

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра материаловедения, технологии  
и управления качеством

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО  
ФОРМИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СЛЕДОВ НА ВЫСТРЕЛЕННЫХ  
ПУЛЯХ**

**АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ**

магистранта 2 курса 208 группы  
направления 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»  
профиль «Криминалистическое материаловедение»  
факультета nano- и биомедицинских технологий

Пруцкова Антона Дмитриевича

Научный руководитель  
доцент, к.ф.-м.н., доцент

\_\_\_\_\_  
должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

В.А. Федоренко

\_\_\_\_\_  
инициалы, фамилия

Зав. кафедрой  
профессор, д.ф.-м.н.

\_\_\_\_\_  
должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

С.Б. Вениг

\_\_\_\_\_  
инициалы, фамилия

Саратов 2019

**Введение.** Идентификация оружия по следам на выстреленных пулях и стреляных гильзах является сложной экспертной задачей, решение которой осложняется рядом негативных факторов. Кроме того, в судебной баллистике отсутствуют какие-либо количественные критерии оценки уникальности самих комплексов признаков, отобразившихся в следах.

В нарезном оружии пуля проходит через канал ствола, плотно прилегая к его стенкам. За счет этого на ее оболочке образуются следы рельефа стенок канала ствола. В этих следах при исследовании можно обнаружить поля нарезов и сами нарезы, другие мелкие неровности. Так как количество, направление, крутизна и ширина нарезов у разных моделей оружия обычно различны, то по следам на пуле в сочетании с данными о калибре, форме, материале пули есть возможность определить, из какой модели оружия была выстрелена данная пуля.

По следам на пуле возможна и идентификация, т. е. установление, что пуля выстрелена именно из данного оружия, так как на ней, помимо нарезов и полей, отображаются и мелкие особенности рельефа стенок канала ствола, которые присущи данному экземпляру ствола.

В современном мире наиболее актуальной проблемой является идентификация оружия с помощью автоматизированных баллистических идентификационных систем (АБИС). Точность, алгоритмы сканирования постоянно совершенствуются. С появлением более современных технологий появляются возможности сканирования более мелких трасс, чем раньше. Построение 3D с возможностью точно измерить глубину и ширину трас.

Цели выпускной квалификационной работы:

- исследование структуры трасс динамических следов на пулях, выстреленных из нарезного оружия;
- оценка физического предела по ширине устойчивых трасс в совпадающих следах на выстреленных пулях;

- исследование воздействия пороховых газов при их прорыве в канале ствола.

На основе поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- обзор научно-технической литературы;
- провести исследование следов на выстреленных пулях с помощью растровой электронной микроскопии;
- провести исследование воздействия пороховых газов с помощью РЭМ;
- провести исследование профилей трасс вторичных следов на оболочечных пулях с помощью конфокального микроскопа.

### Основное содержание работы

**Формирование динамических следов на пулях, выстреленных из нарезного канала ствола.** Образование следов на пуле в момент выстрела непосредственно связано с особенностями ее движения по каналу ствола (рисунок 1).

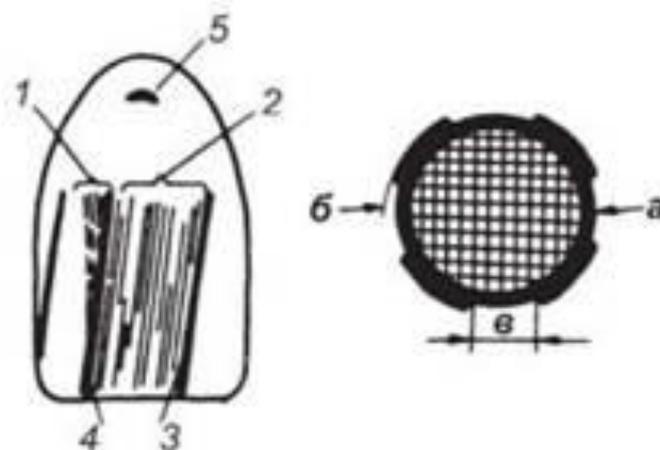


Рисунок 1 – Следы на пуле, выстрелянной из нарезного оружия: а – дно следа поля нареза; б – глубина следа поля нареза; в – ширина следа поля нареза; 1 – первичные следы; 2 – поля нареза (вторичные следы); 3 – боевой грани нареза; 4 – холостой грани нареза

Характер движения пули по каналу ствола определяется соотношением следующих основных сил (рисунок 2):

- давления пороховых газов на дно пули;
- реакции боевых граней нарезов;
- трения о поверхность канала ствола.

В свою очередь сила реакции и сила трения зависят от сил деформации, возникающих при сжатии пули [1].

В зависимости от характера движения пули по каналу ствола можно выделить три этапа:

- поступательное движение;
- переход от поступательного к поступательно-вращательному;
- поступательно-вращательное движение.

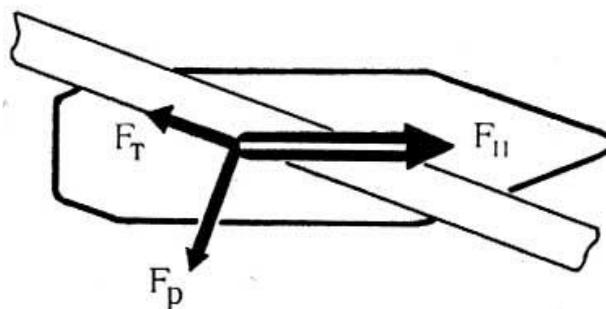


Рисунок 2 – Силы, действующие на пулю при движении по нарезному каналу ствола

При возрастании давления пороховых газов внутри гильзы пуля начинает отделяться от нее и двигаться поступательно вперед по каналу ствола, форсируя поля нарезов. Длина, на которой пуля совершает только поступательное движение, зависит от многих факторов, в частности, от степени изношенности канала ствола, его состояния и состояния патрона [2].

**Признаки канала ствола нарезного оружия, отображающиеся в следах на пулях.** Групповые признаки канала ствола, отображающиеся в следах на пулях, можно разделить на признаки устройства канала ствола и

признаки, отражающие его состояние и износ. Рассмотрим отображение этих признаков в следах на выстреленных пулях.

Отображение признаков устройства канала ствола:

— направление нарезки отображается в соответствующем наклоне вторичных следов. При правой нарезке вторичные следы от полей нарезков, наклонены вправо, при левой - влево;

— угол наклона нарезков равен углу между следом боевой или холостой грани и продольной осью пули;

— количество нарезков равно числу следов от полей нарезков или их боевых граней. При срыве пули с нарезков при раздутии ствола или его сильном износе следы от полей могут удваиваться;

— ширина полей нарезков равна или несколько меньше кратчайшего расстояния между следами от боевой и холостой грани;

— калибр ствола приблизительно равен диаметру пули, измеренному по противоположным следам полей нарезков;

— газоотводное отверстие в канале ствола может отображаться в наличии на пуле четко выраженной группы трасс, параллельных вторичным следам, и окопчения в месте окончания этих трасс на хвостовой части [3,4].

#### **Физико-химические процессы при образовании продуктов выстрела.**

Выстрелом из огнестрельного оружия, в целом, является процесс выброса снаряда из канала ствола оружия за счет энергии пороховых газов, образующихся при сжигании заряда пороха .

В качестве средства воспламенения в боеприпасах к огнестрельному оружию используются ударные воспламенители, электрические воспламенители или низкокалорийные источники огня. Далее будут рассматриваться ударные воспламенители [5].

Пороховой заряд винтовочного патрона весом 3,25 г при выстреле сгорает примерно за 0,0012 с. При сгорании заряда выделяется около 3 калорий тепла и образуется около 3 л газов, температура которых в момент выстрела равна 2400-2900°C. Газы, будучи сильно нагретыми, оказывают высокое

давление (до 2900 кг/см<sup>2</sup>) и выбрасывают пулю из ствола со скоростью свыше 800 м/с. Общий объем раскаленных пороховых газов от сгорания порохового заряда винтовочного патрона примерно в 1200 раз больше по объему, чем было пороха до выстрела [6].

**Химический и элементный состав продуктов выстрела.** Элементарный состав частиц продуктов выстрела определяется главным образом композицией капсюльного состава. В частицах продуктов выстрела были обнаружены все элементы, которые являются частью различных компонентов капсюльной смеси – элементы инициирующего вещества, сенсibilизатора, горючего, окислителя, стабилизатора и другое. Однако, из-за высокой динамики процессов, происходящих в боеприпасе и стволе оружия в процессе выстрела, состав отдельных частиц варьируется в широких пределах, и по композиции малого количества частиц бывает проблематично установить состав конкретной капсюльной смеси.

**Исследования следов на выстреленных пулях с помощью растровой электронной микроскопии.** Для исследования структуры трасс и их устойчивости были проведены экспериментальные исследования следов с помощью автоматизированной баллистической идентификационной системы (АБИС) “POISC” и растрового электронного микроскопа (РЭМ). Для этого были отобраны пули с характерными вторичными следами. Следы помечены, отсканированы на АБИС и на РЭМ.

Высокое разрешение сканирующей системы ведет к проблеме совмещения совпадающих трасс шириной менее 1 мкм. Однако проблема совмещения трасс обусловлена не только физической вариативностью следов, но и другими негативными факторами. К ним можно отнести деформации поверхности исследуемых пуль. Например, набег длины поверхности одной пули по сравнению со второй анализируемой на 1 мкм на расстоянии 200 мкм приведет к несовмещению ранее совпадающих трасс шириной 1 мкм и менее. При этом область совмещения (пересечения) трасс шириной 5 мкм изменится всего на 20 % и они по-прежнему могут считаться совпадающими.

**Исследование воздействия пороховых газов с помощью РЭМ.** При исследовании следов на выстреленных пулях с помощью АБИС POISC было обнаружено достаточно стабильное по нарезам агрессивное действие пороховых газов на томпаковое покрытие вдоль следа холостой грани.

Наиболее сильное воздействие наблюдается в самой нижней части пули, в верхней части первичного следа воздействие газов проявилось незначительно. Таким образом, максимальное действие газов наблюдается на расстоянии до 1 мм от дна пули. Диапазон высот на рисунке 3 снизу вверх: 3) - 0.2-0.6 мм; 2) - 1.0-1.25 мм; 1) - 5-5.3 мм.

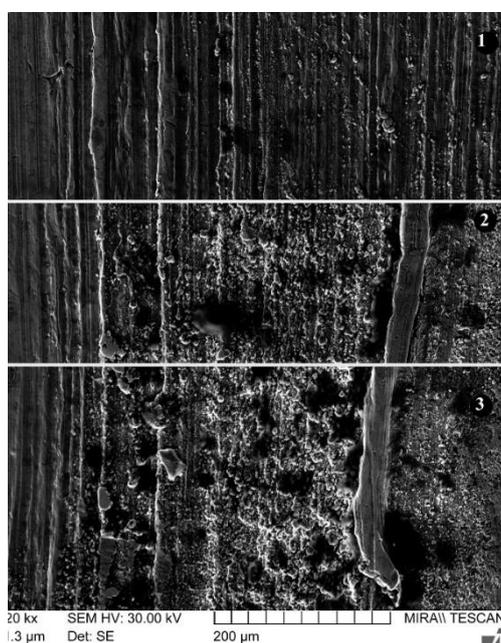


Рисунок 3 – Вспучивание томпака под действием прорыва пороховых газов на поверхности пули, выстреленной из пистолета Макарова: 1 –верхняя часть первичного следа; 2 – средняя часть этого же следа, 3 – нижняя часть этого же следа

Анализ на растровом электронном микроскопе элементного состава поверхности выстреленных пуль, покрытых томпаком и подверженных воздействию пороховых газов, показал следующее. Области прорыва пороховых газов характеризуются рыхлением томпакового покрытия, в котором содержатся в достаточно высоком количестве элементы капсульного состава, такие, как сурьма (горючее), сера (горючее), хлор (инициирующее), олово (защитная фольга колпачка капсуля), которые практически не

встречаются на других гладких участках поверхности пуль. Исследуемые пули были отстреляны 12-15 лет назад и подвергались нескольким чисткам в спирте и ацетоне. Несмотря на это в области прорыва пороховых газов удается надежно обнаружить продукты сгорания капсюльного состава. Некоторое количество элементов капсюльного состава с гораздо меньшей концентрацией удалось обнаружить в области трасс во вторичных следах.

В таблице 1 приведены элементы, представленные в данных областях. Видно, что на гладкой поверхности не подверженной агрессивному воздействию пороховых газов отсутствуют элементы капсюльного состава [8].

Таблица 1 – Элементы, представленные в данных областях

Спектр	В стат.	C	O	S	Cl	Ca	Fe	Cu	Zn	Sn	Sb	Pb	Итог
1	Да	26.18	14.30	1.15	0.87	0.36	0.31	44.57	2.91	2.81	2.95	3.58	100.00
2	Да	14.40	4.38	0.33			0.71	74.36	5.82				100.00

В отдельных случаях по ярко выраженным следам прорыва пороховых газов удалось определить совпадающие следы на развертках пуль, выстреленных из 1 экземпляра оружия.

**Исследование профилей трасс вторичных следов на оболочечных пулях с помощью РЭМ.** Совершенствование и модернизация программно-технических средств различных систем АБИС позволило расширить круг задач и вопросов экспертизы. Наиболее актуальной проблемой является построение 3D моделей пуль, с возможностью получения размерных данных о глубине и широте трасс. Системы АБИС, такие, как «POISC», принцип работы которых основан на покадровой фокусировке и дальнейшей сшивке кадров, не позволяет сделать этого. Для оценки возможности реконструкции профилей трасс по двумерным изображениям была предпринята попытка изучения рельефа трасс с помощью РЭМ.

Было проведено исследование профилей трасс вторичных следов на оболочечных пулях. Для этого были отобраны пули, выстреленные из пистолета Макарова с ярко выраженными трассами во вторичных и первичных следах.

Затем пули деформировались таким образом, чтобы получился перегиб исследуемых следов в донной части. Это необходимо для того, чтобы электронный луч не проходил рядом с металлическим корпусом пули и не искажался.

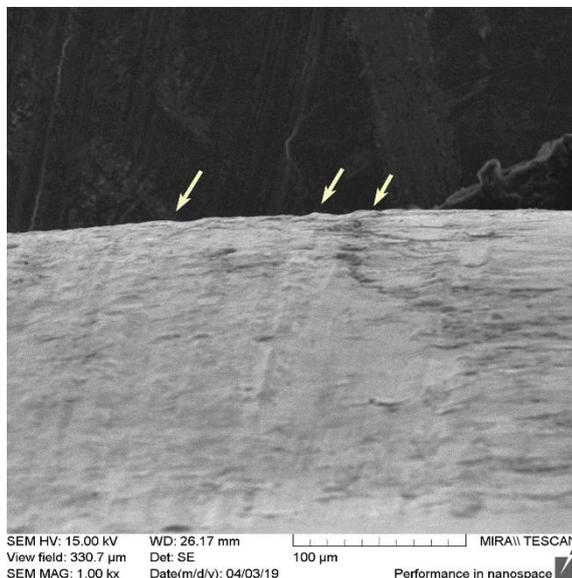


Рисунок 4 – Профили трасс вторичного следа на оболочной пуле, выстреленной из пистолета Макарова

На рисунке 4 виден профиль вторичного следа при 1000 кратном увеличении. Бороздки трасс хорошо просматриваются и обозначены светлыми стрелками.

Как было показано выше, при выстреле в канале ствола образуется химически агрессивная среда, которая в совокупности с высокой температурой и высоким давлением, не позволяет формироваться валикам трасс в виде остrokонечных гребней. Это ведет к формированию на поверхности выстреленных пуль динамических следов с достаточно сглаженными гребнями трасс [9,10].

**Исследование профилей трасс вторичных следов на оболочечных пулях с помощью конфокального микроскопа.** В исследовании использовался лазерный конфокальный сканирующий микроскоп Leica TCS SP5. Leica позволяет визуализировать пространственную структуру живого и фиксированного материала на глубину до 200 мкм [11].

Были отобраны пули, выстреленные из пистолета Макарова с ярко выраженными трассами во вторичных и первичных следах.

С помощью программы Gwyddion (рисунок 5), была произведена обработка данного массива изображений. Изображение было выравнено с учетом радиуса кривизны с помощью функции «Выравнивание основания». Далее была произведена калибровка данных с помощью функции «Размеры и единицы измерения». К полученному изображению был применен фильтр Гаусса с размером маски 3x3 пикселя.

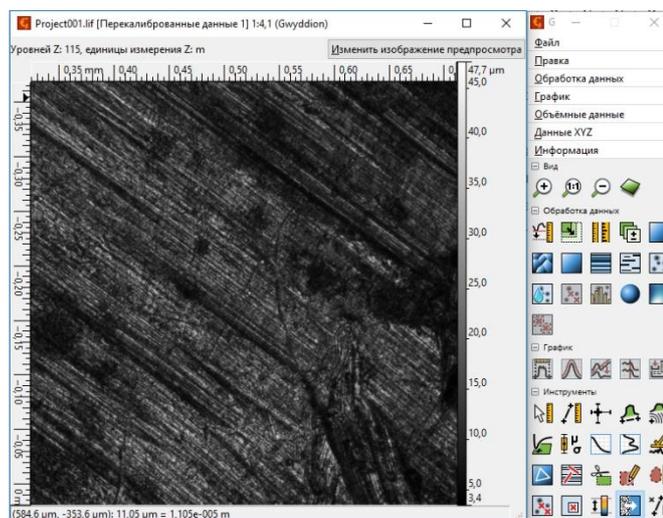


Рисунок 5 – Рабочая область программы Gwyddion

Далее с помощью функции «Извлечь профили вдоль произвольных линий» получили данные выбранного профиля. По этим данным построили график глубины и ширины выделенного профиля (рисунок 6).

С помощью конфокального микроскопа, можно еще раз убедиться в том, что при выстреле на оболочной пуле формируется трассы с сильно сглаженным рельефом.

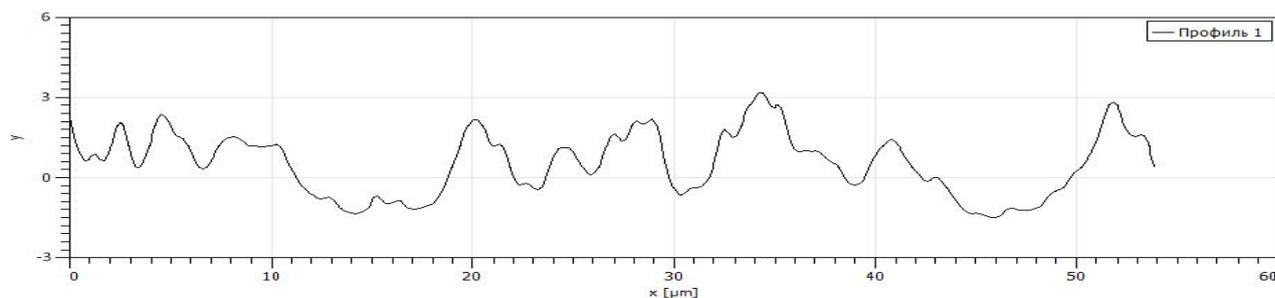


Рисунок 6 – График глубины и ширины выделенного профиля

Таким образом, применение конфокальной микроскопии подтвердило факт пологости скатов трасс, зависимость высоты гребней (валиков) трасс от их ширины. Это позволяет обосновать возможность 3-мерного моделирования изображений трасс по их первоначальным 2-мерным изображениям.

**Заключение.** Проведенные исследования показали следующее:

- в канале ствола при выстреле создается химически агрессивная среда, которая в совокупности с высокой температурой и высоким давлением, не позволяет формироваться валикам трасс в виде остроконечных гребней. Это приводит к формированию сильно сглаженного рельефа;

- определен физический «предел» по ширине устойчивых трасс на выстреленных пулях, который равен 250-350 нм;

- выявлены достоинства и недостатки сравнения изображений следов высокого разрешения (порядка 0.5 мкм);

- предложен метод покадровой компенсации искажений, возникающих из-за неидеальности условий сканирования пуль с высоким разрешением;

- выявлено действие пороховых газов на томпаковое покрытие пули и устойчивость данного воздействия;

- применение конфокальной микроскопии подтвердило факт пологости скатов трасс, зависимость высоты гребней (валиков) трасс от их ширины. Это позволяет обосновать возможность 3-мерного моделирования изображений трасс по их первоначальным 2-мерным изображениям.

#### **Список использованных источников**

1 Следы на выстреленных пулях и механизм их образования [Электронный ресурс] // ЭКЦ при УВД СЗАО г. Москвы [Электронный ресурс]: [сайт]. - URL: <http://eko-czao.narod.ru/ball/osnov/001/metodik-14.htm> (дата обращения: 07.05.2019). - Загл. с экрана. - Яз. рус.

2 Стальмахов, А.В. Следы на пулях, выстреленных из огнестрельного оружия с полигональным стволом / А. В. Стальмахов, В. А. Федоренко, В. С. Гуляев, М. Л. Дмитроца. - Судебная экспертиза №4 – С.: СГУ, 2005. – 38 с.

3 Криминалистика [Электронный ресурс] // Studme.org [Электронный ресурс] : [сайт]. - URL: <https://studme.org/> (дата обращения: 17.06.2018). - Загл. с экрана. - Яз. рус.

4 Аванесов, В. Г. Проблемы идентификации огнестрельного оружия / В. Г. Аванесов // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Серия Экономика. Управление. Право. - 2012. - Т. 12, № 3. - С. 35-70.

5 Панченков, Е.Ю. Трасологическая экспертиза: учебно-методический комплекс для сотрудников экспертно-криминалистических подразделений / Е. Ю. Панченков, Е. А. Хорольская, В. В. Петров – Хабаровск: ИПМ, 2015. - 67 с.

6 Россинская, Е. Р. Криминалистическое следование: курс лекций по криминалистике для слушателей следственного факультета / Е. Р. Россинская – М.: Инфра-М, 1994. - 3 с.

7 Выстрел. Взрыв [Электронный ресурс] // Энциклопедия стрелкового оружия [Электронный ресурс] : [сайт]. - URL: <http://shooting-iron.ru/publ/16-1-0-185> (дата обращения: 29.05.2019). - Загл. с экрана. - Яз. рус.

8 Аверьянова, Т.В. Судебная экспертиза. Курс общей теории/ Т.В. Аверьянова, – М.: Юридическое издательство Норма, 2006. - 272 с.

9 Общие сведения о внутренней баллистике [Электронный ресурс] // УВЦ ННГУ им. Н.И. Лобачевского [Электронный ресурс] : [сайт]. - URL: <http://www.ivo.unn.ru/ovp/3.4.htm> (дата обращения: 29.05.2019). - Загл. с экрана. - Яз. рус.

10 Конфокальная микроскопия [Электронный ресурс] // НТ-МДТ Спектрум Инструментс [Электронный ресурс] : [сайт]. - URL: <https://www.ntmdt-si.ru/resources/spm-theory/theoretical-background-of-spm/3-scanning-optical-microscopy/32-confocal-microscopy> (дата обращения: 25.05.2019). - Загл. с экрана. - Яз. рус.

11 Лазерный конфокальный сканирующий микроскоп Leica TCS SP5 [Электронный ресурс] // Научный парк СПбГУ [Электронный ресурс] : [сайт]. - URL: <http://researchpark.spbu.ru/equipment-biomed-rus/136-equipment-rmkt->

opticheskaya-mikroskopiya/768-bio-sp5-rus (дата обращения: 25.05.2019). - Загл. с экрана. - Яз. рус.