

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Институт естественных и точных наук
Факультет «Химический»
Кафедра «Теоретическая и прикладная химия»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент, ст. науч. сотр., к.х.н.

_____ / Д.А. Жеребцов /

« ____ » _____ 2019 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой, д.х.н., проф.

_____ / О.К. Шарутина /

« ____ » _____ 2019 г.

Исследование возможности случайной имитации следов продуктов выстрела на производстве

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

ЮУрГУ – 04.03.01. 2019. 786. ВКР

Руководитель,

Начальник отдела ЭКЦ ГУ МВД
России по Челябинской области
подполковник полиции

_____ / А.А. Анучин /

« ____ » _____ 2019 г.

Руководитель, доцент, к.х.н.

_____ / Е.С. Ильиных /

« ____ » _____ 2019 г.

Автор

студент группы ЕТ – 431

_____ / А.В. Егоров /

« ____ » _____ 2019 г.

Нормоконтролер, доцент

_____ / О.Н. Груба /

« ____ » _____ 2019 г.

РЕФЕРАТ

Егоров А.В. Исследование возможности случайной имитации следов продуктов выстрела на производстве – Челябинск: ЮУрГУ, ЕТ-431, 2019. – 52 с., 31 ил., 17 табл., библиогр. список – 22 наим., 5 прил.

Ключевые слова: следы продуктов выстрела, пороховой заряд, капсюльный состав, сканирующая электронная микроскопия, атомно-эмиссионный анализ.

Объектом исследования являются предполагаемые носители следов продуктов выстрела (смывы), взятые с рук и одежды лиц различной профессиональной деятельности.

Цель работы – провести сравнительный анализ следов продуктов выстрела и частиц, образованных в ходе производственных процессов, при помощи методов электронной сканирующей микроскопии и атомного эмиссионного спектрального анализа.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- проведен анализ отечественной и зарубежной литературы по проблеме исследования следов продуктов выстрела;
- проведен отбор проб (смывов) с рук и одежды лиц, имеющих отношение к оружию, и лиц, занимающихся производственной деятельностью;
- методом электронной сканирующей микроскопии определены морфологические характеристики частиц и их элементный состав;
- методом атомной эмиссионной спектроскопии определены качественный состав проб, провести полуколичественный анализ индивидуальных элементов в смывах;
- проведен сравнительный анализ следов продуктов выстрела с частицами, образованными в результате производственных процессов.

Область применения – полученные данные имеют практическую значимость для сотрудников Экспертно-криминалистических учреждений в решении различных криминалистических задач.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	
1.1 Общие сведения о следах продуктов выстрела.....	10
1.1.1 Продукты разложения капсюльных составов.....	10
1.1.2 Продукты горения пороховых зарядов.....	12
1.1.3 Продукты выстрела, происходящие от материала боеприпасов и конструкции ствола огнестрельного оружия.....	13
1.1.4 Классификация следов продуктов выстрела и их морфология.....	15
1.1.5 Возможность случайного загрязнения рук и одежды компонентами, входящими в состав продуктов выстрела.....	16
1.2 Общие методы исследования, применяемые для обнаружения следов продуктов выстрела.....	17
1.3 Методы исследования, используемые в работе.....	18
1.3.1 Электронная сканирующая (растровая) микроскопия.....	18
1.3.2 Атомно-эмиссионный спектральный анализ.....	21
2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	
2.1 Объекты исследования.....	25
2.2 Оборудование, инструменты и материалы.....	25
2.3 Ход эксперимента	26
2.3.1 Пробоотбор и пробоподготовка.....	27
2.3.2 Исследование следов продуктов выстрела на электронном растровом микроскопе JSM-7001F.....	28
2.3.3 Исследование следов продуктов выстрела на атомно-эмиссионном спектрометре ИСП-3.....	29
3 ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ.....	30
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	44
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	45
ABSTRACT.....	47
ПРИЛОЖЕНИЯ	
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Общая классификация порохов и твердых ракетных топлив.....	48
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Продукты выстрела, происходящие от материала боеприпасов и конструкции ствола огнестрельного оружия.....	49
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Изображения частиц, обнаруженных с помощью электронного растрового микроскопа, на руках и одежде человека, производившего серию выстрелов (стрелок).....	50
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Изображения частиц, обнаруженных с помощью электронного растрового микроскопа, на руках и одежде человека работающего с огнестрельным оружием (не стрелок).....	51

ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Изображения частиц, обнаруженных с помощью электронного растрового микроскопа, на руках и одежде научного сотрудника лаборатории «Элементоорганические соединения».....	52
--	----

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе развития экспертно-криминалистической деятельности проблема обнаружения и исследования следов продуктов выстрела не теряет своей актуальности. В большей мере это связано с незаконным оборотом огнестрельного оружия и боеприпасов, негативно влияющих на государственную и общественную безопасность Российской Федерации.

Количество преступлений, совершенных с использованием огнестрельного оружия на 2018 г., составило около 4,2 тыс., свыше 71 % выполненных судебных экспертиз, производимых в Экспертно-криминалистических подразделениях МВД РФ, способствовали выявлению и раскрытию данных преступлений.

Одним из косвенных доказательств причастности подозреваемого лица к совершенному преступлению является установление факта производства им выстрела. Данный факт можно установить исходя из наличия следов продуктов выстрела на руках и одежде стрелявшего. Результативность указанного вида экспертиз носит случайный характер (изменяется от 15 до 70 %), что обусловлено применением недостаточно чувствительных методов исследования, ошибками при отборе проб, неправильным хранением вещественных доказательств и другими факторами.

Чтобы исключить возможность неправильного представления результатов экспертизы, при исследовании следов продуктов выстрела следует применять комплекс методов: электронная микроскопия, атомно-эмиссионный спектральный, атомно-абсорбционный, рентгенофлуоресцентный и контактно-диффузионный анализы, газожидкостную и тонкослойную хроматографию.

«Традиционными» методами выявления следов продуктов выстрела на руках и одежде стрелявших лиц являются атомно-эмиссионный спектральный анализ и контактно-диффузионный метод, позволяющие обнаруживать комплекс металлов (сурьма, барий, олово, свинец, медь), входящих в состав продуктов выстрела.

В последнее время стала использоваться хромато-масс-спектрометрия, которая применяется для выявления следов дифениламина (основной компонент бездымного пороха).

Относительно новым методом можно назвать сканирующую электронную микроскопию, позволяющую определять элементный состав продуктов выстрела и исследовать морфологические характеристики микрочастиц.

Но даже столь широкая база методов не позволяет полностью исключить возникновение ошибок в экспертной практике, так как на основании результатов исследования полностью не оцениваются все признаки, позволяющие отнести обнаруженные следы к продуктам выстрела [1, 2].

В научной литературе отсутствуют достоверные и информативные данные по такому аспекту как фоновое содержание микрочастиц, состав которых подобен элементному составу продуктов выстрела, в производственной сфере. Под производственной сферой подразумевается совокупность предприятий

(заводов, фабрик, рудников, шахт и др.). Это послужило основанием для проведения исследования и осуществления модельного эксперимента в рамках выпускной квалификационной работы.

Целью данной выпускной квалификационной работы является проведение сравнительного анализа следов продуктов выстрела и частиц, образованных в ходе производственных процессов, при помощи методов электронной сканирующей микроскопии и атомного эмиссионного спектрального анализа.

Для достижения поставленной цели исследования необходимо решить следующие задачи:

1) провести анализ отечественной и зарубежной литературы по исследованию следов продуктов выстрела;

2) провести отбор проб (смывов) с рук и одежды лиц, имеющих отношение к оружию, и лиц, занимающихся производственной деятельностью;

3) методом электронной сканирующей микроскопии определить морфологические характеристики частиц и их элементный состав;

4) методом атомной эмиссионной спектроскопии определить качественный состав проб, провести полуколичественный анализ индивидуальных элементов в смывах;

5) провести сравнительный анализ следов продуктов выстрела с частицами, образованными в результате производственных процессов.

Научная новизна работы – проведение сравнительного анализа следов продуктов выстрела с частицами, образованными в ходе производственных процессов.

Практическая значимость – полученные данные могут применяться работниками правоохранительных органов в целях решения различных криминалистических задач.

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Общие сведения о следах продуктов выстрела

Под следами продуктов выстрела понимается многокомпонентная смесь веществ, образованная в результате выстрела – процесса выбрасывания снаряда из канала ствола огнестрельного оружия под действием давления разогретых газов, образующихся в результате сгорания порохового заряда.

Состав продуктов выстрела обычно представлен: продуктами разложения инициирующего состава капсюля-воспламенителя, остатками непрореагировавшего пороха и частицами материала снаряда, гильзы, ствола огнестрельного оружия [2].

1.1.1 Продукты разложения капсюльных составов

Патронные капсюли-воспламенители представляют собой многокомпонентные изделия, предназначенные для создания импульса в виде луча пламени для воспламенения метательных (пороховых зарядов) огнестрельного оружия.

В качестве средств воспламенения применяются капсюли ударного, терочного и электрического действия. В рамках данной выпускной квалификационной работы рассматриваются воспламенители только ударного действия (рисунок 1.1).

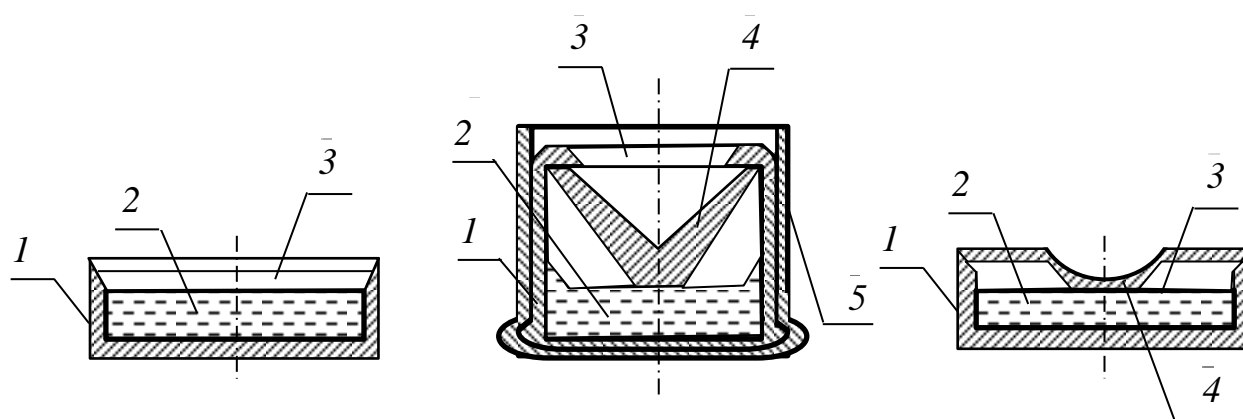


Рисунок 1.1 – Схема патронных ударных капсюлей-воспламенителей:
1 – оболочка (колпачок); 2 – ударно-воспламенительный состав; 3 – защитное покрытие; 4 – наковаленка; 5 – корпус капсюля

Основными элементами капсюля-воспламенителя являются:

1) Металлическая оболочка (колпачок) – служит корпусом для размещения воспламенительного состава. Она изготавливается из меди, латуни (Л-68) или железа. Толщина стенки оболочки составляет от 0,15 до 0,13 мм.

2) Ударно-воспламенительный состав – представляет собой многокомпонентную смесь, состоящую из инициирующего взрывчатого вещества, горючего,

окислителя, цементатора и добавок различного назначения (сенсibiliзатор, флегматизатор).

3) Защитное покрытие представляет собой кружочек оловянной фольги толщиной от 0,05 до 0,02 мм применяемый для герметизации капсульного состава и защиты его от случайных воздействий.

4) Наковаленка – конструктивная особенность ударных капсулей. Она позволяет разбить капсульный состав при ударе бойка оружия в дно оболочки.

5) Некоторые капсули имеют дополнительную защиту от внешних воздействий – металлический корпус, изготовленный из того же материала, что и оболочка, но большей толщины.

В качестве инициирующих взрывчатых веществ наиболее часто используются: гремучая ртуть (фульминат ртути) $\text{Hg}(\text{CNO})_2$, ТНРС (тринитрорезорцинат свинца или стифнат свинца) $\text{C}_6\text{H}(\text{NO}_2)_3(\text{OPb})_2$, тетразен (производное тетразола) $\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_{10}\text{O}$ и азид свинца $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$. Высокая чувствительность данных веществ к внешнему воздействию (удар, искра, трение, нагрев, пламя), обуславливает их способность к детонации.

В роли горючего применяются простые металлы (алюминиевая пудра Al , магниевая стружка Mg) или соединения металлов (тиоцианат свинца(II) $\text{Pb}(\text{SCN})_2$, сульфид сурьмы(III) Sb_2S_3 и др.). При их сгорании образуются конденсированные продукты (оксиды сурьмы(III) Sb_2O_3 , алюминия Al_2O_3), а также выделяются газы (углекислый газ CO_2 , сернистый газ SO_2 и др.), обеспечивающие высокую воспламеняющую способность смесей.

Окислителями являются вещества, содержащие в своём составе большое количество кислорода: бертолетова соль KClO_3 , нитраты бария $\text{Ba}(\text{NO})_3$ и калия KNO_3 , пероксид бария BaO_2 и др.

Цементаторы (связующие) объединяют все составные элементы ударно-воспламенительного состава в одно целое и придают ему необходимые механические свойства. В качестве связующих применяют столярный клей, парафин, стеарин и др.

Добавки выполняют различные функции. Сенсibiliзаторы увеличивают чувствительность капсульных составов к удару (активная добавка – тетразен, пассивная добавка – керамика, толченное стекло и другие абразивные материалы), флегматизаторы (церезин, петролатум, синтетические полимеры, парафин), наоборот, снижают чувствительность взрывчатых веществ к внешним воздействиям.

Состав капсулей-воспламенителей является одним из основных аналитически-важных факторов для образования характерных частиц продуктов выстрела для данного капсуля.

В конструктивном отношении капсули-воспламенители для стрелкового оружия подразделяются на три основных вида: без наковаленки («Бердан»), со встроенной наковаленкой («Жевело», «Боксер») и кольцевого воспламенения. Их конструктивные особенности также оказывают существенное влияние на состав продуктов выстрела.

В результате срабатывания ударного состава происходит частичное эрозионное распыление материала капсюля-воспламенителя, что обуславливает характерный элементный состав образующихся продуктов выстрела. Пример реакции разложения состава капсюля представлен на схеме 1.1 [3, 4].

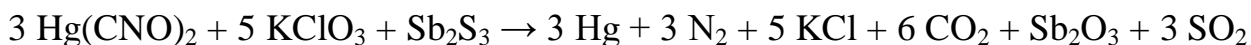


Схема 1.1 – Процесс разложения ударного состава капсюля воспламенителя

1.1.2 Продукты горения пороховых зарядов

Пороха представляют собой класс метательных взрывчатых веществ, применяющихся в патронах к стрелковому оружию в качестве источников энергии движения снарядов (пуль).

В состав порохового заряда входят твердые частицы компонентов окислителей и горючих, которые обеспечивают процесс закономерного горения пороха параллельными слоями без доступа кислорода. Это способствует выделению значительного количества тепловой энергии и образованию газообразных продуктов в минимальном объеме.

Общая классификация порохов и твердых ракетных топлив приведена в приложении А.

Поскольку физико-химическая природа компонентов пороха оказывает значительное влияние на состав продуктов выстрела, то в рамках общей классификации будет рассматриваться только данный аспект.

В боеприпасах к огнестрельному стрелковому оружию наиболее часто применяются дымные и бездымные (нитроцеллюлозные) пороха.

Дымный порох используется в боеприпасах для охотничьих ружей. Состоит из окислителя – (калиевая селитра) KNO_3 , горючего – (древесный уголь) C и цементатора – (сера) S .

Формальный процесс горения дымных порохов представлен на схеме 1.2.

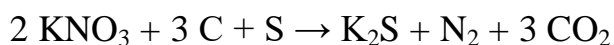


Схема 1.2 – Формальный процесс горения дымных порохов

Следует учесть, что реальный состав продуктов сгорания пороха намного сложнее и сильно зависит от давления и плотности заряда. При атмосферном давлении сгорание дымных порохов описывается схемой 1.3.

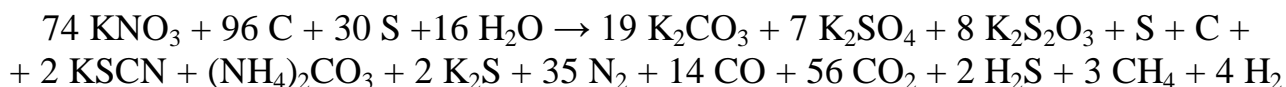


Схема 1.3 – Реальный процесс горения дымного пороха

Бездымные пороха представляют собой спрессованные нитраты целлюлозы, содержащие пластификаторы с различными добавками. Пироксилиновые и сферические пороха являются основными видами пороховых зарядов, применяемых в боеприпасах для огнестрельного стрелкового оружия.

Основой пироксилиновых порохов являются нитраты целлюлозы – пироксилины (91 %), пластифицированные спирто–эфирной смесью (1,5 %) с добавлением дифениламина (C₆H₅)₂NH (1 %). Кроме того в состав пороха могут входить следующие добавки (1 – 2 %): динитротолуол, камфара, сульфат калия, хлорид калия, графит и др., придающие ему особые свойства.

Сферические (лаковые) пороха изготавливаются эмульсионным методом с использованием летучего растворителя – этилацетата. Основными компонентами пороха являются: нитроцеллюлоза (70 – 90 %), нитроглицерин (10 – 20 %), стабилизаторы химической стойкости (диэтиламин, централиты (1 – 2 %)).

При горении бездымного пороха образуются газообразные продукты реакции горения (метан CH₄, угарный СО и углекислый СО₂ газы, ацетилен С₂Н₂ и др.). Количество твёрдых продуктов сгорания сравнительно мало.

Формальный процесс горения нитроцеллюлозных порохов представлен на схеме 1.4.

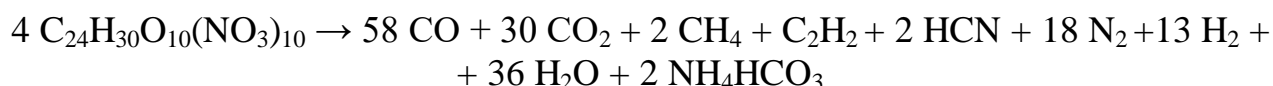


Схема 1.4 – Формальный процесс горения пироксилинового пороха

Поскольку в результате выстрела часть пороха не успевает полностью подвергнуться термическому разложению, в экспертной практике данный факт используется для предварительного исследования не только следов продуктов выстрела, но и продуктов взрыва. В баллистике исследование пороховых зерен позволяет установить марку пороха, тип применяемого боеприпаса, а также образец (модель) используемого огнестрельного оружия [3, 5 – 7].

1.1.3 Продукты выстрела, происходящие от материала боеприпасов и конструкции ствола огнестрельного оружия

В качестве боеприпасов для стрельбы из современного огнестрельного оружия применяются исключительно унитарные патроны, в которых снаряд (пуля, дробь), пороховой заряд и капсюль-воспламенитель объединены в одно целое с помощью гильзы. Устройство боеприпасов для нарезного (А) и гладкоствольного оружия (Б) приведено на рисунке 1.2.

Поражающим элементом патрона является пуля. Она может иметь оболочку (оболочечная), либо быть без неё (экспансивная). В рамках данной работы будут рассматриваться пули только оболочечного типа.

В качестве материала для оболочек пуль применяют малоуглеродистую сталь, покрытую томпаком (сплав меди Cu (90 %) и цинка Zn (10 %)). Под оболочкой находится металлический сердечник из свинца Pb или малоуглеродистой стали, разделённый от оболочки свинцовой рубашкой. Для придания твердости сердечнику из свинца, в сплав вводят сурьмяные добавки.

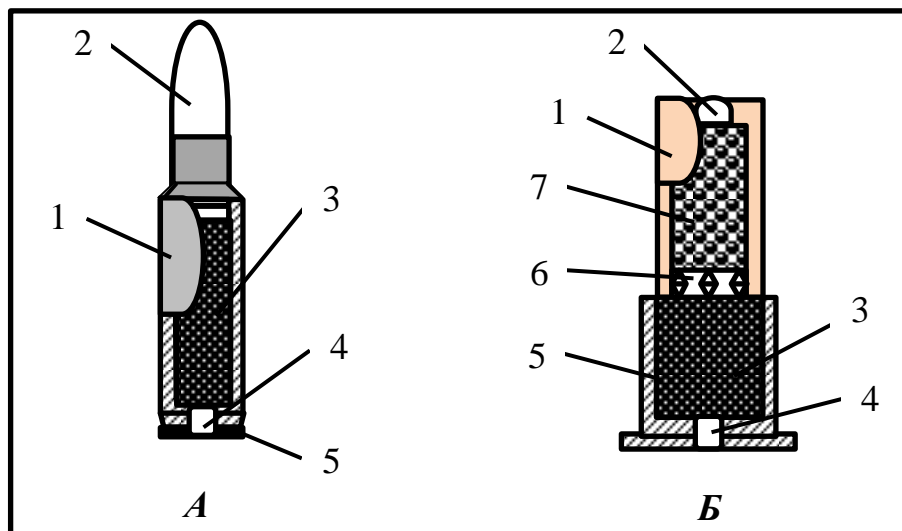


Рисунок 1.2 – Конструкция боеприпаса:

А – элементы патрона для нарезного оружия:

- 1 – гильза; 2 – пуля; 3 – заряд пороха;
- 4 – капсюль; 5 – фланец гильзы

Б – элементы патрона для гладкоствольного оружия:

- 1 – гильза; 2 – пуля; 3 – заряд пороха;
- 4 – капсюль; 5 – латунное донце;
- 6 – пыж; 7 – снаряд (дробь)

Гильза служит для соединения всех частей патрона в единое целое, применяется для obturation пороховых газов в канале ствола оружия (направляющее действие в сторону затвора), а также предохраняет капсюльный состав и пороховой заряд от внешних воздействий. Материалом для гильз служит латунь, холоднокатаная или горячекатаная сталь. Кроме того, на поверхность гильз наносится герметизирующий лак на основе поливинилацетальных смол.

В патронах к гладкоствольному оружию находятся пыжи – прокладки, предотвращающие высыпание порохового заряда из патрона. Материалом для них служит войлок, шерстяные материалы, картон, бумага, ткань и др.

В процессе производства выстрела, эрозионный поток пороховых газов воздействует на материал боеприпасов и конструкцию ствола огнестрельного оружия, вызывая механические и термические деформации. В результате чего происходит вынос металлических частиц из канала ствола в окружающую среду.

Состав продуктов выстрела, происходящих от деталей оружия и боеприпасов, представлен в приложении Б.

Таким образом, в продуктах выстрела встречаются в различных сочетаниях и количественных соотношениях элементы: медь Cu, свинец Pb, олово Sn, цинк Zn, железо Fe, никель Ni и др. Поскольку данные металлы широко распространены в окружающей среде, их отложение на кожных покровах рук и одежде стрелка носит случайный характер [7 – 10].

1.1.4 Классификация следов продуктов выстрела и их морфология

В настоящее время применяется общая система классификации частиц продуктов выстрела, основанная Криминалистической службой Германии. Принято разделять следы продуктов выстрела на следующие классы:

1) Характерные – частицы, содержащие композиции из трех или четырех элементов, характерные для продуктов сгорания капсюля-воспламенителя (BaSbZnPb, BaSbSn). Ввиду уникальности элементного состава капсюля интерпретируются как продукты выстрела.

2) Соответствующие – частицы, содержащие композиции из двух химических элементов, характерные для продуктов разложения капсюльного состава (SbPb, BaS). Обнаружение такого вида частиц указывает на вероятностное наличие следов продуктов выстрела. Вследствие того, что частицы могут быть образованы другими процессами (например, химическое производство), на интерпретацию результатов влияет их количество.

3) Сопутствующие – частицы, образованные в результате производства выстрела (продукты износа ствола оружия, материал гильзы, оболочка пули и др.) (FeCuZn, NiPb). Данный вид частиц оказывает влияние на оценку характера загрязнения следами продуктов выстрела. Могут быть результатом целого ряда технологических процессов (механическая обработка, сварка, пайка и др.).

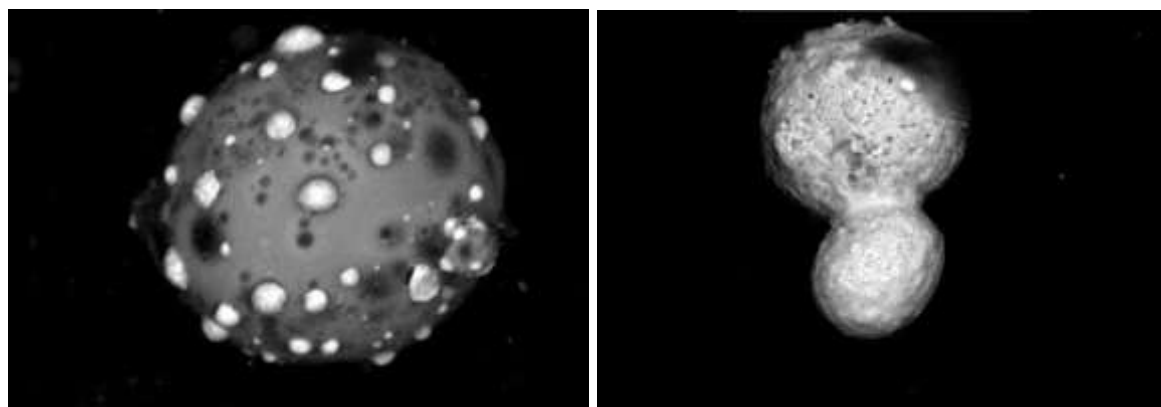
4) Нехарактерные – частицы, имеющие состав, не свойственный следам продуктов выстрела (частицы почвы, стекло).

Образование следов продуктов выстрела происходит в результате процесса горения порохового заряда при температуре около 3500 °С, при этом продукты капсюльного состава плавятся и частично переходят в газовую фазу. Под действием высокого давления пороховых газов осуществляется выбрасывание снаряда (пули) из канала ствола оружия, в результате чего происходит быстрое охлаждение продуктов выстрела. В результате образуются твёрдые частицы, имеющие пористое строение различной формы (рисунок 1.3).

Форма частиц продуктов выстрела зависит от момента их конденсации. При свободном вылете из канала ствола оружия, частица чаще всего приобретает сферическую (округлую) форму. Если конденсация прошла на холодных стенках канала ствола, то впоследствии частица, выносимая пороховой струей, будет иметь произвольную форму.

Размер частиц продуктов выстрела составляет 5 – 10 мкм ($1 \text{ мкм} = 10^{-3} \text{ мм}$) и зависит от: иницирующего состава капсюля-воспламенителя, типа пороха,

величины навески порохового заряда, максимального давления в канале ствола оружия и других факторов [11, 12].



А

Б

Рисунок 1.3 – Частицы продуктов выстрела:
А – сферической и *Б* – неправильной формы

1.1.5 Возможность случайного загрязнения рук и одежды компонентами, входящими в состав продуктов выстрела

Окружающий фон служит информативным источником для определения состава следов продуктов выстрела. Бытовое загрязнение частицами наиболее характерными для следов продуктов выстрела (сурьма, барий) составляет менее 1 мкг ($1 \text{ мкг} = 10^{-6} \text{ г}$), в производственной сфере точное значение не установлено.

Частицы, содержащие химические элементы (кремний Si, кальций Ca, алюминий Al, магний Mg, натрий Na, хлор Cl и др.), легко обнаруживаются на любых поверхностях окружающей обстановки, то есть являются фоновыми (при условии, что данные элементы не входят в рецептуру капсюльного состава).

Металлы, входящие в конструкцию капсюля-воспламенителя, материал пули и канала ствола оружия (см. приложение Б) широко распространены в окружающей среде. Загрязнение рук и одежды данными веществами носит случайный характер.

Форма металлических микрочастиц разнообразна, их размер может достигать тысячных долей миллиметра ($1 \text{ мкм} = 10^{-3} \text{ мм}$). В производственной сфере наиболее часто встречаются частицы шарообразной и колбообразной формы, это связано с образованием индустриальной пыли, образующейся при плавке металла, при автогенных и электросварочных работах. Поскольку следы продуктов выстрела в основном имеют сферическую форму, данный факт может вызывать затруднения при их исследовании.

Стабилизатор бездымного пороха – дифениламин, в промышленности используется как сырье для синтеза красителей, выступает ингибитором коррозии, в аналитической химии используется в качестве индикатора для обнаружения нитрит NO_2^- и нитрат NO_3^- ионов. Вероятность бытового загрязнения данным

органическим веществом чрезвычайно мала, в результате чего, соединение в экспертной практике является «маркером» следов продуктов выстрела [13 – 15].

1.2 Общие методы исследования, применяемые для обнаружения следов продуктов выстрела

Материально-техническая база современных криминалистических лабораторий представлена новейшим высокоточным аналитическим оборудованием, позволяющим проводить любые виды экспертиз при помощи физико-химических (инструментальных), химических и физических методов.

При исследовании следов продуктов выстрела применяют следующие виды методов:

1) микроскопический – позволяет установить морфологические признаки следов продуктов выстрела, даёт возможность провести качественный анализ следов, образующихся в результате выстрела.

2) химические методы – качественные аналитические реакции для определения наличия следов продуктов сгорания пороховых зарядов;

3) термическая реакция (проба на вспышку) – при исследовании частиц похожих на зерна бездымного пороха;

4) диффузионно-контактный метод – при исследовании топографии отложения металлических частиц, входящих в состав продуктов выстрела;

5) спектральный анализ – люминесцентный спектральный анализ для определения наличия следов оружейной смазки (в УФ-лучах) и копоти (в ИК-лучах); атомно-эмиссионный спектральный анализ для определения качественного и количественного состава элементов, входящих в продукты выстрела; хромато-масс-спектрометрия для обнаружения наличия в пробах дифениламина и его производных;

6) математические методы – геометрические построения и определение угловых характеристик траектории полёта пули, определение местоположения стрелявшего;

7) биологические методы – методы обнаружения следов выстрела с помощью специально натренированных служебно-розыскных собак.

Для обеспечения достоверности результатов при исследовании следов продуктов выстрела необходимо применять комплекс вышеуказанных методов.

Выбор экспертом того или иного аналитического метода обусловлен следующими факторами: видом анализа (разрушающий или неразрушающий), чувствительностью метода, а также его информативностью для установления фактов необходимых при расследовании уголовных дел, связанных с применением огнестрельного оружия [16].

1.3 Методы исследования, используемые в работе

1.3.1 Электронная сканирующая (растровая) микроскопия

При исследовании следов продуктов выстрела важно выявить их морфологические особенности, эти данные могут быть получены с помощью сканирующей (растровой) электронной микроскопии.

Отличительной особенностью данного метода является представление информации в форме изображения. Получение изображения основано на том, что сфокусированный пучок электронов (зонд), последовательно облучает каждую отдельную точку исследуемого образца, двигаясь по его поверхности. Взаимодействие зонда с веществом вызывает различные ответные сигналы физической природы (отраженные и вторичные электроны, рентгеновское излучение, Оже-электроны, свет и др.), которые лежат в основе построения изображения на экране монитора компьютера. Схема образования физических эффектов, вызванных взаимодействием электронного пучка с поверхностью исследуемого образца, представлена на рисунке 1.4.

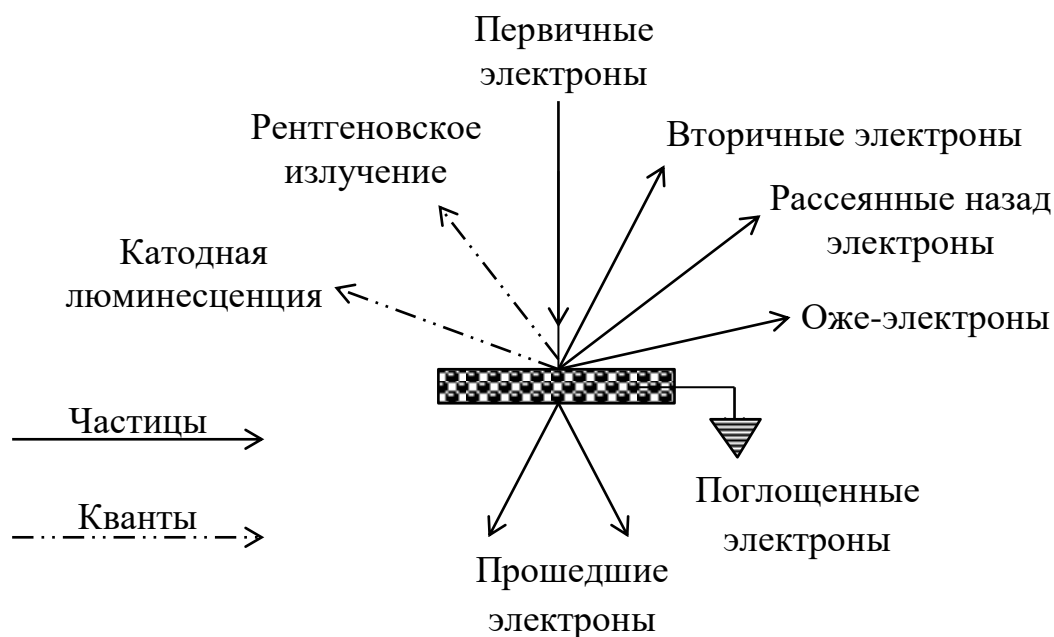


Рисунок 1.4 – Схема образования вторичных сигналов при взаимодействии электронного зонда с поверхностью анализируемого объекта

Вторичные электроны – электроны, выбитые из атомов электронным лучом. Их энергия зависит не от атомного номера элементов, а от расположения их в образце.

Рассеянные назад электроны имеют энергию пропорциональную атомному номеру элемента, с которым произошло взаимодействие. Чем выше атомный номер, тем выше энергия. Этот тип изображения показывает распределение «тяжелых» и «легких» атомов.

Оже-электроны – вид вторичных электронов, которые возникают в результате заполнения вакансий, образующихся из-за удаления электронов с нижних электронных уровней.

Если энергия первичного излучения невысока, то заполнение вакансий сопровождается характеристическим рентгеновским излучением. Рентгеновские лучи возникают при выбивании электронов с внешней электронной оболочки и последующим заполнением вакансий вышележащими электронами. Таким образом, для каждого элемента возникает свой индивидуальный набор полос излучения (характеристический спектр).

Сканирующий электронный микроскоп работает в условиях глубокого вакуума (10^{-5} Па), поскольку при нормальном атмосферном давлении происходит сильное рассеивание электронного пучка. Упрощенная схема конструкции электронного микроскопа приведена на рисунке 1.5.

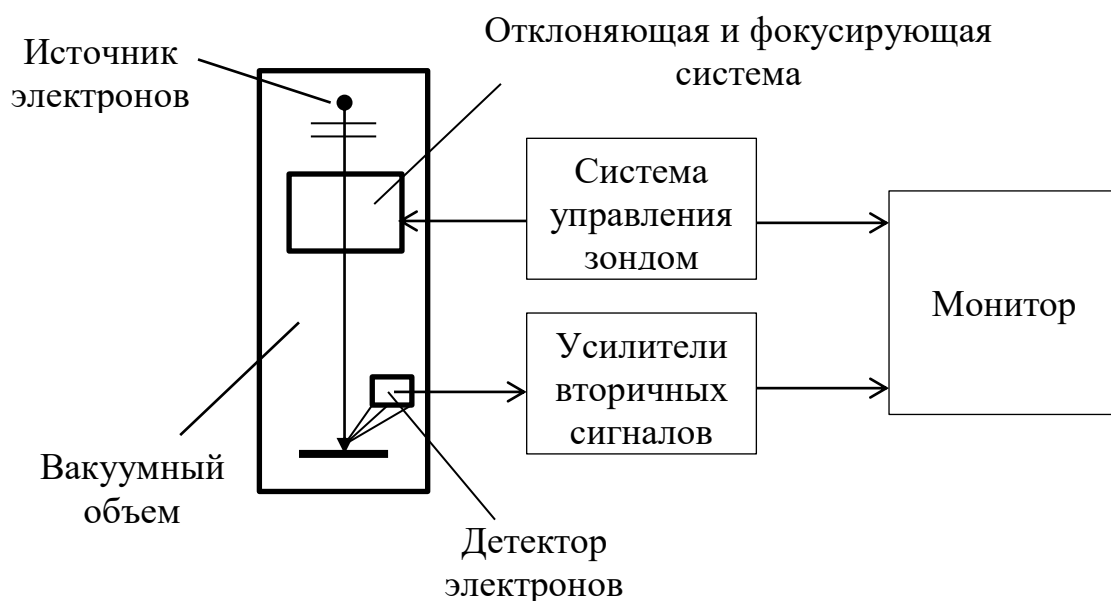


Рисунок 1.5 – Принципиальная схема электронного сканирующего микроскопа

Источником возбуждения электронов чаще всего является вольфрамовый катод, либо катод из гексаборида лантана LaB_6 . В результате термоэлектронной эмиссии или под действием сильного электрического поля (автоэлектронная эмиссия), происходит эмиссия (испускание) электронов в вакуум. Под действием магнитных и электрических полей, происходит ускорение и фокусировка, образуя пучок электронов.

Сигналы, возникающие в ходе взаимодействия электронного зонда с поверхностью исследуемого образца, регистрируются с помощью различных детекторов (сцинтилляционный, полупроводниковый, детектор излучения катодолюминесценции). Далее зарегистрированный сигнал, интерпретируется как модуляция яркости электронного пучка в электронно-лучевой трубке монитора.

Эта величина будет зависеть от физических свойств поверхности анализируемого образца, поэтому в различных точках будет различной.

Таким образом, на экране монитора возникает изображение поверхности исследуемого объекта.

В отраженных или вторичных электронах чаще всего исследуют поверхность объектов (границы зерен, дефекты поверхности, неоднородность состава); характеристическое рентгеновское излучение позволяет определить элементный состав микрочастиц.

Анализ рентгеновских лучей по энергиям выполняют с помощью микроанализатора (детектора), в котором излучение направляется на кристалл, вызывая в нем изменения электрических характеристик в зависимости от энергии падающего пучка электронов. Записанная электрическая прямая преобразуется с помощью Фурье-преобразований в энергетический спектр падающего излучения. На полученном спектре площадь под пиком пропорциональна концентрации индивидуального элемента образца, так осуществляется количественный анализ.

Основные преимущества данного метода анализа, по сравнению с другими методами исследования следов продуктов выстрела, следующие:

1) метод анализа является неразрушающим, то есть частицы, обнаруженные на предметах-носителях, сохраняются и пригодны для повторного изучения;

2) проводится индивидуальный анализ каждой частицы, учитывается элементный состав, а также морфологические признаки, что повышает достоверность метода и позволяет точно диагностировать природу образования частиц;

3) автоматизация анализа позволяет повысить вероятность обнаружения частиц продуктов выстрела до 99 %;

4) чувствительность метода при условии гарантированного обнаружения частицы размером 1 мкм на стандартном столике диаметром 12 мм составляет порядка 10^{-6} %;

5) не требуется контрольный образец.

Минусы электронной сканирующей микроскопии следующие:

1) сложная аппаратура, требующая тщательного ухода;

2) для работы необходим глубокий вакуум (10^{-5} Па);

3) столик микроскопа засоряется большим количеством волокон (при исследовании смывов), не обладающих электропроводящими свойствами, что приводит к накоплению заряда этими волокнами, в результате чего, зонд будет отклоняться и искажать результат анализа. Для снижения данного эффекта на образец наносят слой проводящего материала (толщина 0,1 – 10 нм) с помощью магнетронного вакуумного напылителя. В качестве проводящего материала используют: золото Au, платину Pt или графит С.

4) на проведение исследования влияют параметры окружающей среды (изменение температуры, стабильность питающего силового напряжения, внешние магнитные поля, вибрации пола помещения) [17 – 20].

1.3.2 Атомно-эмиссионный спектральный анализ

Атомно-эмиссионная спектроскопия – инструментальный метод исследования элементного состава образца, основанный на анализе результатов взаимодействия электромагнитного излучения с веществом (по спектру испускания атомов).

Регистрация спектров испускания основана на измерении энергии излучения, испускаемого возбужденными частицами, при их переходе в основное состояние.

Спектр испускания представляют в виде зависимости интенсивности испускаемого излучения от длины волны по формуле (1).

$$I = f(\lambda), \quad (1)$$

где I – интенсивность излучения, Вт/м²;

λ – длина волны, нм.

Исследуемый образец подвергается термическому воздействию, результатом которого являются процессы испарения вещества, диссоциация молекул на свободные атомы, а также возбуждение этих атомов.

Под действием высоких температур, валентные электроны атомов переходят с основного уровня, на уровни с более высокой энергией. В возбужденном состоянии атомы находятся непродолжительное время (порядка $10^{-7} - 10^{-9}$ с). При обратном переходе валентного электрона в возбужденное состояние с меньшим значением энергии или исходное положение, происходит испускание электромагнитного излучения (эмиссия) с определённой длиной волны (рисунок 1.6).

Число валентных электронов и число межуровневых валентных переходов определяют количество линий в эмиссионном спектре элемента.

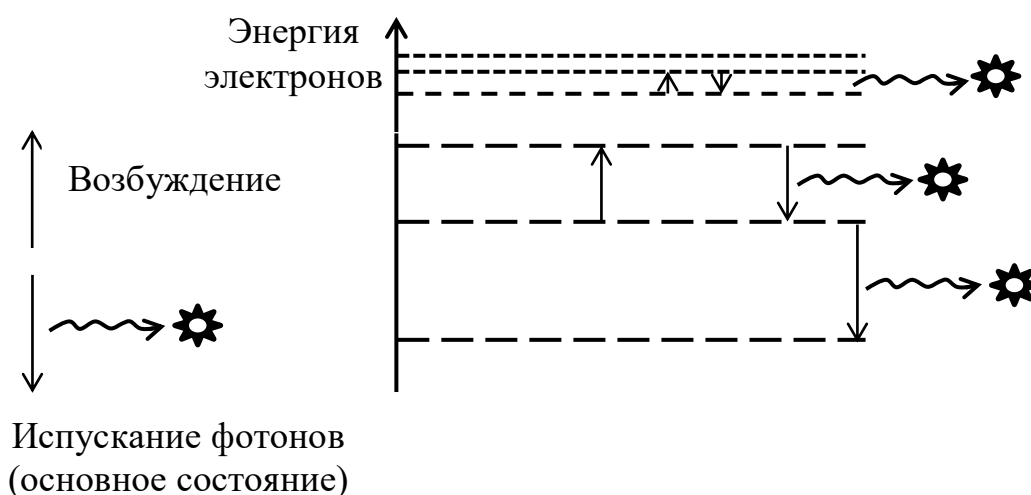


Рисунок 1.6 – Диаграмма электронных переходов между различными энергетическими уровнями при поглощении и излучении света

Электромагнитное излучение состоит из потока дискретных частиц (квантов света, или фотонов), движущихся с определенной энергией, величину которой выражают уравнением Планка по формуле (2).

$$E = h \cdot \nu, \quad (2)$$

где E – энергия электромагнитного излучения, Дж;
 h – постоянная Планка ($6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж · с);
 ν – частота электромагнитных колебаний, с^{-1} .

Частота колебаний связана с длиной волны и скоростью света соотношением (формула (3)).

$$\nu = c/\lambda, \quad (3)$$

где c – скорость света, равная в вакууме $3 \cdot 10^8$ м/с = $3 \cdot 10^{17}$ нм/с;
 λ – длина волны, нм ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$).

Энергия фотонов и длина волны излучаемого света связаны между собой обратной пропорциональной зависимостью: с увеличением энергии излучения длина волны уменьшается. При переходах валентных электронов испускаются фотоны с длинами волн, соответствующие электромагнитному излучению в ультрафиолетовой (200 – 400 нм) и видимой (400 – 760 нм) области спектра.

Упрощенная блок-схема эмиссионного спектрального прибора представлена на рисунке 1.7.

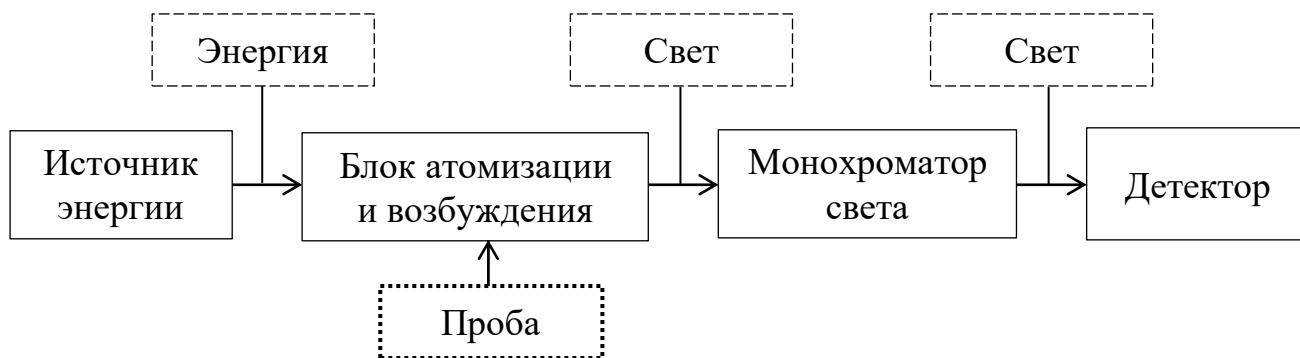


Рисунок 1.7 – Блок-схема эмиссионного спектрометра

В качестве источников атомизации и возбуждения атомов используют:

- 1) пламя;
- 2) электрическая дуга;
- 3) искра;
- 4) высокочастотная индуктивно-связанная плазма.

Пламя применяется в методе фотометрии пламени, а также является основным источником атомизации в атомно-абсорбционном анализе. Ввод пробы в пламя осуществляется в виде аэрозоля, полученного с помощью пневматического распылителя. Температура пламени зависит от газовой смеси и находится в пределах от 2000 до 3000 К. Чувствительность метода составляет 10^{-7} масс. %.

Дуговой атомизатор представляет собой пару угольных электродов, между которыми пропускают электрический разряд (постоянного или переменного тока). Температура электрической дуги составляет 3000 – 7000 К. Чувствительность данного метода ниже, чем в пламени.

Принцип атомизации вещества электрической искрой подобен дуговому атомизатору. Температура высоковольтной конденсированной искры может составлять 10000 К.

Высокочастотная индуктивно связанная аргоновая плазма – современный атомизатор, с температурой возбуждения 6000 – 10000 К. Чувствительность метода составляет 10^{-8} – 10^{-2} масс. %. Возможен одновременный анализ до 20 – 40 химических элементов, в том числе трудновозбудимых (галогены), а также образующих термостойкие соединения.

Поскольку возбужденные атомы испускают свет различной длины волны, для выделения характеристического излучения применяют различные оптические приспособления (оптическая призма, дифракционные решетки), позволяющие фокусировать и преломлять световой поток.

Диспергирующим элементом прибора ИСП-30 является кварцевая призма. Нефильтрованное излучение, испускаемое возбужденными атомами, проходящее через спектральную призму раскладывается на отдельные компоненты. Световой поток становится монохроматическим (рисунок 1.8).

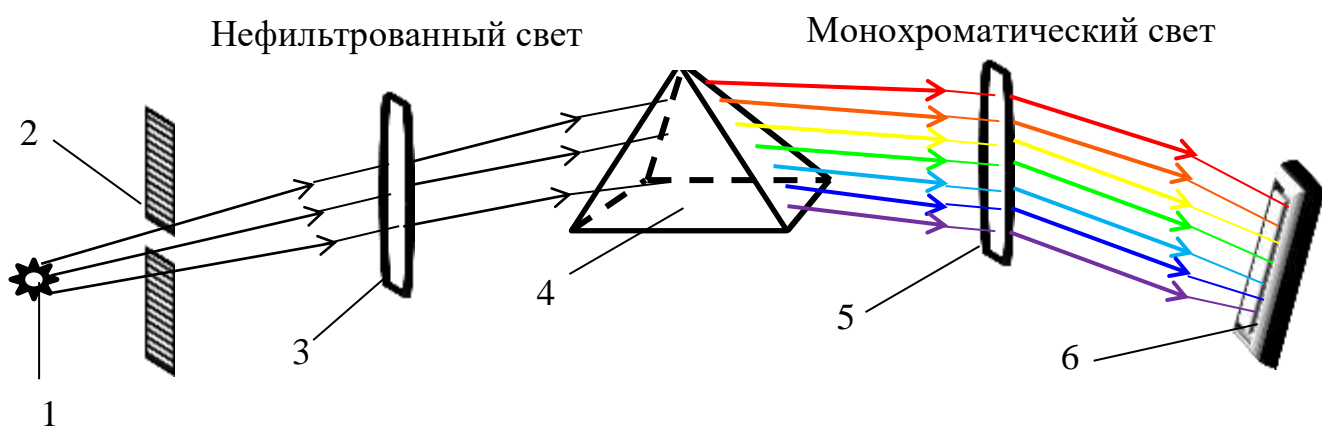


Рисунок 1.8 – Принципиальная схема призматического монохроматора:
1 – источник излучения нефильтрованного света; 2 – входная щель;
3 – линза-коллиматор; 4 – спектральная призма; 5 – фокусирующая линза;
6 – фотоэлемент

Первоначально регистрацию спектров вели на фотопластинках или бумаге, обработанной светочувствительными красителями, но с появлением ЭВМ эту

роль стали выполнять электронные устройства, преобразующее световое излучение в электрический сигнал, который затем преобразуется в цифровую форму и выводится на экран монитора в виде спектров.

Фотоэлемент – детектор, представляет собой сборку фотодиодных линеек (в кристалльном исполнении), расположенных на монокристаллическом основании. Одна линейка содержит 2612 фотодиодов размещенных на расстоянии 12,5 мкм друг от друга.

Эмиссионная спектроскопия используется не только для качественного, но и количественного анализа. Принцип определения заключается в том, что интенсивность линий элементов в спектре, зависит от концентрации данных веществ в исследуемом образце. Эту зависимость можно представить уравнением Ломакина – Шайбе по формуле (4).

$$I = a \cdot C^b, \quad (4)$$

где a – константа, зависящая от условий возбуждения и испарения вещества;
 C – концентрация определяемого элемента в пробе;
 b – коэффициент самопоглощения излучения.

Логарифмируя уравнение (4), получают линейную зависимость (формула (5)).

$$\lg I = \lg a + b \lg C, \quad (5)$$

Поскольку интенсивность спектральных линий зависит от условий возбуждения, а так же концентрации элемента в пробе, количественное определение ведут с использованием относительной, а не абсолютной величины. Относительная интенсивность линии выражается отношением интенсивности данной спектральной линии, к интенсивности другой линии в спектре (линия сравнения). Линия сравнения выбирается таким образом, чтобы она принадлежала спектру элемента, содержание которого в пробе остается неизменным (основной компонент пробы или введение внутреннего стандарта, с точно установленной концентрацией).

Отношение аналитической линии (I_a) к линии сравнения (I_{cp}) всегда остается постоянным на всех участках спектра (формула (6)).

$$I_{отн} = \frac{I_a}{I_{cp}}. \quad (6)$$

Сравниваемые линии должны быть одинакового происхождения, с близкими длинами волн и потенциалами возбуждения (гомологические пары). Каждый индивидуальный элемент образца имеет свою гомологическую пару спектральных линий [17, 21, 22].

2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2.1 Объекты исследования

В представленной работе, объектами исследования являются предполагаемые носители следов продуктов выстрела:

- 1) смывы с кожного покрова рук и рукавов одежды (манжеты), у лиц, имеющих дело с огнестрельным оружием (сотрудники стрелкового тира);
- 2) смывы с кожного покрова рук и рукавов одежды (манжеты), у лиц, не имеющих отношения к огнестрельному оружию:
 - научные сотрудники лаборатории «Элементоорганические соединения» (ЭОС);
 - научные сотрудники лаборатории «Теория металлургических процессов» (МП).

2.2 Оборудование, инструменты и материалы

Исследование следов продуктов выстрела проводилось на растровом электронном микроскопе JSM-7001F фирмы «JEOL» (Япония) с рентгеновским микроанализатором фирмы «Oxford Instruments» (Великобритания). Основные характеристики прибора приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Технические характеристики автоэмиссионного растрового электронного микроскопа JSM -7001F

Технические характеристики	Описание характеристик
Разрешение во вторичных электронах	1,2 нм (30 кВ); 3,0 нм (1 кВ)
Электронная пушка	с катодом Шоттки
Ускоряющее напряжение	200 В – 30 кВ
Диапазон увеличений	от $\times 10$ до $\times 10^6$
Ток зонда	1 пА – 200 нА
Рентгеновский микроанализатор	энергодисперсионный спектрометр INCA Energy 350XT
Элементный анализ	от В до U

Покрытие исследуемых образцов токопроводящей металлической пленкой золота, методами термического испарения и катодного распыления материалов, осуществлялось с помощью универсальной вакуумной системы «Q-150R ES». Для вакуумной системы использовался турбомолекулярный насос. Катодное распыление производилось при пониженном давлении в атмосфере аргона.

Исследование следов продуктов выстрела исследовалось на атомно-эмиссионном спектрометре ИСП-30 «ЦС» (Россия). Основные технические характеристики данного прибора приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Технические характеристики комплекса атомного эмиссионного спектрального анализатора ИСП-30 «ЦС»

Технические характеристики	Описание характеристик
Спектральный диапазон	210 – 600 нм
Диспергирующий элемент	кварцевая призма
Детектор анализатора многоканальных атомно-эмиссионных спектров МАЭС	фотодиодные линейки (5 штук)
Источник возбуждения спектров	генератор «Шаровая молния» ШМ-250
Диапазон регулировки силы тока	$\pm 0,5 - 250$ А
Время экспозиции	1 – 10000 мс
Напряжение питания	200 – 250 В
Программное обеспечение	программа «Атом»

Графитовые электроды затачивались на настольном фрезерном станке «Кратер-2».

Химические реактивы и расходные материалы: салфетки спиртовые антисептические из нетканого материала размером 30 x 60 мм; столики микроскопа с двухслойной липкой графитовой пленкой; стержневые графитовые электроды; стержневые вольфрамовые электроды; угольный порошок; стандартный раствор соли нитрата кобальта (0,05 %), используемый в качестве внутреннего стандарта.

2.3 Ход эксперимента

Для получения проб (смывов), содержащих следы продуктов выстрела, были использованы возможности спортивно-стрелкового тира ЮУрГУ.

В ходе эксперимента, инструктором (стрелком), было проведено пять прицельных выстрелов из 9-мм пистолета Макарова (ПМ), патронами 9 x 18 мм в сторону неподвижной мишени. Стрельба осуществлялась в закрытой галерее тира.

В качестве моделей заводских помещений химического производства, были выбраны учебные лаборатории ЮУрГУ:

1) лаборатория «Элементоорганические соединения» – в данном помещении проводят синтез и исследование элементоорганических веществ, содержащих химические элементы, характерных для рецептуры капсульных составов боеприпасов (Sb, Ba, Pb, Zn, Sn, Cu и др.);

2) лаборатория «Теория металлургических процессов» – в лаборатории исследуют металлические покрытия, содержащие металлы, которые могут входить в состав материала капсуля, гильз и пуль боеприпасов (Pb, Sn, Cu, Ni).

2.3.1 Пробоотбор и пробоподготовка

Отбор проб (смывов) проводился методом обтирания поверхности объекта-носителя марлевыми салфетками, пропитанными органическим растворителем, согласно методическим рекомендациям [4].

Поверхность ладони и тыльной стороны кистей левой и правой рук протирались отдельно. Смывы выполнялись десятью движениями в направлении от запястья к пальцам. Для рукавов одежды (манжеты) методика аналогична. Марлевые тампоны со смывами просушивали при комнатной температуре 25 °С, в развернутом виде, после чего упаковывали отдельно друг от друга в герметичные пластиковые упаковки (грипперы).

В работе выполнение смывов осуществлялось с кожного покрова рук (поверхность тыльной стороны кисти и ладони) и рукавов одежды (манжеты) с помощью медицинских спиртовых марлевых салфеток фирмы «Фармэль», одинаковых по размеру (30 x 60 мм). Салфетки увлажнены 70 % этиловым спиртом.

Поскольку в эксперименте участвовало шесть человек, для анализа было отобрано 20 смывов (наиболее информативные для исследования участки рук и одежды) (таблица 2.3), не считая контрольного образца.

Таблица 2.3 – Информативные участки отбора проб (смывов)

Профессия	Левая рука		Правая рука		Манжеты (две руки)
	тыл	ладонь	тыл	ладонь	
Сотрудник тира (стрелок)	+	+	+	+	+
Сотрудник тира (не стрелок)	–	+	–	+	+
Сотрудник лаборатории (ЭОС) № 1	–	+	–	+	+
Сотрудник лаборатории (ЭОС) № 2	–	+	–	+	–
Сотрудник лаборатории (МП) № 1	–	+	–	+	–
Сотрудник лаборатории (МП) № 2	–	+	–	+	–

Пробоподготовка для исследования следов продуктов выстрела в сканирующем электронном микроскопе производилась на специальный столик микроскопа, на поверхности которого находилась двусторонняя графитовая липкая пленка. Отбор проб осуществлялся аппликацией свободной поверхностью пленки о поверхность объекта до прекращения прилипания. Стандартный размер проб для анализа составлял 5 x 5 мм.

Поскольку смывы выполнялись на стерильные марлевые тампоны, вероятность засорения столика электронного микроскопа большим количеством органических волокон, не обладающих электропроводящими свойствами, увеличилась. Для устранения данного негативного эффекта, исследуемые образцы

покрыли тонким проводящим слоем золота с помощью вакуумного напылителя «Q-150R ES».

Пробоподготовка для атомного эмиссионного спектрального анализа проводилась в соответствии с методикой [21]. Для этого марлевые салфетки, содержащие смывы, помещались в высокие фарфоровые тигли. На поверхность проб наносили тонкий слой угля (на кончике шпателя) и добавляли две капли стандартного раствора соли кобальта (внутренний стандарт) с помощью пипет-дозатора.

Удаление органических веществ из проб проводилось путем сухого озоления, при температуре 500 °С. Для этого фарфоровые тигли со смывами помещались в разогретую муфельную печь на 4 часа. После полного сжигания проб (прекращение тления), тигли остужали на открытом воздухе. Полученные зольные остатки переносили в кратеры графитовых электродов с помощью кальки. Электроды вытачивали на настольном фрезерном станке «Кратер-2» в форме рюмочек. Диаметр кратера нижних электродов 4,5 мм, глубина 4 мм; Форма верхних электродов затачивалась под полусферу.

2.3.2 Исследование следов продуктов выстрела на электронном растровом микроскопе JSM-7001F

Исследование смывов, содержащих следы продуктов выстрела, на электронном сканирующем микроскопе проводилось по двум направлениям:

- 1) исследовались морфологические характеристики частиц;
- 2) исследовался элементный состав частиц.

Измерения проводились при ускоряющем напряжении 20 кВ в вакууме (10^{-2} Па). Изображение предполагаемых частиц следов продуктов выстрела получали во вторичных электронах, в выбранных областях производили измерение элементного состава. Поскольку распределение микрочастиц в материале объекта-носителя носит случайный характер, а их весовые характеристики зависят от дисперсности, руководствовались следующими правилами:

- 1) измерения проводили на разных участках одной пробы, определяя наиболее характерные частицы для продуктов выстрела;
- 2) использовали различное увеличение микроскопа при поиске частиц продуктов выстрела (размер частиц неодинаков);
- 3) химические элементы, встречающиеся единожды в измерениях, исключали, поскольку данные вещества могли попасть в пробу случайно (микрочастицы, находящиеся в воздухе);
- 4) большое внимание уделяли форме частиц (в приоритете были частицы сферической формы);

В результате исследования были получены изображения микрочастиц и данные их элементного состава.

2.3.3 Исследование следов продуктов выстрела на атомно-эмиссионном спектрометре ИСП-30

Исследование следов продуктов выстрела на атомно-эмиссионном спектрометре проводилось при ширине щели 0,015 мм. Для испарения проб использовали дугу переменного тока (сила тока 14 А, частота 150 Гц, время экспозиции 30 с).

Калибровку прибора осуществляли по вольфрамовым электродам. Сначала их поверхность очистили от различных загрязнений, после чего установили в штатив. Сняли темновой ток и запустили съемку. Поскольку спектр вольфрама достаточно «богат» спектральными линиями, получили непрерывный фон в области 200,00 – 350,00 нм.

Провели замеры исследуемых проб в графитовых электродах. Спектральный анализ осуществляли с помощью программы «Атом». На спектре определили заведомо известную линию углерода (247,86 нм) и совместили её с линией детектора. Относительно этой линии сместили всю область спектра. Далее определяли аналитические линии элементов в спектре, присутствующих в следах продуктов выстрела.

Использовали возможности программного обеспечения «Атом»: кросс-анализ, встроенный атлас спектральных линий элементов.

Концентрацию элементов в пробах определяли полуколичественным анализом. Для этого искали линии кобальта (линии сравнения) и линии неизвестных элементов (аналитические линии) в спектре, рассчитывали их отношение интенсивностей с помощью программного обеспечения «Атом».

3 ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В ходе эксперимента удалось установить, что частицы, характерные для следов продуктов выстрела, но таковыми не являющиеся, могут имитировать продукты выстрела. Имитация заключается в том, что данные частицы имеют характерную для следов продуктов выстрела форму (сферическая, произвольная), а также аналогичный элементный состав. В связи с данным утверждением, проведение экспертизы по исследованию следов продуктов выстрела одним методом, нецелесообразно. Необходимо использовать комплекс методов, чтобы исключить возможность неправильной оценки обнаруженных частиц.

Эксперимент был разделен на две части. В первой части проводилось исследование морфологии обнаруженных микрочастиц на растровом электронном микроскопе JSM-7001F фирмы «JEOL». Также с помощью системы рентгеновского микроанализатора был проведён качественный и количественный анализ их элементного состава.

Во второй части эксперимента, исследование микрочастиц проводилось на атомно-эмиссионном спектрометре ИСП-30 «ЦС». Были получены данные по элементному составу частиц в смывах. С помощью программного обеспечения «Атом», в пробах было рассчитано относительное содержание элементов, характерных для следов продуктов выстрела.

На рисунках 3.1 – 3.3 приведены изображения предполагаемых частиц продуктов выстрела, обнаруженных с помощью электронного растрового микроскопа, на руках и одежде человека, производившего серию выстрелов (стрелок).

Остальные изображения найденных частиц приведены в приложении В.

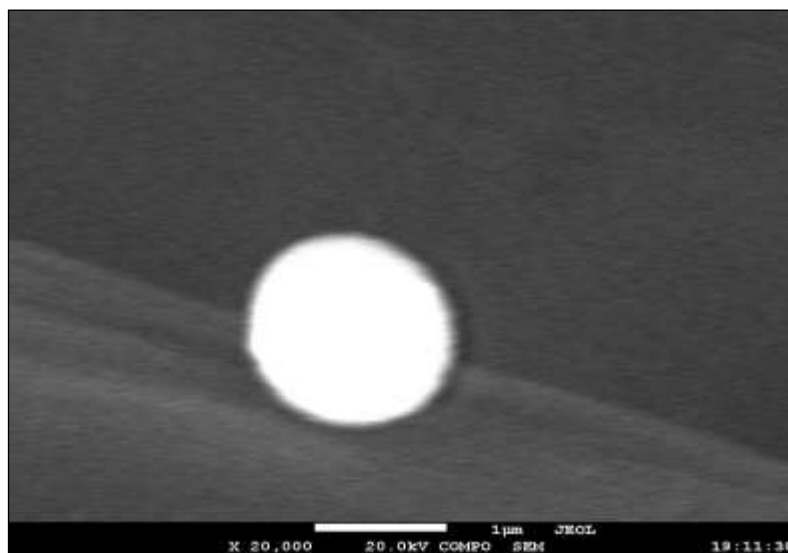


Рисунок 3.1 – Изображение частицы продуктов выстрела, обнаруженной на правой руке стрелка (тыльная сторона кисти)

Размер обнаруженной частицы составляет 1 мкм, форма – сферическая. Элементный состав представлен веществами, характерными для продуктов разложения капсульного состава (сурьма, барий, свинец, олово), что позволяет отнести частицу к классу «Характерные». Является продуктом выстрела.

Результат элементного анализа частицы, определенный с помощью рентгеновского микроанализатора, представлен в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Спектр частицы, обнаруженной на правой руке стрелка

Спектр частицы	Содержание элемента, %						
	Sb	Ba	Pb	Sn	Ca	Cu	Fe
	30,46	19,26	30,63	9,18	–	–	10,47

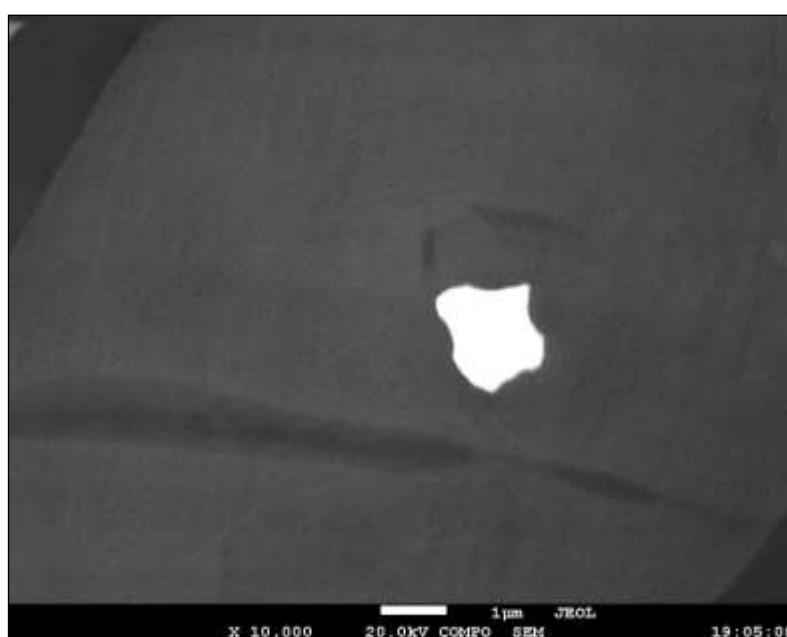


Рисунок 3.2 – Изображение частицы, обнаруженной на правой руке стрелка (ладонь)

Размер обнаруженной частицы составляет 1 мкм, форма – неправильная. Элементный состав представлен веществами, характерными для продуктов разложения капсульного состава (свинец, барий, олово), что позволяет отнести частицу к классу «Характерные». Является продуктом выстрела.

Результат элементного анализа частицы, определенный с помощью рентгеновского микроанализатора, представлен в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Спектр частицы, обнаруженной на правой руке стрелка (ладонь)

Спектр частицы	Содержание элемента, %						
	Sb	Ba	Pb	Sn	Ca	Cu	Fe
	–	27,11	35,61	37,28	–	–	–



Рисунок 3.3 – Изображение частицы, обнаруженной на рукаве одежды (манжеты) стрелка

Размер обнаруженной частицы составляет 10 мкм, форма – сферическая. Элементный состав представлен веществами, характерными для продуктов разложения капсюльного состава (свинец, барий), что позволяет отнести частицу к классу «Соответствующие». Такой вид частиц указывает на вероятностное наличие следов продуктов выстрела, поскольку данная частица могла быть образована в ходе производственных процессов (изготовление подшипников).

Результат элементного анализа частицы, определенный с помощью рентгеновского микроанализатора, представлен в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Спектр частицы, обнаруженной на рукаве одежды стрелка

Спектр частицы	Содержание элемента, %						
	Sb	Ba	Pb	Sn	Ca	Cu	Fe
	–	33,97	66,03	–	–	–	–

На рисунках 3.4 – 3.6 приведены изображения предполагаемых частиц продуктов выстрела, обнаруженных с помощью электронного растрового

микроскопа, на руках (ладони) и одежде (манжеты) человека, работающего с огнестрельным оружием (не стрелок).

Остальные изображения найденных частиц приведены в приложении Г.

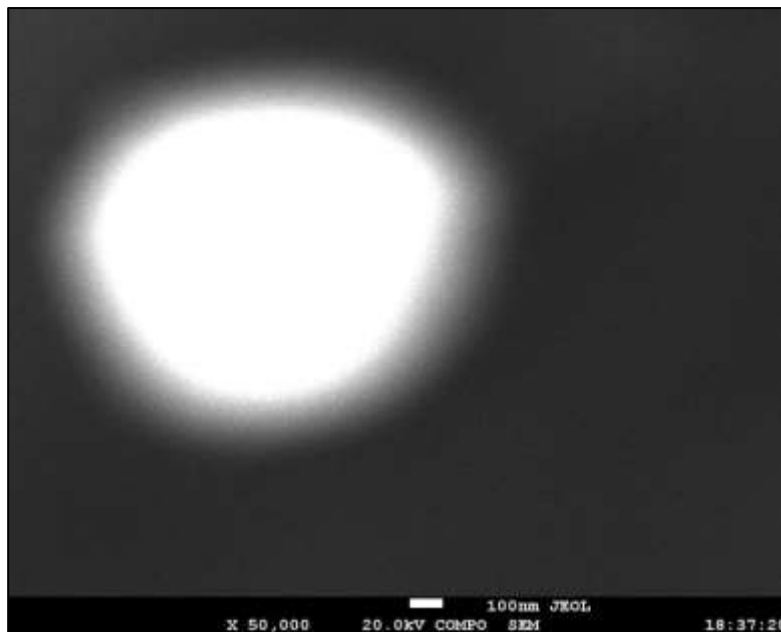


Рисунок 3.4 – Изображение частицы, обнаруженной на левой руке (ладонь) не стрелка

Размер обнаруженной частицы составляет 100 нм, форма – сферическая. Элементный состав представлен веществами, характерными для продуктов разложения капсюльного состава (сурьма, свинец, барий, олово), что позволяет отнести частицу к классу «Характерные». Является продуктом выстрела. Данная частица могла попасть на руки проверяемого лица в результате взаимодействия его с людьми, проводящими стрельбы (рукопожатие), а также при контакте с окружающей обстановкой тира (ручка двери). Кроме того, нельзя исключать возможности взаимодействия проверяемого лица с огнестрельным оружием.

Результат элементного анализа частицы, определенный с помощью рентгеновского микроанализатора, представлен в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Спектр частицы, обнаруженной на левой ладони не стрелка

Спектр частицы	Содержание элемента, %						
	Sb	Ba	Pb	Sn	Ca	Cu	Fe
	9,22	0,54	77,68	12,57	–	–	–

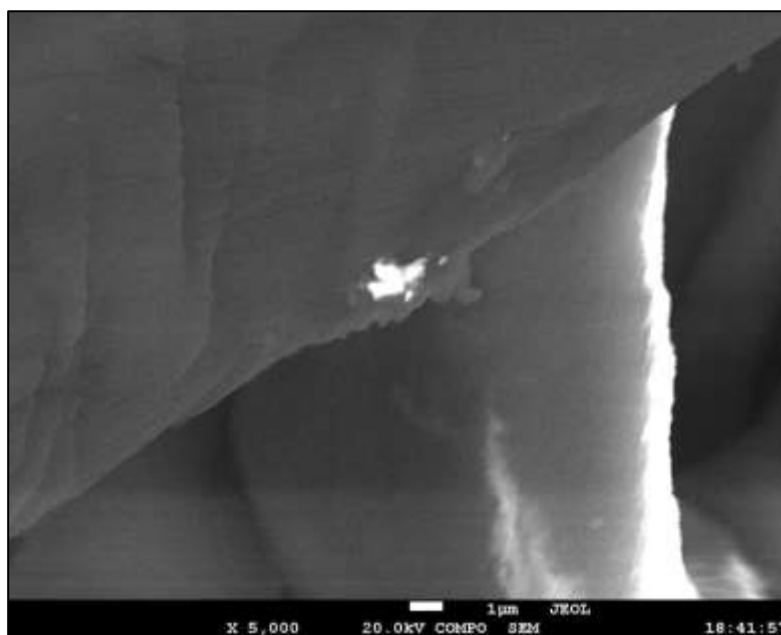


Рисунок 3.5 – Изображение частицы, обнаруженной на правой руке (ладонь) не стрелка

Размер обнаруженной частицы составляет 1 мкм, форма – неправильная. Элементный состав представлен веществами, характерными для продуктов, образующихся в результате производства выстрела (свинец, медь, железо), что позволяет отнести частицу к классу «Сопутствующие». Данная частица может быть образована в ходе целого ряда технологических процессов (сварка, пайка, обработка металла).

Результат элементного анализа частицы, определенный с помощью рентгеновского микроанализатора, представлен в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Спектр частицы, обнаруженной на правой ладони не стрелка

Спектр частицы	Содержание элемента, %						
	Sb	Ba	Pb	Sn	Ca	Cu	Fe
	–	–	32,92	–	–	64,04	3,04

Размер обнаруженной частицы составляет 1 мкм, форма – сферическая. Элементный состав представлен веществами, характерными для продуктов разложения капсюльного состава (сурьма, свинец, барий, олово), что позволяет отнести частицу к классу «Характерные». Является продуктом выстрела.

Результат элементного анализа частицы, определенный с помощью рентгеновского микроанализатора, представлен в таблице 3.6.

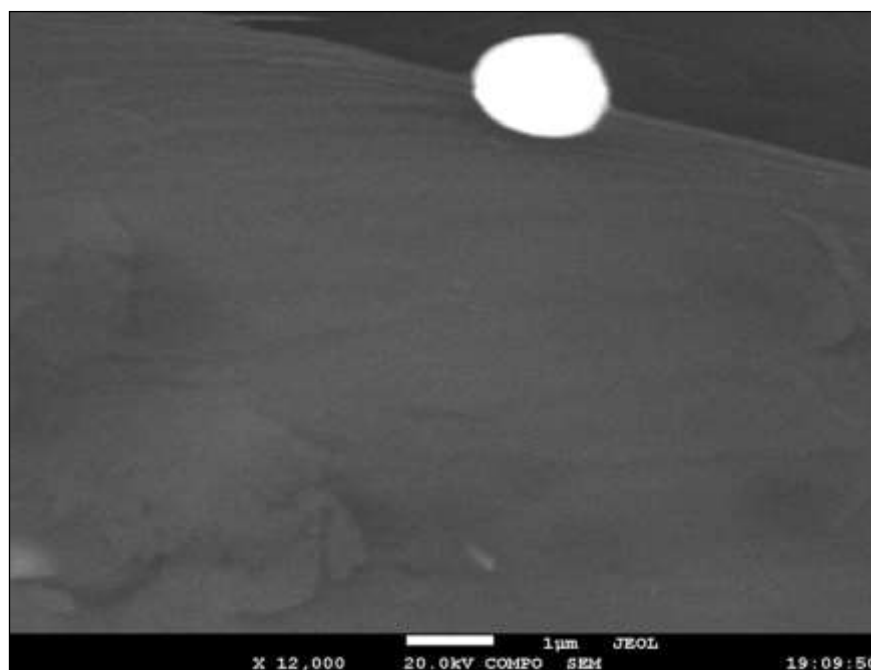


Рисунок 3.6 – Изображение частицы, обнаруженной на рукаве одежды (манжеты) не стрелка

Таблица 3.6 – Спектр частицы, обнаруженной на рукаве одежды не стрелка

Спектр частицы	Содержание элемента, %						
	Sb	Ba	Pb	Sn	Ca	Cu	Fe
	2,00	1,58	90,69	5,74	–	–	–

На рисунках 3.7 – 3.9 приведены изображения предполагаемых частиц, имитирующих состав продуктов выстрела, обнаруженные с помощью электронного растрового микроскопа, на руках и одежде человека, занимающегося синтезом элементоорганических соединений.

Остальные изображения найденных частиц приведены в приложении Д.

Размер обнаруженной частицы составляет 1 мкм, форма – сферическая. Элементный состав представлен веществами, характерными для продуктов разложения капсюльного состава (сурьма, свинец, барий, олово, кальций), что позволяет отнести частицу к классу «Характерные». Частица не является продуктом выстрела, но полностью имитирует все его характеристики (от морфологии до элементного состава).

Результат элементного анализа частицы, определенный с помощью рентгеновского микроанализатора, представлен в таблице 3.7.

Обнаружение данной частицы на человеке, не имеющего отношения к оружию, свидетельствует о том, что химическое производство может являться источником образования частиц, имитирующих следы продуктов выстрела.

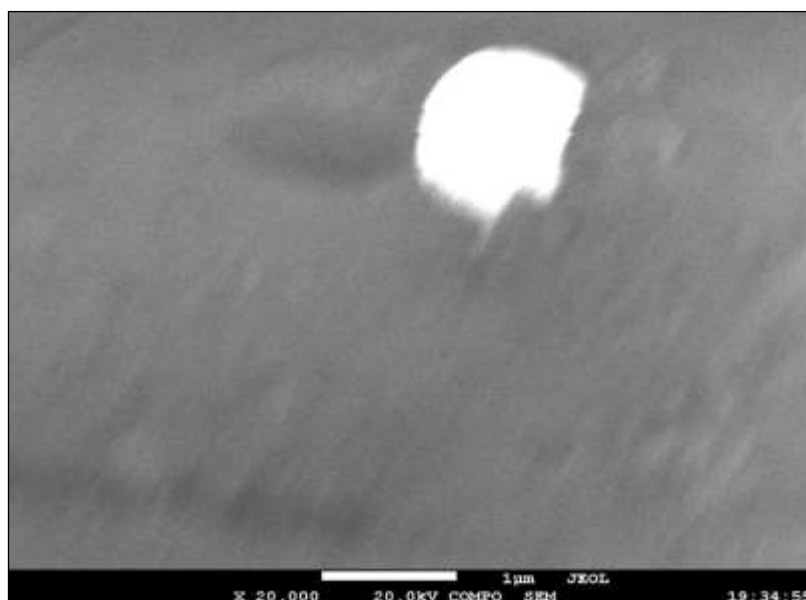


Рисунок 3.7– Изображение частицы, обнаруженной на правой руке (ладонь) научного сотрудника лаборатории «Элементоорганические соединения»

Таблица 3.7 – Спектр частицы, обнаруженной на правой ладони научного сотрудника

Спектр частицы	Содержание элемента, %						
	Sb	Ba	Pb	Sn	Ca	Cu	Fe
	13,51	27,41	33,89	18,64	6,56	–	–

Размер обнаруженной частицы составляет 1 мкм, форма – неправильная. Элементный состав представлен веществами, характерными для продуктов разложения капсульного состава (сурьма, кальций, олово, свинец, барий), что позволяет отнести частицу к классу «Характерные». Является продуктом элементоорганического синтеза. Отдельные вкрапления, входящие в состав частицы (сферы белого цвета), по отдельности, могут быть приняты за следы продуктов выстрела.

Результат элементного анализа частицы, определенный с помощью рентгеновского микроанализатора, представлен в таблице 3.8.

Результат элементного анализа частицы, определенный с помощью рентгеновского микроанализатора, представлен в таблице 3.8.

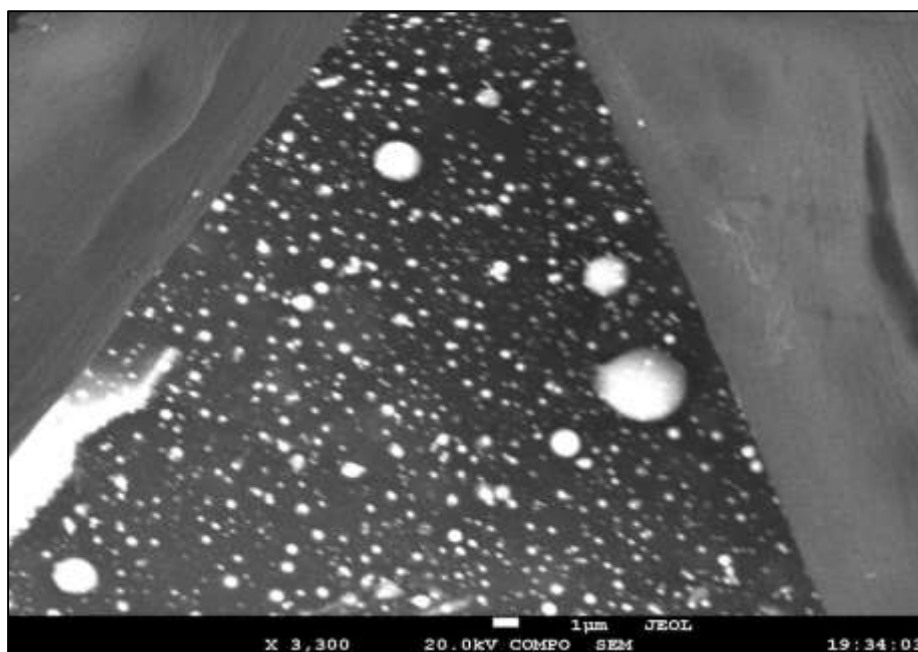


Рисунок 3.8 – Изображение частицы, обнаруженной на левой руке (ладонь) научного сотрудника лаборатории «Элементоорганические соединения»

Таблица 3.8 – Спектр частицы, обнаруженной на левой ладони научного сотрудника

Спектр частицы	Содержание элемента, %						
	Sb	Ba	Pb	Sn	Ca	Cu	Fe
	14,01	26,91	33,51	17,66	7,91	–	–

Размер обнаруженной частицы составляет 1 мкм, форма – неправильная. Элементный состав представлен одним химическим веществом (кальций), что позволяет отнести данную частицу к классу «Нехарактерные». Не является продуктом выстрела. Образование частицы связано с разрушением структуры мела (CaCO_3) при письме.

Результат элементного анализа частицы, определенный с помощью рентгеновского микроанализатора, представлен в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Спектр частицы, обнаруженной на рукаве одежды научного сотрудника

Спектр частицы	Содержание элемента, %						
	Sb	Ba	Pb	Sn	Ca	Cu	Fe
	–	–	–	–	100,00	–	–

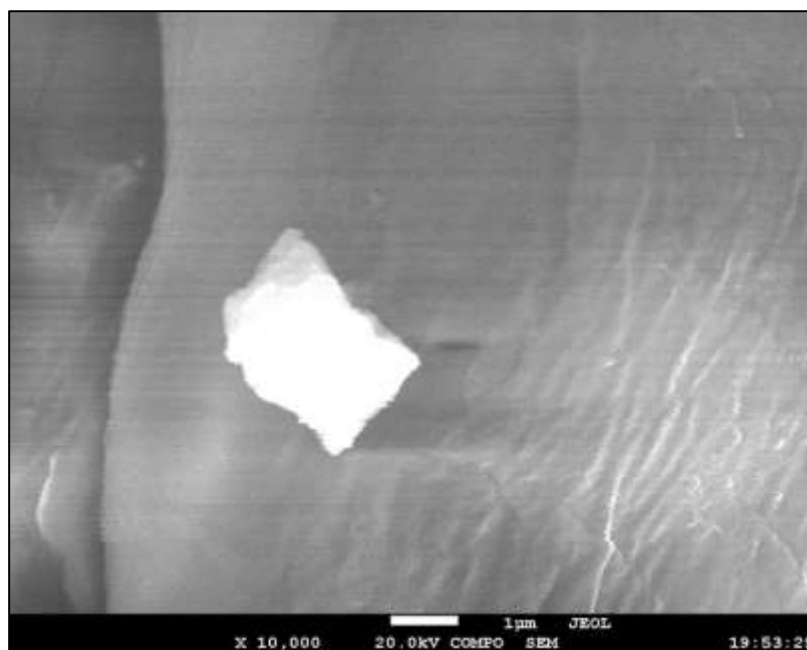


Рисунок 3.9 – Изображение частицы, обнаруженной на рукаве одежды (манжеты) научного сотрудника лаборатории «Элементоорганические соединения»

Во второй части эксперимента, исследование микрочастиц проводилось на атомно-эмиссионном спектрометре ИСП-30.

По полученным атомно-эмиссионным спектрам был определен качественный состав анализируемых проб. Концентрация индивидуальных элементов в смывах была определена полуколичественным анализом (относительная концентрация).

В спектре контрольной пробы (рисунок 3.10), не содержалось элементов, характерных для следов продуктов выстрела. Отчетливо видны линии углерода и внутреннего стандарта (Co).

В таблице 3.10 представлено относительное содержание элементов в контрольной пробе.

Таблица 3.10 – Относительное содержание элементов в контрольной пробе.

Элемент	λ , нм	$I_{\text{отн}} = \frac{I_a}{I_{\text{ср}}}$	Относительное содержание, %
C	247,86	53,90	53,90

Аналитическая линия углерода ($\lambda = 247,86$ нм) и линия сравнения кобальта ($\lambda = 242,49$ нм) образуют аналитическую пару линий. Относительная интенсивность ($I_{\text{отн}} = 53,90$) пропорциональна концентрации углерода в пробе и составляет $\approx 53,90$ %.

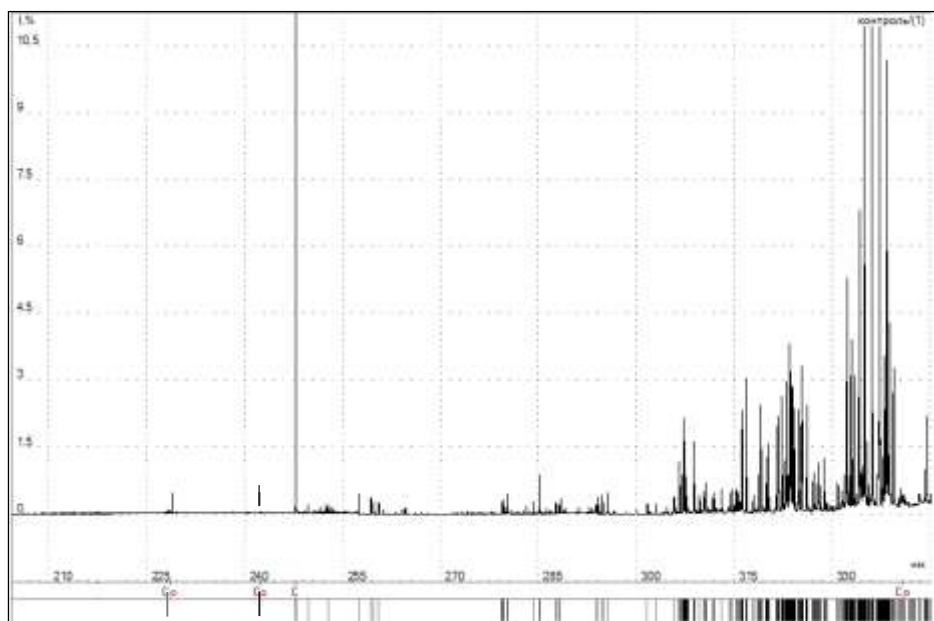


Рисунок 3.10 – Атомно-эмиссионный спектр контрольной пробы

На спектре смыва, полученного с правой руки (тыльная сторона кисти) стрелка (рисунок 3.11), отчетливо видны линии элементов, характерных для следов продуктов выстрела (Sb, Ba, Pb, Cu, Hg, Sn). Также присутствуют линии внутреннего стандарта (Co).

В таблице 3.11 представлено относительное содержание элементов в смыве стрелка (правая рука – тыльная сторона).

Таблица 3.11 – Относительное содержание элементов в пробе стрелка (тыльная сторона руки).

Элемент	λ , нм	$I_{\text{отн}} = \frac{I_a}{I_{\text{сп}}}$	Относительное содержание, %
Sb	231,15	1,20	1,20
Sn	284,00	0,65	0,65
Ba	455,40	1,25	1,25
Pb	405,78	13,90	13,90
Cu	324,75	2,58	2,58
Hg	312,57	0,22	0,22
C	247,86	32,40	32,40
Zn	213,86	0,21	0,21

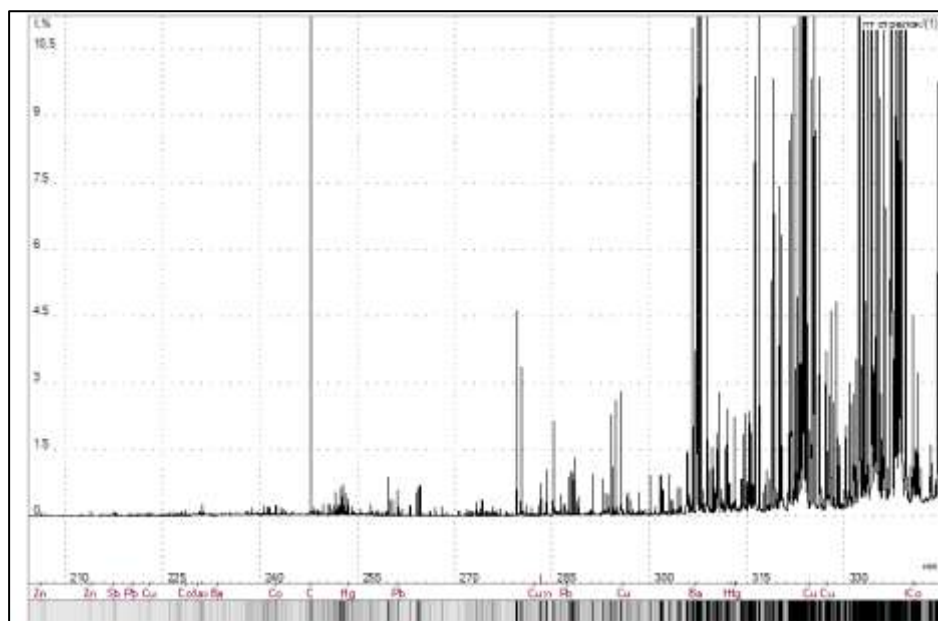


Рисунок 3.11 – Атомно-эмиссионный спектр смыва, взятого с правой руки (тыльная сторона) стрелка

На спектре смыва, полученного с правой ладони руки не стрелка (рисунок 3.12), отчетливо видны линии элементов, характерных для следов продуктов выстрела (Sb, Ba, Pb, Cu, Hg, Sn).

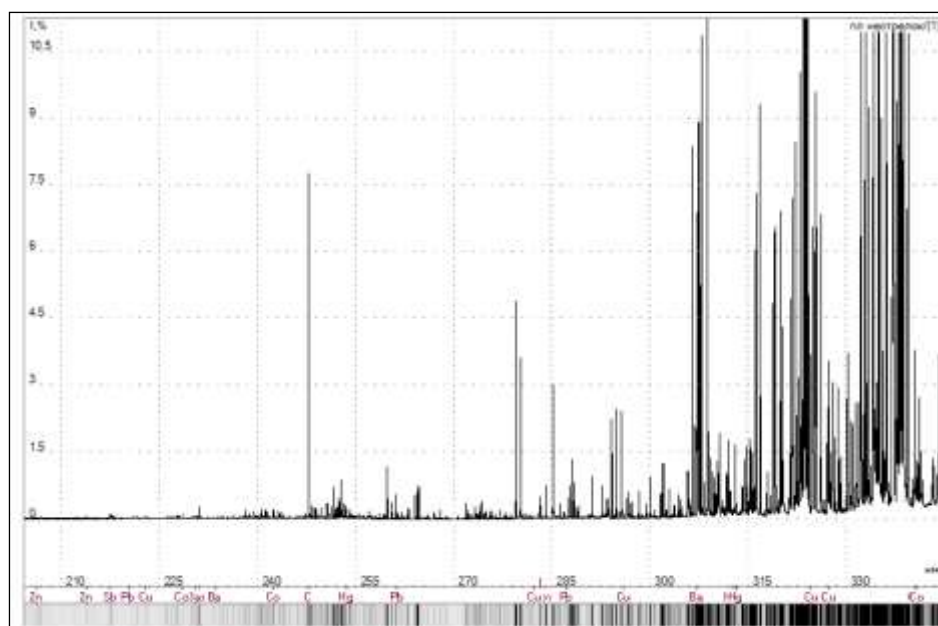


Рисунок 3.12 – Спектр смыва, взятого с правой руки (ладонь) не стрелка

В таблице 3.12 представлено относительное содержание элементов в смыве стрелка (правая рука – ладонь).

Таблица 3.12 – Относительное содержание элементов в пробе не стрелка (правая ладонь).

Элемент	λ , нм	$I_{\text{отн}} = \frac{I_a}{I_{\text{ср}}}$	Относительное содержание, %
Sb	231,15	1,36	1,36
Sn	284,00	0,17	0,17
Ba	455,40	1,26	1,26
Pb	405,78	8,22	8,22
Cu	327,39	7,78	7,78
Hg	312,57	0,21	0,21
C	247,86	17,80	17,80
Zn	213,86	0,13	0,13

На спектре смыва, полученного с правой ладони руки научного сотрудника лаборатории «Элементоорганические соединения» (рисунок 3.13), отчетливо видны линии элементов, характерных для следов продуктов выстрела (Sb, Ba, Pb, Cu, Hg, Sn).

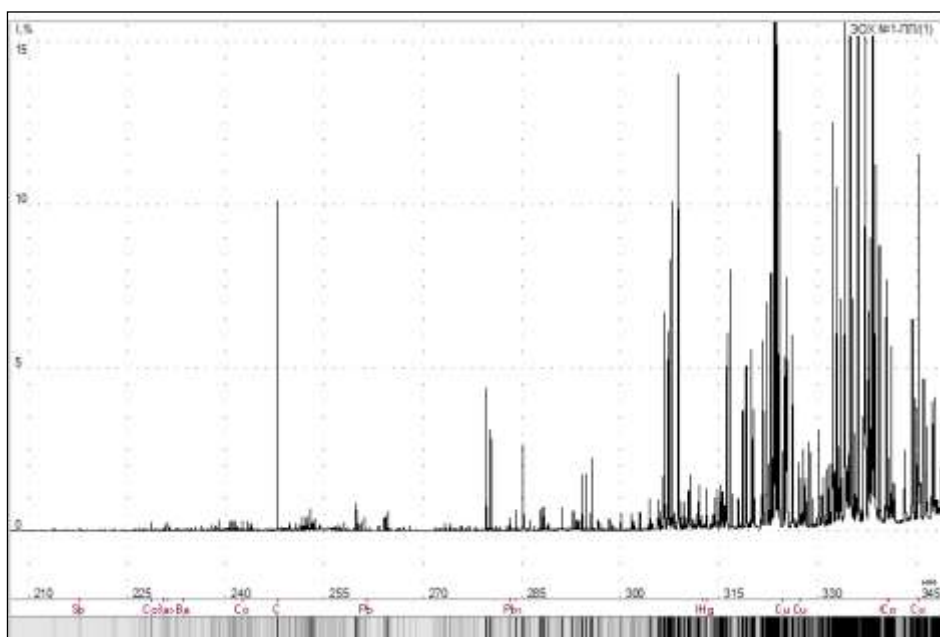


Рисунок 3.13 – Спектр смыва, взятого с правой руки (ладонь) научного сотрудника лаборатории «Элементоорганические соединения»

В таблице 3.13 представлено относительное содержание элементов в смыве научного сотрудника лаборатории «Элементоорганические соединения» (правая рука – ладонь).

Таблица 3.13 – Относительное содержание элементов в пробе научного сотрудника лаборатории «Элементоорганические соединения» (правая ладонь).

Элемент	λ , нм	$I_{\text{отн}} = \frac{I_a}{I_{\text{ср}}}$	Относительное содержание, %
Sb	231,15	0,86	0,86
Sn	284,00	0,10	0,10
Ba	455,40	0,04	0,04
Pb	405,78	0,12	0,12
Cu	327,39	0,03	0,03
Hg	312,57	0,12	0,12
C	247,86	22,10	22,10
Zn	213,86	0,18	0,18

На спектре смыва, полученного с правой ладони руки научного сотрудника лаборатории «Теория металлургических процессов» (рисунок 3.14), отчетливо видны линии элементов, характерных для следов продуктов выстрела (Sb, Ba, Pb, Cu, Hg, Sn).

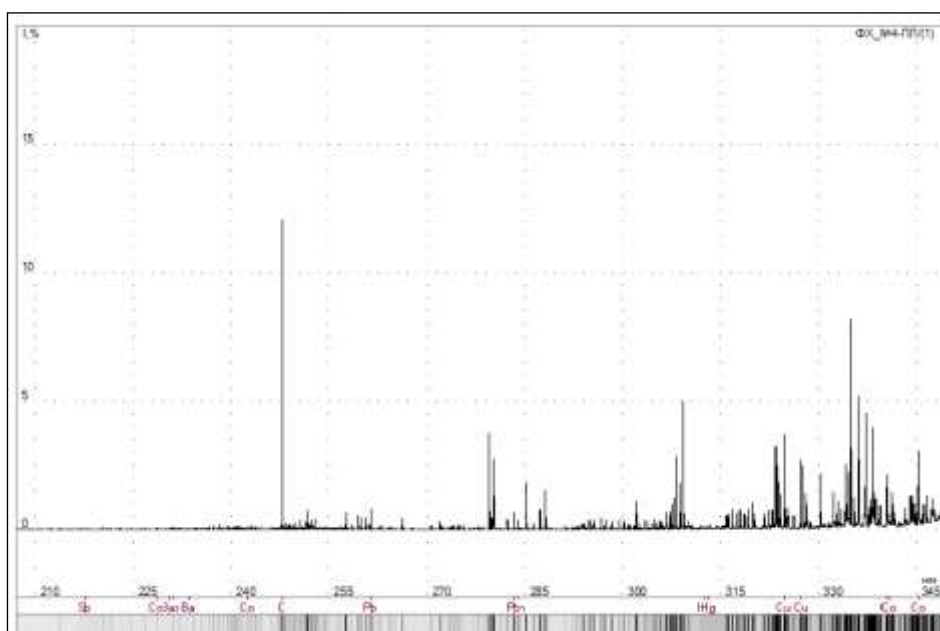


Рисунок 3.14 – Спектр смыва, взятого с правой руки (ладонь) научного сотрудника лаборатории «Теория металлургических процессов»

В таблице 3.14 представлено относительное содержание элементов в смыве научного сотрудника лаборатории «Теория металлургических процессов» (правая рука – ладонь).

Таблица 3.14 – Относительное содержание элементов в пробе научного сотрудника лаборатории «Теория металлургических процессов» (правая ладонь).

Элемент	λ , нм	$I_{\text{отн}} = \frac{I_a}{I_{\text{сп}}}$	Относительное содержание, %
Sb	217,58	0,75	0,75
Sn	284,00	3,59	3,59
Ba	230,42	0,12	0,12
Pb	261,42	16,70	16,70
Cu	324,75	1,10	1,10
Hg	313,18	0,06	0,06
C	247,86	25,20	25,20
Zn	206,20	0,23	0,23

По результатам эмиссионного спектрального анализа удалось установить, что относительное содержание элементов, характерных для следов продуктов выстрела, на руках людей, имеющих отношение к огнестрельному оружию, гораздо выше, чем у научных сотрудников лабораторий, хотя качественный состав остался неизменным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе результатов проделанной работы можно сделать следующие выводы:

1. В научной литературе отсутствуют данные о фоновом содержании микрочастиц, состав которых подобен элементному составу следов продуктов выстрела, в производственной сфере.

2. В ходе эксперимента установлено, что частицы, характерные для следов продуктов выстрела, но таковыми не являющиеся, способны имитировать продукты выстрела.

3. Методом сканирующей электронной микроскопии найдено, что «производственные» частицы имеют характерную для следов продуктов выстрела форму (сферическая, произвольная), а также аналогичный элементный состав, характерный для продуктов разложения капсюльного состава (Sb, Ba, Pb, Sn, Cu).

4. Методом эмиссионного спектрального анализа установлено, что относительное содержание некоторых элементов, характерных для следов продуктов выстрела, на руках людей, имеющих отношение к огнестрельному оружию, на порядок больше, чем у научных сотрудников лабораторий, хотя качественный состав остался неизменным.

5. Проведение экспертизы по исследованию следов продуктов выстрела одним методом анализа, нецелесообразно. Необходимо применять комплекс методов (электронная сканирующая микроскопия, атомно-эмиссионный спектральный анализ, хромато-масс-спектрометрия и др.).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Годовой отчёт о ходе реализации и оценке эффективности государственной программы за 2018 год. МВД РФ (Обеспечение общественного порядка и противодействие преступности). – М.: МВД России, 2018. – 64 с.
- 2 Хрусталеv, В.Н. Участие специалиста криминалиста в следственных действиях и оперативно-розыскных мероприятиях. Конспект лекций: учебное пособие / В.Н. Хрусталеv, В.В. Зайцев. – Саратов: СЮИ МВД России, 2009. – 513 с.
- 3 Каляженков, А.Н. Взрывчатые вещества и пороха: учебное пособие / А.Н. Каляженков, Д.П. Мальгин. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – 140 с.
- 4 Выявление продуктов выстрела на руках и одежде проверяемых лиц с целью установления факта производства ими стрельбы: методические рекомендации / М.В. Ануфриев, Л.В. Бачурин, А.А. Мокроусов и др. – М.: ЭКЦ МВД России, 1999. – 33 с.
- 5 Фиошина, М.А. Основы химии и технологии порохов и твердых ракетных топлив: учебное пособие / М.А. Фиошина, Д.Л. Русин. – М.: Изд-во РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2001. – 207 с.
- 6 Современная пиротехника. – <https://clck.ru/GZDjx>.
- 7 Дворянинов, В.Н. Боевые патроны стрелкового оружия: монография: в 4 ч. Ч. 2: Современные зарубежные патроны / В.Н. Дворянинов. – М.: Д'Соло, 2015. – 488 с.
- 8 Патроны к стрелковому оружию. – <https://bookree.org/reader?file=770869>
- 9 Криминалистика: учебник для вузов / Т.В. Аверьянова, Р.С. Белкин, Ю.Г. Корухов, Е.Р. Российская; под ред. Р.С. Белкина. – М.: Изд-во НОРМА (Издательская группа НОРМА - ИНФРА - М), 2000. – 990 с.
- 10 ГОСТ Р 52165–2003. Материалы лакокрасочные. Лаки. Общие технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 9 с.
- 11 Митричев, В.С. Основы криминалистического исследования материалов, веществ и изделий из них: учебное пособие / В.С. Митричев, В.Н. Хрусталеv. – СПб: Питер, 2003. – 198 с.
- 12 Возможности современной методики криминалистического исследования следов продуктов выстрела, образующихся при применении огнестрельного оружия ограниченного поражения / Т.А. Зотов, И. Б. Афанасьев, Т.Ю. Юдина и др. // Современные проблемы криминалистики и судебной экспертизы: сб. науч. тр. – Саратов: Изд-во Саратовский источник, 2017. – С. 98–119.
- 13 Захаревич, А.М. Качественный анализ фонового содержания микрочастиц, характерных для продуктов выстрела / А.М. Захаревич, С.Б. Вениг // Известия Саратовского университета. Новая серия, Серия «Экономика, управление, право». – 2016. – Т. 16. – Вып. 2. – № 16. – С. 205–209.
- 14 ГОСТ 194-80. Дифениламин технический. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 8 с.

15 Казимиров, В.И. Применение атомно-абсорбционной спектроскопии для определения компонентов продуктов выстрела на руках стрелявшего человека / В.И. Казимиров, А.Д. Зорин, В.Ф. Занозина // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2007. – № 6. – С. 81–86.

16 Микляева, О.В. Методы экспертного исследования следов выстрела / О.В. Микляева // Теория и практика судебной экспертизы: научно-практический журнал. – 2010. – № 2(18). – С. 162–165.

17 Лейстнер, Ласло. Химия в криминалистике: монография / Ласло Лейстнер, Пирошка Буйташ; пер. с венг. И.В. Мишина; под ред. Н.М. Кузьмина. – М.: Мир, 1990. – 302 с.

18 Зеер, Г.М. Применение сканирующей электронной микроскопии в решении актуальных проблем материаловедения / Г.М. Зеер, О.Ю. Фоменко, О.Н. Ледяева // Журнал Сибирского федерального университета. Химия. – 2009. – Вып. 4. – № 2. – С. 287–293.

19 Лабораторные работы по теме «Сканирующая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ». – <https://clck.ru/GKjRU>.

20 Растровая электронная микроскопия. – <https://clck.ru/GKjTy>.

21 Емельянова, Ю.В. Спектроскопические методы анализа в аналитической химии: практикум / Ю.В. Емельянова, М.В. Морозова, Е.С. Буянова. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017. – 88 с.

22 Многоканальные анализаторы эмиссионных спектров МАЭС – средство измерения для атомно-эмиссионного спектрального анализа / В.А. Лабусов, Д.О. Селюнин, И.А. Зарубин и др. // ВМК-Оптоэлектроника. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. – 12 с.

ABSTRACT

Egorov A.V. Investigation of the possibility of accidental imitation of traces of product shots in manufacture – Chelyabinsk: SUSU, ET-431, 2019. – 52 p., 31 fig., 17 tables, 22 references, 5 app.

Key words: traces of product shots, powder charge, capsule composition, scanning electron microscopy, atomic emission analysis.

The object of the research is the alleged carriers of traces of product shots (swabs) taken from the hands and clothes of persons of various professional activities.

The aim of the study is to conduct a comparative analysis of the traces of the product shots and particles formed during production processes using electron scanning microscopy and atomic emission spectral analysis.

To achieve this aim, the following objectives were solved:

- the analysis of domestic and foreign literature on the problem of researching shot products was carried out;
- swabs from hands and clothes of persons related to weapons and persons engaged in production activities were analyzed;
- the morphological characteristics of the particles and their elemental composition were determined using electron scanning microscopy;
- the qualitative composition of the samples was determined by atomic emission spectroscopy, a semi-quantitative analysis of the individual elements in the swabs was carried out;
- a comparative analysis of the traces of product shots with particles formed as a result of production processes was attempted.

Scope – the data obtained are of practical importance for the staff of Forensic institutions in solving various forensic problems.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Общая классификация порохов и твердых ракетных топлив

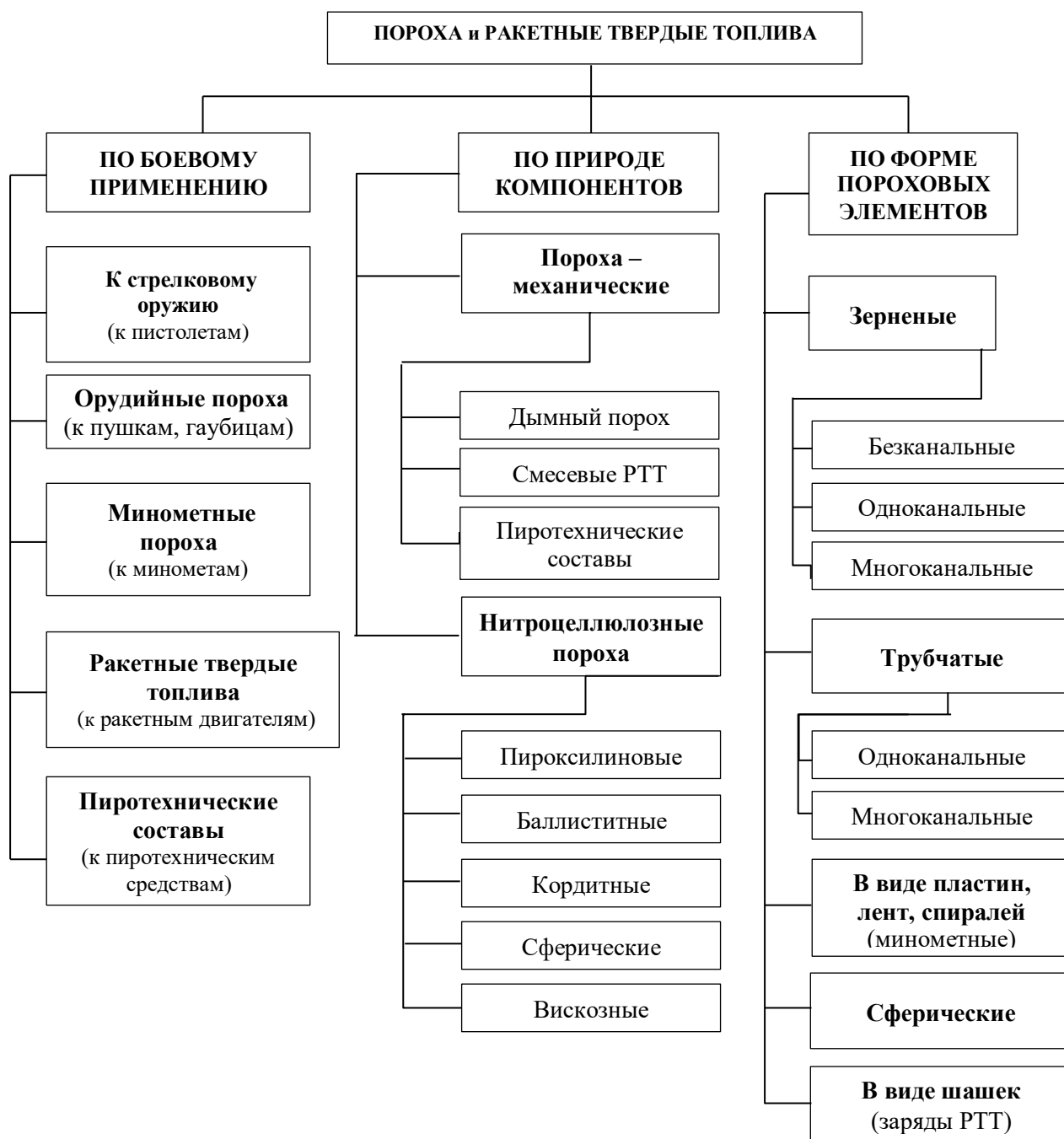


Рисунок А.1 – Общая классификация порохов и твердых ракетных топлив

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Продукты выстрела, происходящие от материала боеприпасов и конструкции ствола огнестрельного оружия

Источник происхождения	Элемент
Ствол оружия	Fe, Cr
Гильза	Fe, Cu, Zn
Капсюль	Fe, Cu, Zn, Sn, Pb
Пуля безоболочечная	Pb
Пуля оболочечная	Fe, Cu, Zn, Ni
Сердечник пули	Fe, Cu, Zn, Al, W, Pb
Пуля с трассером	Ba, Mg, Sr, Na

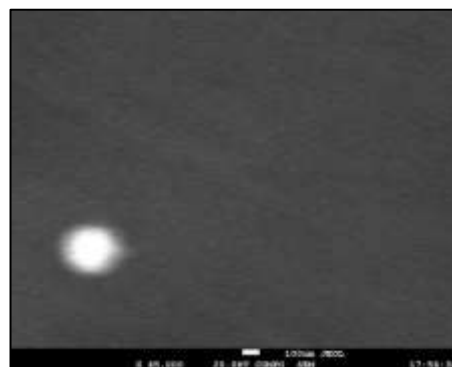
Рисунок Б.1 – Элементы (металлы), входящие в состав продуктов выстрела

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Изображения частиц, обнаруженных с помощью электронного растрового микроскопа, на руках и одежде человека, производившего серию выстрелов (стрелок)



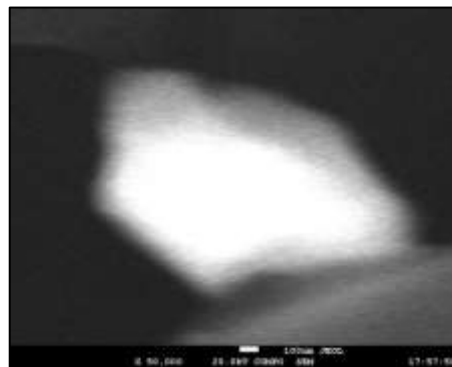
A



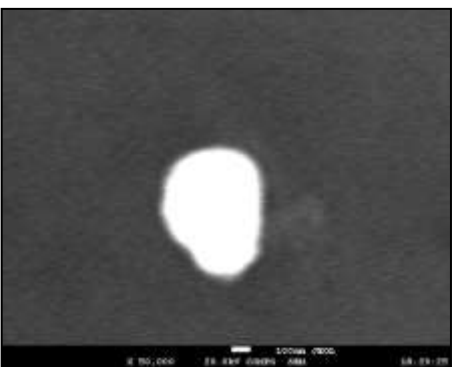
B



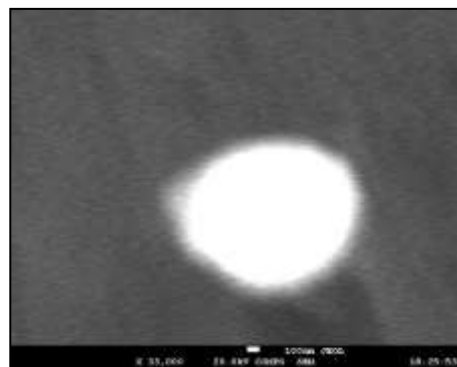
B



G



D



E

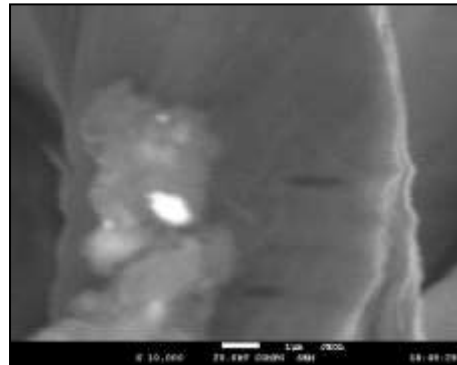
Рисунок В.1 – Изображение морфологии частиц следов продуктов выстрела во вторичных электронах, для образцов:
A – B – с поверхности кожного покрова обеих рук стрелка;
G – E – с рукавов одежды (манжеты) стрелка

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Изображения частиц, обнаруженных с помощью электронного растрового микроскопа, на руках и одежде человека, работающего с огнестрельным оружием (не стрелок)



A



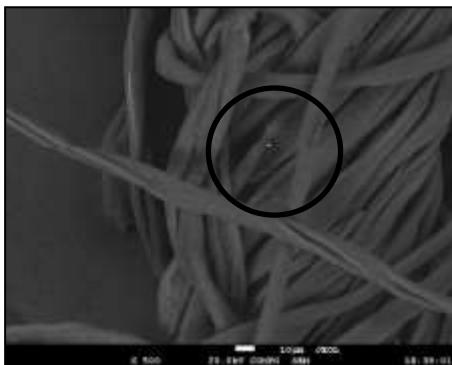
B



V



G



D

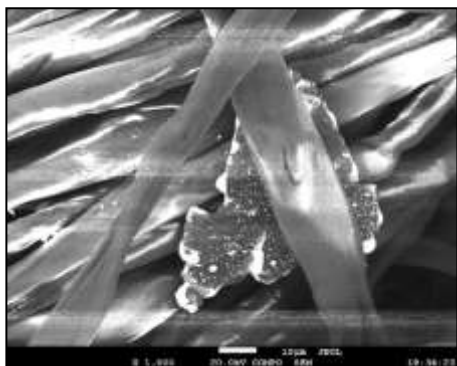


E

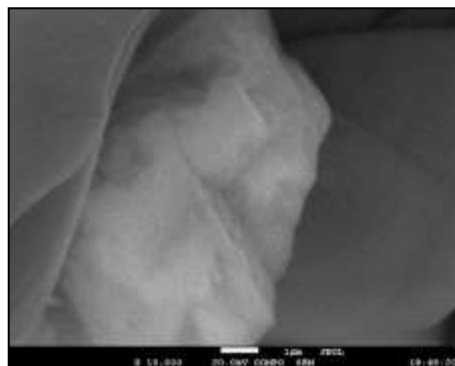
Рисунок Г.1 – Изображение морфологии частиц во вторичных электронах, для образцов:
A – B – с поверхности кожного покрова обеих рук (ладони) не стрелка;
Г – E – с рукавов одежды (манжеты) не стрелка

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Изображения частиц, обнаруженных с помощью электронного растрового микроскопа, на руках и одежде научного сотрудника лаборатории «Элементоорганические соединения»



A



B



B



Г



Д



E

Рисунок Д.1 – Изображение морфологии частиц во вторичных электронах, для образцов:
A – B – с поверхности кожного покрова обеих рук (ладони);
Г – E – с рукавов одежды (манжеты) научного сотрудника лаборатории «Элементоорганические соединения»