



www.volsu.ru

ИННОВАЦИИ В МЕТАЛЛУРГИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ

DOI: <https://doi.org/10.15688/jvolsu10.2017.2.6>

УДК 343.983.22

ББК 67.521.4

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ, СОДЕРЖАЩИХ УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ, В КРИМИНАЛИСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Илья Борисович Афанасьев

Главный эксперт отдела экспертиз с применением физических методов ЭКЦ МВД России
ilya_afanasev@pisem.net
ул. Зои и Александра Космодемьянских, 5, 125130 г. Москва, Российская Федерация

Юрий Алексеевич Дружинин

Начальник отдела баллистических учетов ЭКЦ МВД России
eko47@mail.ru
ул. Зои и Александра Космодемьянских, 5, 125130 г. Москва, Российская Федерация

Игорь Владимирович Латышов

Кандидат юридических наук, начальник учебно-научного комплекса
экспертно-криминалистической деятельности,
Волгоградская академия МВД России
latyshov@gmail.com
ул. Историческая, 130, 400089 г. Волгоград, Российская Федерация

Василий Алексеевич Васильев

Кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры трасологии и баллистики
учебно-научного комплекса экспертно-криминалистической деятельности,
Волгоградская академия МВД России
v-vasiliev@inbox.ru
ул. Историческая, 130, 400089 г. Волгоград, Российская Федерация

© Афанасьев И.Б., Дружинин Ю.А., Латышов И.В., Васильев В.А., Запорожцова И.В., Ермакова Т.А., 2017

Ирина Владимировна Запороцкова

Доктор физико-математических наук, директор института приоритетных технологий,
профессор кафедры судебной экспертизы и физического материаловедения,
Волгоградский государственный университет
sefm@volsu.ru
просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

Татьяна Александровна Ермакова

Кандидат химических наук,
доцент кафедры судебной экспертизы и физического материаловедения,
Волгоградский государственный университет
taermakova@volsu.ru
просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. При производстве боеприпасов с целью их последующей дифференциации по областям применения (гражданские и военные боеприпасы) в развитых странах принято вводить метки. В качестве таких меток используют редко встречающиеся в природе элементы. Большим минусом всех этих материалов является их токсичное воздействие на организм человека. Несмотря на различия в технологии изготовления среди отечественных производителей порохов, нами предпринята попытка решения задачи дифференцирования продуктов выстрела с использованием модельных смесей, содержащих углеродные нанотрубки (далее УНТ). Как показали результаты исследований модельных смесей, УНТ являются достаточно стойкими к воздействию высоких температур. Исследование продуктов сгорания пороха и углеродного нанотрубного материала проведено методом атомно-силового сканирования с помощью прибора SolverPro.

Ключевые слова: криминалистические исследования, продукты выстрела, углеродные наноматериалы, электронная микроскопия, модельная смесь.

Факт производства стрельбы подозреваемыми лицами является важной косвенной уликой, свидетельствующей о совершении преступлений с применением огнестрельного оружия. Необходимость в проведении экспертных исследований с целью установления этого факта возникает все чаще в связи с ростом числа преступлений – убийств, разбойных нападений, террористических актов и др., совершаемых с применением огнестрельного оружия.

Современная практика производства экспертиз с использованием физико-химических методов анализа находит широкое применение в исследовании продуктов выстрела. Разработанные методики предполагают получение информации о виде пороха, его сорте, определение принадлежности сгоревших, несгоревших частей, металлов и др. продуктов вы-

стрела. В целях повышения качества диагностирования и установления определенного вида боеприпаса (групповая принадлежность) прорабатывается вопрос о возможности их маркирования.

Системы, применяемые для рентгено-спектрального анализа в судебно-экспертных исследованиях, и, в частности, для исследования огнестрельных повреждений используются достаточно давно. С их помощью определяют дополнительные факторы выстрела и высокоинформативные признаки, пригодные для диагностики использованных боеприпасов.

Сравнительный анализ отложения металлов выстрела, обнаруживаемых как на повреждениях, так и на коже или одежде стрелявшего, показал, что на поверхности частиц пороха, изъятых из огнестрельных повреждений, обнаруживаются различные частицы, содер-

жащие такие химические элементы: Pb, Ca, Si, Sb, Sn, S, Fe, Cu, Zn, W, Al и ряд других, которые могут являться как остатками ударного состава капсулей-воспламенителей, появиться как компонент пороха, входить в состав иницирующего вещества, а также могли быть перенесены в частицы пороха в процессе производства в виде примесей или введены при изготовлении пороха для придания ему тех или иных свойств или же являться материалом ствола огнестрельного оружия. Использование трассирующих или зажигательных пуль приводит к появлению в составе продуктов выстрела дополнительных элементов, таких как Ba, Sr, Mg, Na.

Образующиеся продукты выстрела отлагаются в канале ствола оружия, на боеприпасах, пораженном объекте, руках и одежде стрелявшего и предметах окружающей обстановки.

Несмотря на то что продукты выстрела содержат смесь как органических (неполное сгорание пороха), так и неорганических веществ, дискуссионными являются вопросы, касающиеся отбора проб продуктов выстрела с поверхности кисти руки или одежды стрелявшего, выявление ошибок в определении тех или иных элементов и т. п., присутствующих методу электронной микроскопии с микронзондовым рентгеноспектральным анализом. Это происходит не из-за ненадежности метода, а из-за внешних загрязнений и статистических факторов.

Для решения диагностических и идентификационных задач, касающихся применения огнестрельного оружия, исследователи предлагают вводить нейтральные к воздействию высоких температур и высоких давлений метки в пороховой заряд. Однако такие материалы являются достаточно токсичными к окружающей среде, поэтому в качестве меток для порохового заряда нами предложено использовать углеродные наноматериалы, например нанотрубки (УНТ).

Преимуществом данных меток является разработанность и относительная доступность процессов их получения. УНТ, применяемые в данной работе, получали каталитическим пиролизом этанола. Метод каталитического пиролиза основан на том, что газообразный источник углерода разлагается на катализаторе на углерод, который адсорбирует-

ся и растворяется в катализаторе. Рост углеродных нанотрубок происходит по принципу образования зародыша углерода на поверхности капли катализатора с последующим его разрастанием и образованием наноструктуры. Меняя условия процесса, такие как катализатор и давление, имеется возможность изменять свойства УНТ – получать как наноуглеродные материалы, так и материалы, интеркалированные металлами катализатора.

С целью изучения стойкости УНТ к высоким температурам было предложено ввести их в пороховой заряд боеприпасов.

На рисунках 1–3 представлены изображения исходного углеродного нанотрубного материала, выращенного на установке CVDomna методом каталитического пиролиза с использованием Ni-Cr катализатора. Оценку размерных характеристик осуществляли методами атомно-силовой микроскопии (SolverPro, производитель NT-MDT) – полуконтактный режим, и сканирующей электронной микроскопии (сканирующий электронный микроскоп TESCAN VEGA II XMU).

Для исключения влияния посторонних частиц, образующихся в результате воздействия иницирующего вещества капсульного состава, загрязнений вносимых от ствола огнестрельного оружия и материала пули, проведено физическое моделирование процесса образования продуктов выстрела путем сжигания бездымного пороха в тигле при атмосферном давлении. Полученный остаток исследован с помощью атомно-силового микроскопа SolverPRO в полуконтактном режиме (см. рис. 4–5). Продукты сгорания представлены преимущественно в виде полусфер, равномерно распределенных по поверхности подложки, размер которых колеблется в интервале от 300 до 650 нм.

Для определения возможности применения в качестве маркеров УНТ нами использовалась модельная смесь бездымного пороха и углеродного нанотрубного материала при различных соотношениях. Далее модельную смесь подвергали термическому воздействию при атмосферном давлении. Методом атомно-силовой микроскопии в данной модельной смеси обнаружены продолговатые структуры в форме «червей», что свидетельствует о наличии углеродных нанотрубок.

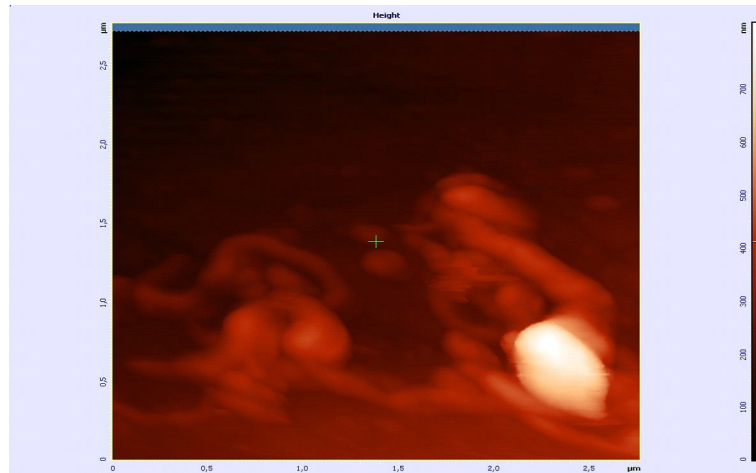


Рис. 1. Увеличенное 2D изображение углеродного нанотрубного материала (катализатор никель-хром), полученное с помощью атомно-силовой микроскопии

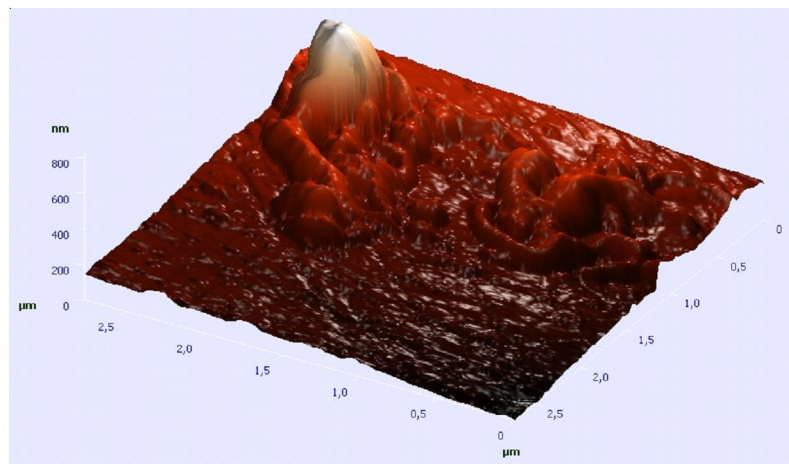


Рис. 2. Увеличенное 3D изображение углеродного нанотрубного материала (катализатор никель-хром), полученное с помощью атомно-силовой микроскопии

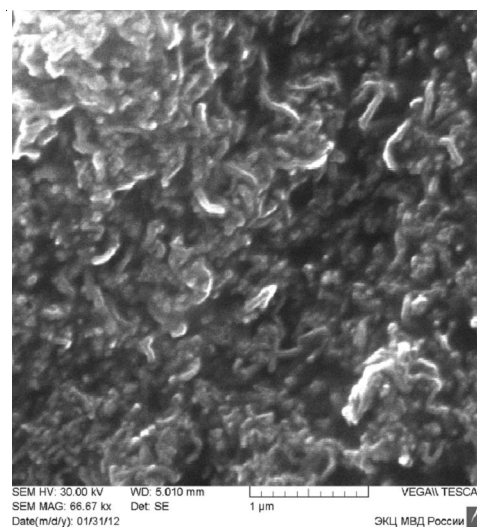


Рис. 3. Увеличенное изображение углеродного нанотрубного материала (катализатор никель-хром), полученное с помощью детектора вторичных электронов (SE) сканирующего электронного микроскопа

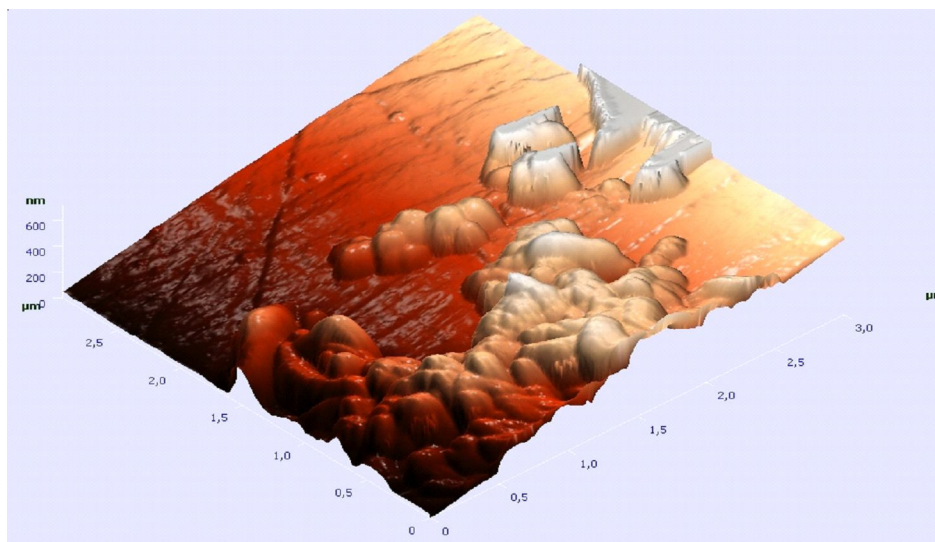


Рис. 4. Увеличенное 3D изображение углеродного нанотрубного материала (катализатор никель-хром) и продуктов сгорания пороха, полученное с помощью атомно-силовой микроскопии

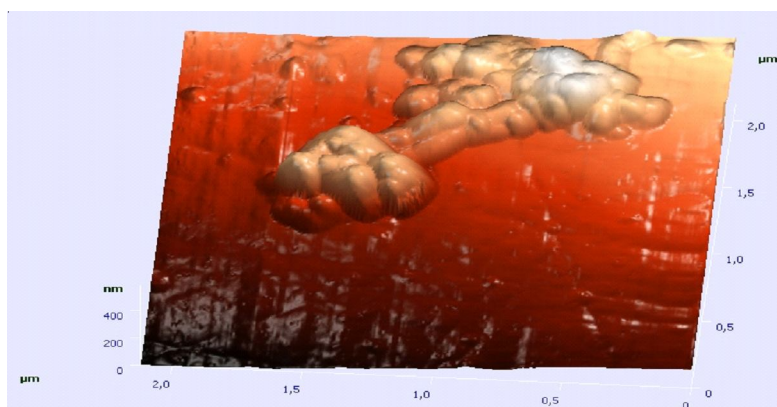


Рис. 5. Увеличенное 3D изображение углеродного нанотрубного материала (катализатор никель-хром) и продуктов сгорания пороха, полученное с помощью атомно-силовой микроскопии

Однако в отличие от представленных изображений (см. рис. 2, 6) на поверхности поликоровой подложки при сгорании модельной смеси наблюдаются полусферические структуры, разнообразные агломераты, которые возможно представляют собой продукты высокотемпературного как физического, так и химического взаимодействия.

Как показали результаты исследований, при введении УНТ в порох они не сгорают при достаточно больших температурах, что делает их применение в качестве маркеров возможным.

Применение наноуглеродных материалов, обладающих высокоразвитой поверхностной структурой и большим количеством оборванных химических связей, в условиях

высоких температур приводит к образованию разнообразнейших агломератов, природа которых связана с их возможной химической модификацией, что наблюдалось нами при сканировании методом АСМ продуктов сгорания пороха и углеродного нанотрубного материала.

Выводы

1. В результате исследования модельных смесей продуктов сгорания бездымного пороха и УНТ с помощью метода атомно-силовой микроскопии установлено присутствие агломератов, структур, содержащих углеродные наноматериалы.

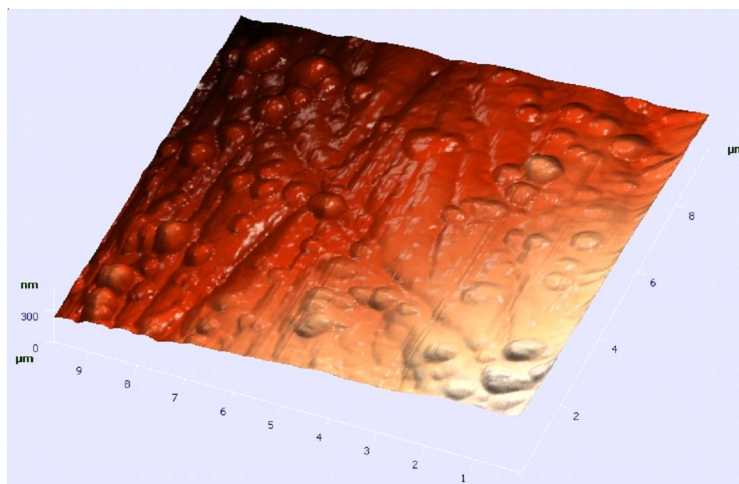


Рис. 6. Увеличенное 3D изображение бездымного пороха на поликорковой подложке, полученное с помощью атомно-силовой микроскопии

2. Таким образом, экспериментальное изучение нанокремниевых материалов (их превращения, фазовые переходы в условиях приложения высоких давлений) является актуальным как в плане получения новых функциональных материалов, так и в плане дальнейшего развития фундаментальной науки в данной области.

3. В ряде случаев можно было бы объединить преступления, препятствовать обороту боеприпасов, устанавливать групповую принадлежность по выявлению вносимых на производстве меток в порох.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вандер, М. Б. Криминалистическая экспертиза материалов, веществ, изделий / М. Б. Вандер. – СПб. : Питер, 2001. – 243 с.
2. Губеева, Е. Г. Рентгеноспектральный анализ элементного состава поверхности частиц пороха / Е. Г. Губеева, Г. М. Харин // Судебная экспертиза. – 2008. – № 2 (14). – С. 24–37.
3. A new method for collection and identification of gunshot residues from the hands of shooters / L. T. Edson [et al.] // *J. Forensic Sci.* – 2003. – Vol. 48, № 6. – P. 56–78.
4. Errors in gunshot residue assessment by scanning electron microscopy elemental analysis in criminal cases: III. Friction-brake particles assigned as “highly specific” gunshot residue particles / ed. by B. Burnett. – Meixa Tech. P.O.Box 844. – Cardiff, CA, 2007.

5. Passive exposure and persistence of gunshot residue (GSR) on bystanders to a shooting: comparison of shooter and bystander exposure to GSR/ *Can. Soc. / E. Lindsay [et al.] // J. Forensic Sci.* – 2011. – Vol. 44, № 3. – P. 89–96.

REFERENCES

1. Vander M.B. *Kriminalisticheskaya ekspertiza materialov, veshchestv, izdeliy* [Forensic Examination of Materials, Substances, Products]. Saint Petersburg, Piter Publ., 2001. 243 p.
2. Gubeeva E.G., Kharin G.M. Rentgenospektralnyy analiz elementnogo sostava poverkhnosti chastits porokha [X-Ray Analysis of the Element Composition of the Surface of Powder Particles]. *Sudebnaya ekspertiza*, 2008, no. 2 (14), pp. 24-37.
3. Edson L.T., et al. A New Method for Collection and Identification of Gunshot Residues from the Hands of Shooters. *J. Forensic Sci.*, 2003, vol. 48, no. 6, pp. 56-78.
4. Burnett B., ed. *Errors in gunshot residue assessment by scanning electron microscopy elemental analysis in criminal cases: III. Friction-brake particles assigned as “highly specific” gunshot residue particles*. Meixa Tech. P.O.Box 844. Cardiff, CA, 2007.
5. Lindsay E., et al. Passive Exposure and Persistence of Gunshot Residue (GSR) on Bystanders to a Shooting: Comparison of Shooter and Bystander Exposure to GSR. *J. Forensic Sci.*, 2011, vol. 44, no. 3, pp. 89-96.

**USING MODEL MIXTURES CONTAINING CARBON NANOTUBES
IN FORENSIC STUDIES**

Ilya Borisovitch Afanasyev

Chief Expert, Department of Investigation with the Use of Physical Methods, FSC MIA of Russia
ilya_afanasev@pisem.net
Zoi i Aleksandra Kosmodemyanskikh St., 5, 125130 Moscow, Russian Federation

Yury Alekseevich Druzhinin

Head of Department of Ballistic Records, FSC MIA of Russia
eko47@mail.ru
Zoi i Aleksandra Kosmodemyanskikh St., 5, 125130 Moscow, Russian Federation

Igor Vladimirovich Latyshov

Candidate of Juridical Sciences,
Head of the Training and Scientific Complex of Expert Criminalistic Activity,
Volgograd Academy of the Ministry of Interior of Russia
latyshov@gmail.com
Istoricheskaya St., 130, 400089 Volgograd, Russian Federation

Vasiliy Alekseevich Vasilyev

Candidate of Chemical Sciences, Senior Lecturer,
Department of Traceology and Ballistics, Training and Scientific Complex of Expert Criminalistic Activity,
Volgograd Academy of the Ministry of Interior of Russia
v-vasiliev@inbox.ru
Istoricheskaya St., 130, 400089 Volgograd, Russian Federation

Irina Vladimirovna Zaporotskova

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Director of Priority Technologies Institute,
Professor of Department of Judicial Expertise and Physical Material Science,
Volgograd State University
sefm@volsu.ru
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation

Tatyana Aleksandrovna Ermakova

Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor,
Department of Judicial Expertise and Physical Material Science,
Volgograd State University
taermakova@volsu.ru
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation

Abstract. In the production of munitions, with a view to their subsequent differentiation according to fields of application (civil and military ammunition) in developed countries, it is customary to use a label. Rare natural elements are usually used as such labels. The big drawback of these materials is their toxic effects on the human body. Despite the differences

in the technology of domestic manufacturers of gunpowder, we have attempted to solve the problem of differentiation of gunshot products, using model mixtures containing carbon nanotubes (CNTS). As shown by the results of studies of model compounds, CNTS are sufficiently resistant to high temperatures. Study of the products of combustion of gunpowder and carbon nanotube material has been conducted using an atomic force scanning device SolverPro.

Key words: forensic investigations, gunshot product, carbon nanomaterials, electron microscopy, model blend.