibilities of innovative research methods in scanning electron microscopy (SEM) with energy dispersion analysis (EDS) forensic medicine. The described methods were used in experimental studies of a gunshot retrograde injury. **Aim:** The purpose of this study was to evaluate the particles formed during the destruction of a semi-shell shell and an obstacle (triplex car glass) when fired from a hunting Saiga carbine with 5.45×39 cartridges. **Material and methods:** Triplex windshields from BMW and Mercedes-Benz cars were used as barriers. The shots were fired from a hunting Saiga carbine with a 5.45×39 cartridge from a distance of 10 m. As targets, white calico with dimensions of 100×150 cm was used, while stretched on a wooden frame or fixed on a chipboard. The distance between the target and the barrier was 100 cm, which approximately corresponded to the distance from the car windshield to the driver and the passenger in the front seat. The studies were conducted using the SEM Hitachi FlexSem1000 II and the energy-dispersive X-ray spectrometer Bruker Quantax 80. **Results:** Microscopy helped identify seven types of foreign bodies on the surface of the target, which were the products of destruction of the fire projectile and the barrier: glass fragments, glass fragments, crumbly depositions of glass particles, glass fragments caked with the projectile metal, fragments of the projectile, spherical metal particles, and overlays of molten metal in the form of puddles. EDS helped determine the elemental composition of the barrier particles, fire shell, and the overlap of target particles. **Conclusion.** The experimental study demonstrated that the use of SEM and EDS significantly increased the effectiveness and evidence-based expert research value while solving the problems of causing damage through the barrier-the windscreen of modern cars.

Keywords: scanning electron microscopy; gunshot trauma; energy dispersion analysis; fragments of the barrier.

For citation: Leonov SV, Pinchuk PV, Suhareva MA, Shakiryanova JP. Characteristics of shell fragments after hitting triplex car glass with shots from a hunting “Saiga” carbine under the 5.45×39 cartridge. *Russian Journal of Forensic Medicine*. 2021;7(3):139–145. DOI: <https://doi.org/10.17816/fm381>

Submitted 10.03.2021

Revised 16.03.2021

Published 10.06.2021

Решить традиционными методами исследования перечень вопросов нам удалось лишь частично. Именно поэтому авторы приняли решение провести экспериментальное исследование с использованием новых нетрадиционных методов для определения особенностей морфологии, механизма образования и закономерностей распределения на мишени фрагментов оболочечных снарядов и преграды (триплексное стекло автомобиля), образующихся при их разрушении вследствие выстрелов из карабина охотничьего «Сайга» патронами калибра 5,45×39.

Электронный микроскоп был изобретен в 1932 г. [3]. В 1938 г. создан растровый, или сканирующий, электронный микроскоп с расширенными возможностями (в первую очередь, увеличивающий площадь исследования). Сканирующий электронный микроскоп (СЭМ) — это прибор, предназначенный для полу-

чения увеличенного изображения объекта путем его сканирования сфокусированным пучком электронов и регистрации детектором сигнала, возникающего в результате взаимодействия электронов с веществом. Микроскоп включает в себя источник электронов, оптическую систему для фокусировки электронов и сканирования (электронную колонну), камеру с образцом и детекторы для регистрации сигнала, а также систему откачки, необходимую для создания вакуума в микроскопе. СЭМ позволяет работать в широком диапазоне увеличений — от 10 до 1 000 000 крат [4]. Электроны зонда (пучка) взаимодействуют с материалом образца и генерируют различные типы сигналов — вторичные электроны, обратноотраженные электроны, рентгеновское излучение, световое излучение (катодлюминесценция) и т.д. Эти сигналы являются носителями информации о топографии и материале образца [5].

Отражаясь и проникая на глубину до 2 нм в исследуемый объект, электроны несут информацию о его поверхности, особенностях рельефа, а также об элементном составе частиц, расположенных на поверхности объекта. В зависимости от плотности объекта исследования интенсивность освещения (поглощения) изменяется, что реализуется в различной степени яркости изображения на мониторе персонального компьютера. Информация об элементном составе обнаруженных частиц ложится в основу энергодисперсионного (energy-dispersive, EDS) анализа, в рамках которого возможно определение практически всех элементов таблицы Менделеева (за исключением редких и недавно зарегистрированных).

Цель исследования — исследование частиц, образующихся при разрушении полубололочного снаряда и преграды (триплексное стекло автомобиля) при выстрелах из карабина охотничьего «Сайга» патронами 5,45×39.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В качестве преграды применялись автомобильные триплексные лобовые стекла от автомобилей BMW и Mercedes-Benz. Выстрелы производились из карабина охотничьего «Сайга» под патрон 5,45×39. При экспериментальных выстрелах применялись охотничьи патроны 5,45×39 с массой пули 3,85 г, предназначенные для стрельбы из гражданского нарезного оружия. Пуля полубололочная с конусом. Капсюль неоржавляющий. Гильза стальная лакированная. При производстве экспериментов выстрелы осуществлялись с расстояния 10 м (всего было произведено 60 выстрелов). В качестве мишеней использовалась белая хлопчатобумажная ткань (бязь) размерами 100×150 см, натянутая на деревянную рамку или закрепленная на древесно-стружечном щите. Расстояние между мишенью и преградой составля-

ло 100 см, что примерно соответствовало расстоянию от лобового стекла автомобиля до водителя и пассажира переднего сидения. Исследованию подвергались кусочки ткани мишени диаметром до 80 мм, полученные в области края входного повреждения.

Исследования проводились с помощью СЭМ Hitachi FlexSem1000 II (Япония) и энергодисперсионного рентгеновского спектрометра Bruker Quantax 80 (США). Сканирование производилось в режиме низкого вакуума (VP-SEM 30 Pa). Применялось увеличение от 45 до 2500. Ускоряющее напряжение — 15 кВ, величина силы поглощенного тока — 600–800 пА, рабочая дистанция — 8,4–14 мм. Набор спектра осуществлялся в автоматическом режиме до получения статистически достоверного результата (1 миллион импульсов). Для увеличения доли элементов, входящих в продукты выстрела, при EDS-анализе применена оценка массовых процентов, углерод исключен из анализа (как основной элемент, из которого состоит бязевая мишень). При исследовании производились визуальная оценка морфологии частиц огнестрельных снарядов и преграды, изучение их химического состава и картирование элементов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате проведенного исследования на поверхности мишени установлено наличие 7 видов инородных тел, которые являются продуктами разрушения огнестрельного снаряда и преграды: отломки стекла; осколки стекла; крошковидное отложение частиц стекла; осколки стекла, спекшиеся с металлом снаряда; фрагменты снаряда; сферические частицы металла; наложения расплавленного металла в виде луж. Морфология, элементный состав и топография распределения элементов представлены ниже. При EDS-анализе определено, что в состав стекла входили кислород (O), кремний (Si), кальций (Ca) и натрий (Na).

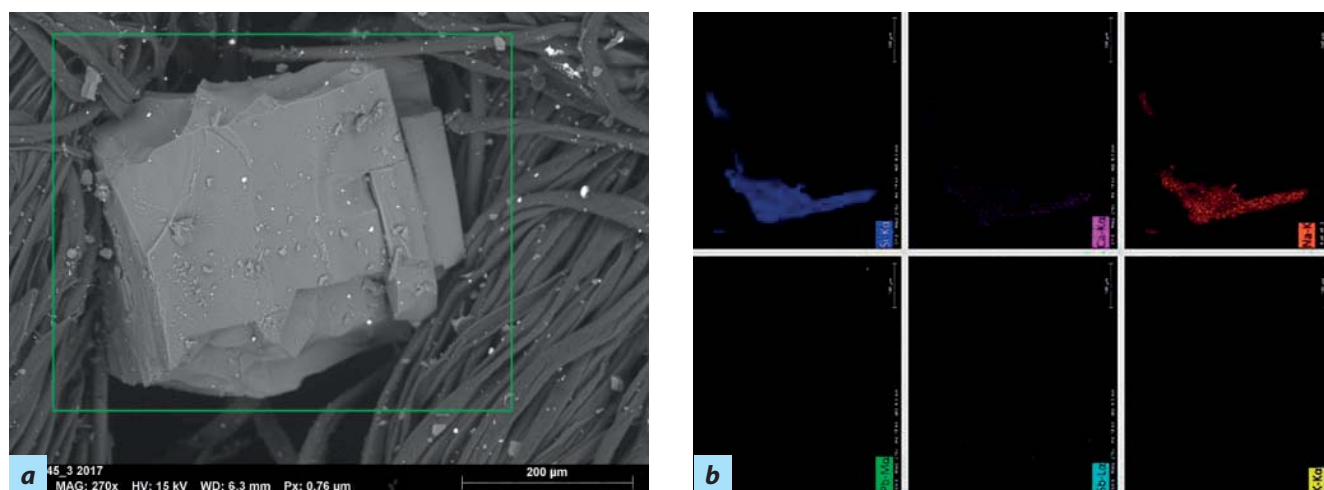


Рис. 1. Крупный отломок стекла: а — электронограмма; б — картирование химических элементов: кремния (Si), кальция (Ca), натрия (Na), свинца (Pb), сурьмы (Sb) и калия (Ka).

Fig. 1. A large fragment of glass: a — electronogram; b — mapping of the chemical elements: silicon (Si), calcium (Ca), sodium (Na), plumbum (Pb), antimony (Sb) and potassium (Ka).

Отломки стекла располагались снизу от центрального отверстия (огнестрельного повреждения). Отломки имели форму, приближающуюся к параллелограмму. Все частицы представляли собой один слой стекла (разделительной пленки и второго слоя стекла триплекса не наблюдали). Отломки стекла имели террасовидные уступы, размеры частиц колебались в значительном диапазоне — от 66 до 374 мкм. На поверхности отломка регистрировались следовые пылевидные наложения сурьмы (рис. 1).

Осколки стекла располагались по периферии центрального отверстия. Частицы имели треугольную или трапециевидную форму на поперечном сечении. Все осколки имели острые углы, размеры частиц колебались в значительном диапазоне — от 10 до 65 мкм. На поверхности осколка регистрировались следовые пылевидные наложения сурьмы (рис. 2).

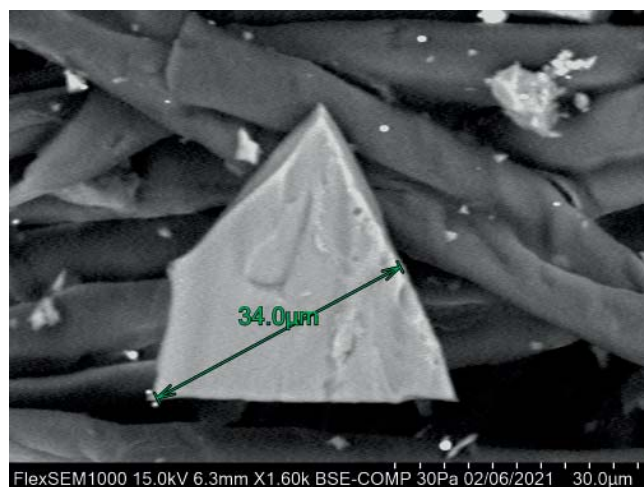


Рис. 2. Электронограмма осколка стекла.

Fig. 2. Electronogram of a glass fragment.

Крошковидное отложение частиц стекла. Группы частиц располагались по периферии центрального отверстия в виде круга, центр которого наполовину был смещен вниз относительно центрального отверстия. Форма частиц значительно варьировала, но имела тенденцию к параллелограмму или тетраэдру. Среди крошкovidного отложения частиц стекла обнаруживались осколки стекла. Частицы лежали плотными группами, размер их значительно варьировал — от 1 до 9 мкм (рис. 3). Среди частиц стекла обнаруживались частицы металлов — свинца и сурьмы.

Осколки стекла, спекшиеся с металлом снаряда, выделены в отдельную группу исходя из высокоспецифичной морфологии и топографии расположения — на незначительном расстоянии от центрального отверстия. Осколки имели наложения свинца со всех сторон, свинец в виде потеков и затеков покрывал поверхность стекла, четко ассоциируясь с расположением густой жидкости на несмачиваемой поверхности. Сурьма равномерно диффузно покрывала поверхность стекла (рис. 4).

Фрагменты снаряда представляли собой его частицы, образовавшиеся в результате разрушения при встрече с преградой. Очевидно, обнаруженные фрагменты являлись задней частью снаряда, поскольку головка пули при ударе о преграду расплавлялась (рис. 5). При исследовании фрагментов снарядов изолированно медная оболочка не выявлена ни в одном наблюдении. По нашему мнению, это связано с тем, что частицы оболочки отбрасываются ударной волной, образующейся при поражении преграды, и остаются на ней (это обнаруженное явление будет одной из целей наших дальнейших изысканий). Кроме того, на фрагменте снаряда обнаруживались привнесения от преграды (стекла).

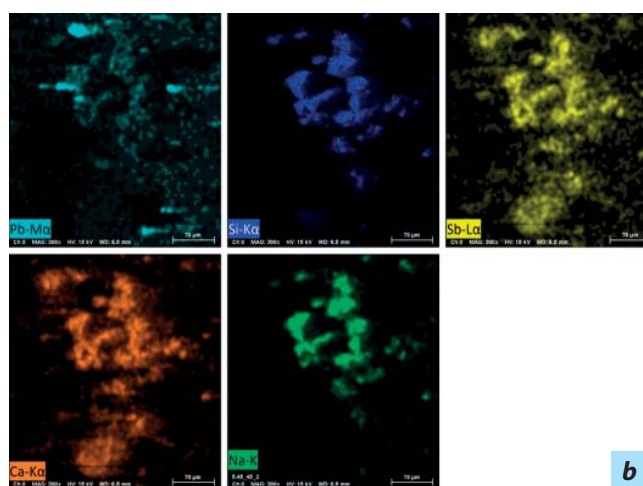
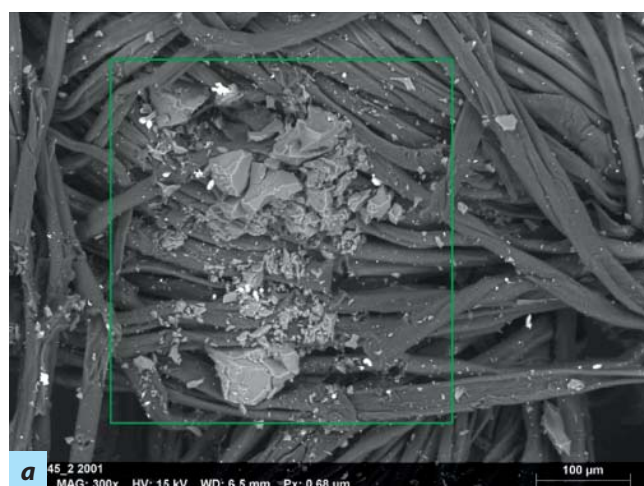


Рис. 3. Крошковидные частицы стекла: а — электронограмма; б — картирование химических элементов: кремния (Si), кальция (Ca), натрия (Na), свинца (Pb), сурьмы (Sb) и калия (Ka).

Fig. 3. Tiny glass particles: a — electronogram; b — mapping of the chemical elements: silicon (Si), calcium (Ca), sodium (Na), plumbum (Pb), antimony (Sb) and potassium (Ka).

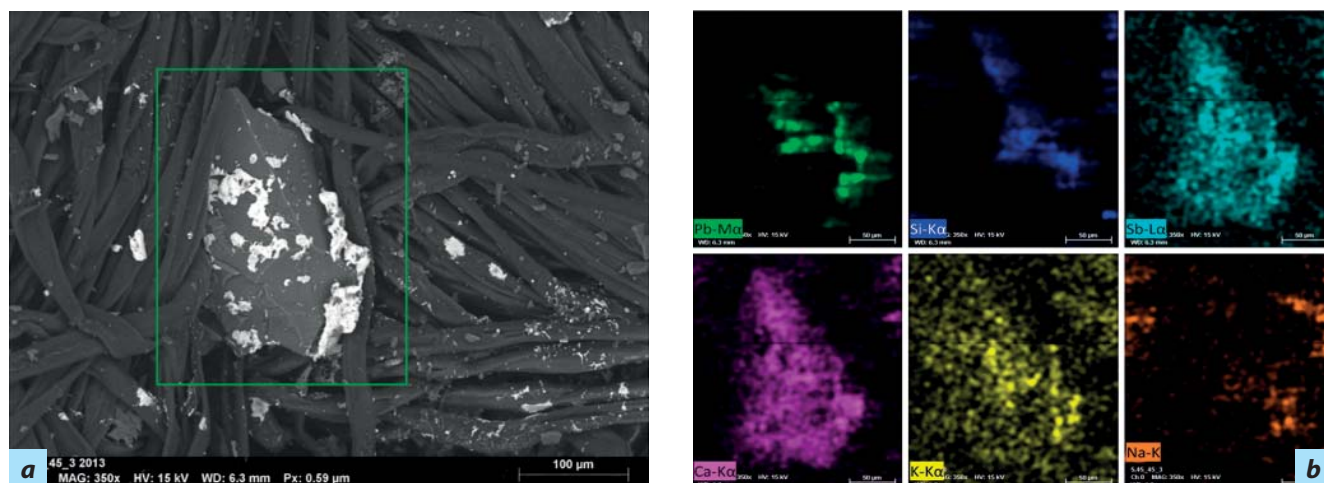


Рис. 4. Осколок стекла, спекшийся с металлом снаряда: *a* — электронограмма; *b* — картирование химических элементов: кремния (Si), кальция (Ca), натрия (Na), свинца (Pb), сурьмы (Sb) и калия (Ka).

Fig. 4. A fragment of glass caked with the projectile metal: *a* — electronogram; *b* — mapping of the chemical elements: silicon (Si), calcium (Ca), sodium (Na), plumbum (Pb), antimony (Sb) and potassium (Ka).

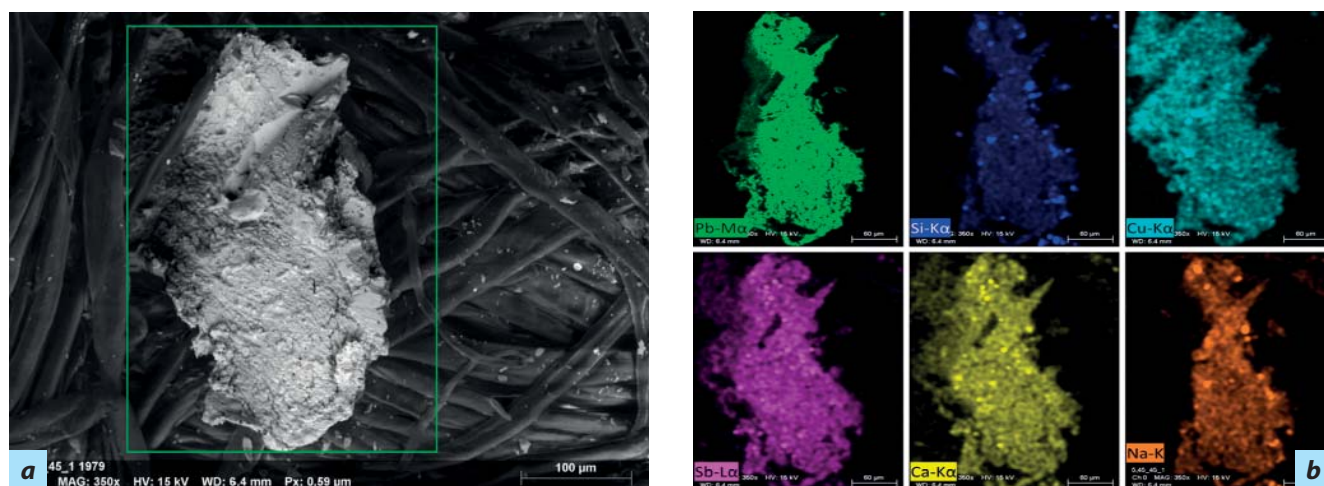


Рис. 5. Фрагмент металла: *a* — электронограмма; *b* — картирование химических элементов: кремния (Si), кальция (Ca), натрия (Na), свинца (Pb), сурьмы (Sb) и калия (Ka).

Fig. 5. Metal fragment: *a* — electronogram; *b* — mapping of the chemical elements: silicon (Si), calcium (Ca), sodium (Na), plumbum (Pb), antimony (Sb) and potassium (Ka).

Сферические частицы металла и наложения расплавленного металла в виде луж имеют один источник — это расплавленная головная часть снаряда. Крупные капли расплавленного металла располагались вблизи центрального отверстия (рис. 6), сферические — по всей поверхности мишени (рис. 7). Размер сферических частиц находился в пределах 10–20 мкм, крупных частиц — до 150 мкм. Полагаем, что сферические частицы формируются как непосредственно в процессе взаимодействия снаряда с преградой, так и носят вторичный характер, разбрызгиваясь при соударении больших расплавленных частиц металла с мишенью. На всех частицах при EDS-анализе установлено наличие привнесений материала преграды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного экспериментального исследования установлено, что применение СЭМ и EDS анализа значительно повышает эффективность и доказательность экспертных исследований при решении вопросов причинения повреждений через преграду — ветровое стекло современных автомобилей.

Установлено, что при выстрелах из карабина охотничьего «Сайга» патронами 5,45×39 в результате взаимодействия огнестрельного снаряда и преграды происходит разрушение как полуболобочечной пули, так и преграды (триплексного стекла автомобиля). При этом на поверхности мишени выявлены семь групп видов инородных тел, достоверно свидетельствующих

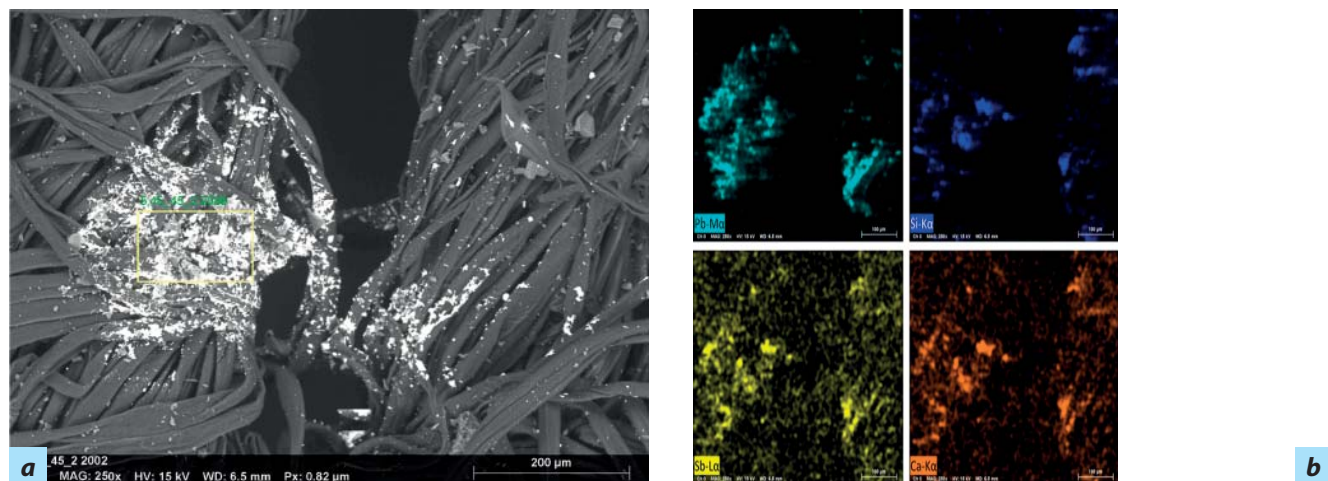


Рис. 6. Наложения расплавленного металла: *a* — электронограмма; *b* — картирование химических элементов: кремния (Si), кальция (Ca), натрия (Na), свинца (Pb), сурьмы (Sb) и калия (Ka).

Fig. 6. Overlays of molten metal: *a* — electronogram; *b* — mapping of the chemical elements: silicon (Si), calcium (Ca), sodium (Na), plumbum (Pb), antimony (Sb) and potassium (Ka).

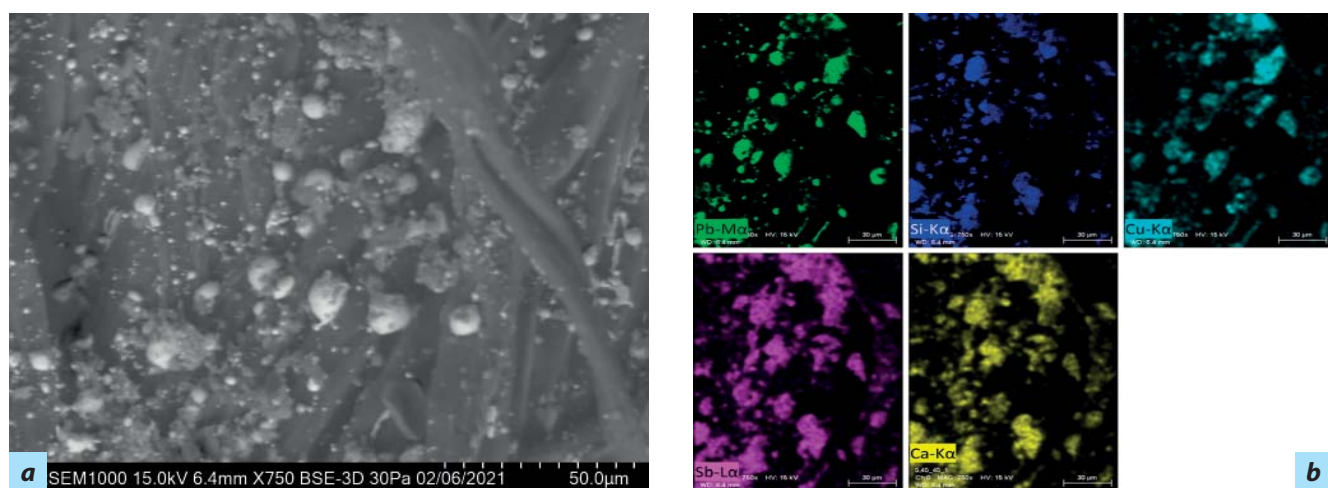


Рис. 7. Сферические частицы металла снаряда: *a* — электронограмма; *b* — картирование химических элементов: кремния (Si), кальция (Ca), натрия (Na), свинца (Pb), сурьмы (Sb) и калия (Ka).

Fig. 7. Spherical metal particles of the projectile: *a* — electronogram; *b* — mapping of the chemical elements: silicon (Si), calcium (Ca), sodium (Na), plumbum (Pb), antimony (Sb) and potassium (Ka).

как о выстреле через преграду, так и о свойствах указанной преграды. Применение традиционных методов исследования огнестрельных повреждений (световая микроскопия, контактно-диффузионный метод, исследование в поляризованном свете) не позволило обнаружить большинство из выявленных посредством СЭМ и EDS анализа фрагментов огнестрельного снаряда и преграды.

Очевидно, что различный химический состав, плотность, дисперсность частиц будут формировать своеобразную топографию их распределения на мишени. Установление особенностей и закономерностей указанных факторов огнестрельных повреждений является целью наших дальнейших исследований.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов • Authors' contributions

С.В. Леонов, М.А. Сухарева, Ю.П. Шакирьянова — сбор данных; **М.А. Сухарева** — написание черновика рукописи; **П.В. Пинчук** — научная редакция рукописи. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

S.V. Leonov, M.A. Sukhareva, J.P. Shakiryanova — data collection; **M.A. Sukhareva** — draft ig of the manuscript; **P.V. Pinchuk** — critical revision of the manuscript for important intellectual content. Authors made a substantial

contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Источник финансирования • Funding source

Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

This study was not supported by any external sources of funding.

Конфликт интересов • Competing interests

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

The authors declare that they have no competing interests.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федоренко В.А., Переверзев М.М. Особенности установления места выстрела при пробивании снарядом некоторых прозрачных материалов // Эксперт-криминалист. 2007. № 3. С. 10–14.
2. Пинчук П.В., Шакирьянова Ю.П., Леонов С.В., Верескунов А.М. Особенности морфологии и механизма образования входных огнестрельных повреждений при прилежании к ним твердой преграды // Военно-медицинский журнал. 2019. Т. 340, № 6. С. 28–32.
3. Knoll M., Ruska E. Das elektronenmikroskop // Zeitschrift für Physik A Hadrons and Nuclei. 1932. Vol. 78, N 5–6. P. 318–339. doi: 10.1007/BF01342199
4. Von Ardenne M. Das elektronen-rastermikroskop // Zeitschrift für Physik A Hadrons and Nuclei. 1938. Vol. 108, N 9–10. P. 553–572. doi: 10.1007/BF01341584
5. Гоулдстейн Дж., Ньюбери Д., Эчлин П., и др. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ. Москва: Мир, 1984. 303 с.

REFERENCES

1. Fedorenko VA, Pereverzev MM. Features of establishing the place of the shot when the projectile penetrates some transparent materials. *Expert criminalist*. 2007;(3):10–14. (In Russ).
2. Pinchuk PV, Shakiryanova JP, Leonov SV, Vereskunov AM. Features of the morphology and mechanism of formation of output gunshot injuries with the diligence to them of a solid barrier. *Military Medical Journal*. 2019;340(6):28–32. (In Russ).
3. Knoll M, Ruska E. Das elektronenmikroskop. *Zeitschrift für Physik A Hadrons and Nuclei*. 1932;78(5-6):318–339. doi: 10.1007/BF01342199
4. Von Ardenne M. Das elektronen-rastermikroskop. *Zeitschrift für Physik A Hadrons and Nuclei*. 1938;108(9-10):553–572. doi: 10.1007/BF01341584
5. Gouldstejn Dzh, N'yuberi D, Echlin P, et al. Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. Moscow: Mir; 1984. 303 p. (In Russ).

ОБ АВТОРАХ

* **ЛЕОНОВ Сергей Валерьевич**, д.м.н., профессор; адрес: Российская Федерация, 105094, Москва, Госпитальная площадь, д. 3; e-mail: sleonoff@inbox.ru; eLibrary SPIN: 2326-2920; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4228-8973>
ПИНЧУК Павел Васильевич, д.м.н., доцент, профессор; e-mail: pinchuk1967@mail.ru; eLibrary SPIN: 7357-3038; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0223-2433>
СУХАРЕВА Марина Анатольевна, к.м.н.; e-mail: ma-suha@yandex.ru; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3422-6043>
ШАКИРЬЯНОВА Юлия Павловна, к.м.н., доцент; e-mail: tristeza_ul@mail.ru; eLibrary SPIN: 1429-6230; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1099-5561>

AUTHOR'S INFO

* **Sergey V. Leonov**, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor; address: 3 Hospitalnaya Square, Moscow, 105094, Russia; e-mail: sleonoff@inbox.ru; eLibrary SPIN: 2326-2920; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4228-8973>
Pavel V. Pinchuk, MD, Dr. Sci. (Med.), Assistant Professor, Professor; e-mail: pinchuk1967@mail.ru; eLibrary SPIN: 7357-3038; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0223-2433>
Marina A. Suhareva, MD, Cand. Sci. (Med.); e-mail: ma-suha@yandex.ru; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3422-6043>
Juliya P. Shakiryanova, MD, Cand. Sci. (Med.), Assistant Professor; e-mail: tristeza_ul@mail.ru; eLibrary SPIN: 1429-6230; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1099-5561>