

---

ЮРИДИЧЕСКИЕ НАУКИ

---

УДК 343.982.3

*И. Л. Бадзюк*

ФГКОУ ВО «Восточно-Сибирский институт Министерства внутренних дел Российской Федерации», Иркутск, e-mail: demy@bk.ru

**КРИМИНАЛИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ: ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

**Ключевые слова:** физико-химические методы исследования, сканирующая зондовая микроскопия, криминалистическое материаловедение, рамановская спектроскопия, метод резерфордовского рассеяния, нанодиагностика, математическое моделирование, криминалистическая экспертиза материалов, веществ и изделий.

В работе представлен краткий обзор современных физико-химических методов, неразрушающих объекты исследования. Анализ аналитических возможностей и физических принципов, заложенных в основу рассматриваемых методов, позволяет определять перспективные направления их применения в сфере криминалистических исследований веществ и материалов. В связи с большим скачком научно-технической оснащённости преступного мира требования, предъявляемые к методам экспертных исследований, соответственно, возросли. Из ряда физико-химических методов, неразрушающих исследуемых объектов, выделены несколько, которые соответствуют современным высоким требованиям, с простой пробоподготовкой и доступным техническим оборудованием, в том числе, рамановская спектроскопия, метод резерфордовского рассеяния. Эти методы позволяют производить неразрушающий анализ элементного состава и структуры образца в приповерхностной области, при условии простой пробоподготовки и большого объема получаемой информации об объекте. В работе рассмотрено современное направление внедрения достижений научно-технического прогресса в экспертную практику такое, как нанодиагностика. Отмечены ее возможности, перспективы развития на примере исследований криминалистических объектов методами атомно-зондовой микроскопии. Также в работе сформулированы возможности применения математического моделирования в качестве метода неразрушающего контроля, как «инструмента» для интерпретации эмпирических результатов исследований свойств криминалистических объектов.

*I. L. Badzyuk*

Federal State Public Institution of Higher Education «East-Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation», Irkutsk, e-mail: demy@bk.ru

**FORENSIC METHODS OF NON-DESTRUCTIVE TESTING: DEVELOPMENT PROSPECTS**

**Keywords:** physicochemical research methods, scanning probe microscopy, forensic materials science, Raman spectroscopy, Rutherford scattering method, nanodiagnostics, mathematical modeling, forensic examination of materials, substances and products.

The paper presents a brief overview of modern physicochemical methods that do not destroy the objects of research. Analysis of the analytical capabilities and physical principles underlying the methods under consideration allows us to determine promising areas of their application in the field of forensic research of substances and materials. In connection with the large leap forward in the scientific and technical equipment of the underworld, the requirements for expert research methods have correspondingly increased. From a number of physicochemical methods that are non-destructive of the objects under study, several are distinguished that meet modern high requirements, with simple sample preparation and available technical equipment, including Raman spectroscopy, the method of Rutherford scattering. These methods make it possible to perform non-destructive analysis of the elemental composition and structure of a sample in the near-surface region, subject to simple sample preparation and a large amount of information obtained about the object. The paper considers the modern direction of implementation of the achievements of scientific and technological progress in expert practice, such as nanodiagnostics. Its capabilities and development prospects are noted on the example of investigating forensic objects by atomic probe microscopy. The paper also formulates the possibilities of using mathematical modeling as a method of non-destructive testing, as a «tool» for interpreting the empirical results of studies of the properties of forensic objects.

## Введение

Достижения научно-технического прогресса, как инструменты получения доказательственной информации, внедряются в уголовное судопроизводство посредством судебной экспертизы [1-3]. Одной из наиболее информативных экспертиз, применяемой в следственной практике, является криминалистическая экспертиза материалов, веществ и изделий из них (КЭМВИ). Подобного рода экспертизы в первую очередь нуждаются в обновлениях и внедрениях новейших технологий, методик. Многие физико-химические методы, такие как газожидкостная и тонкослойная хроматография, химический микроанализ, оптическая световая микроскопия, анализ в поляризованном свете, люминесценция в ультрафиолетовых лучах и другие стали традиционными для криминалистического материаловедения [1]. У каждого из указанных методов определен свой аналитический потенциал, объем получаемой информации о морфологии исследуемого объекта и его химическом составе. На официальном сайте Российского Федерального Центра судебных экспертиз при Министерстве юстиции Российской Федерации (РФЦСЭ) приведен подробный обзор возможностей всех традиционных методов исследования объектов КЭМВИ [4]. Часто работа экспертов усложняется тем, что объектами изучения являются следовые количества веществ, микроконтакты и микрофрагменты объектов. Соответственно, используемые в ходе исследования оборудование и методы должны отвечать определенным требованиям, в том числе, обладать высоким порогом чувствительности к изучаемым характеристикам в сочетании с достаточным объемом предоставляемой информации об объекте, простотой инструментального оформления, и главное, не разрушать целостность образца и не изменять его свойства. В настоящее время из-за беспрецедентного темпа развития научно-технического прогресса наблюдается рост преступлений, совершаемых на качественно новом уровне исполнителями, с высоким профессионализмом и интеллектуальным потенциалом. Важным этапом преодоления этой проблемы является «работа на опережение». Посто-

янно увеличивающийся спектр методов анализа материалов и веществ, используемых в науке и промышленности, их внедрение в следственное производство, предоставляет для практики борьбы с преступностью хорошие перспективы решения на совершенно новом уровне задач расследования, раскрытия и предупреждения преступлений.

## Цель исследования

Целью работы является разработка научно обоснованных предложений, направленных на совершенствование экспертной практики применения ряда физико-химических методов, неразрушающих целостности исследуемых объектов. Для достижения поставленной цели были проведен анализ современного состояния криминалистического исследования веществ, материалов и изделий, рассмотрены научные основы современных физико-химических методов неразрушающего контроля и технических способов их реализации. Проведен анализ практики применения рассматриваемых методов в различных сферах деятельности человека, в том числе в криминалистике других стран, предложены возможные направления их применения в судебно-экспертной практике.

## Материал и методы исследования

Методологическая основа работы: основные положения теории познания, общей теории судебной экспертизы, исследования отечественных и зарубежных специалистов в области криминалистической экспертизы материалов, веществ и изделий, практика таких исследований в различных отечественных и зарубежных лабораториях. В ходе выполнения данной работы применены в комплексе основные методы научного исследования: статистический и сравнительный анализы, синтез, обобщение.

## Результаты исследования и обсуждение

Эффективность экспертных исследований определяются аналитическими возможностями исследовательского оборудования и заложенных в его работу физических принципов [1]. Вызывают интерес не получившие широкого распространения, но при этом являющиеся

перспективными методы, которые позволяют выявить идентификационные признаки объектов, не нарушая их целостности. Одним из таких методов является метод локального рентгеноспектрального анализа (ЛРСА), который позволяет определять элементный состав лакокрасочных материалов непосредственно на объекте-носителе без его изменения.

Другими, достаточно новыми методами для российских судебных экспертов, являются рамановская спектроскопия (спектроскопия комбинационного рассеяния), предложенная американскими криминалистами [5], и метод резерфордовского рассеяния [6]. Неразрушающий анализ структуры и элементного состава объекта в приповерхностной зоне является основным профилем исследований для указанных методов. Так, метод резерфордовского обратного рассеяния стал уникальным методом неразрушающего контроля поверхности, его применение целесообразно при изучении химических соединений в твердой фазе, сплавов, твердых растворов [6]. Спектроскопия комбинационного рассеяния (КР спектроскопия) света позволяет идентифицировать химические компоненты индивидуально и в смеси, изучать внутримолекулярные взаимодействия. Описанный метод обладает значительными преимуществами, в том числе, простой подготовкой объекта для анализа и большим объемом получаемых данных о физико-химических свойствах объекта [7]. Указанные спектроскопические методы неразрушающего контроля могут быть инструментами для методики идентификации криминалистических объектов по фоновым микропримесям, являющимися их уникальными характеристиками [1]. Применение в экспертной практике вышеперечисленных инструментальных методов для выяснения групповой принадлежности исследуемых веществ и материалов требует наличие идентификационных баз, на разработку которых необходимы дополнительные материальные и временные затраты и ресурсы не только экспертных подразделений, но и различных научно-исследовательских лабораторий [8]. Наличие таких идентификационных баз упростит саму процедуру исследования криминалистами, которая станет до-

ступной даже для тех, кто не имеет физического или химического образования. Подтверждением этого являются исследования авторов работы [5].

Анализ экспертной практики свидетельствует, что большинство веществ органической природы исследуются с помощью проверенных и достаточно эффективных методов, таких как высокоэффективной жидкостной хроматографии, рентгенофлуоресцентного анализа, микроспектрофотометрии. Однако, для экспертов-криминалистов, у которых для исследования могут быть в распоряжении лишь следовые количества веществ, такие методы неприемлемы, так как они могут привести к уничтожению улики. Известен ряд примеров результативного применения в экспертной практике одного из современных методов неразрушающего контроля, рамановской спектроскопии (КР спектроскопии). Так, ученые из Университета Кента [5] наглядно продемонстрировали возможность идентификации типа и марки декоративной косметики, на примере губной помады с помощью спектроскопии комбинационного рассеяния. Следы губной помады на стеклянной посуде, окурках и текстиле были успешно проанализированы без удаления прозрачной пластиковой упаковки для улик. В основу метода КР спектроскопии заложено такое физическое явление, как рассеяние света. Поэтому принцип работы оборудования КР-спектрометра очень прост: для снятия спектра образца необходимо направить падающий луч точно на объект, затем собрать рассеянный свет [9]. Благодаря тому, что материалам и веществам подобным стеклу, воде и пластиковой упаковке характерны очень слабые КР спектры, образцы можно анализировать в закрытой стеклянной бутылке или пластиковом пакете, исключая риск загрязнения. Более того, в природе нет двух молекул, у которых были бы абсолютно одинаковые КР спектры. Следовательно, для определения марки и типа любого другого вида косметики, с пигментами или без них, этот метод также будет результативен. А так как интенсивность рассеянного света пропорциональна количеству вещества, то с помощью указанного метода можно получать количественные характеристики компо-

нентного состава образца. Все сказанное выше открывает для экспертов еще один современный и эффективный инструмент криминалистического материаловедения – интерпретация эмпирических данных, в частности спектров, обработка данных с применением компьютерных методов количественного анализа. Благодаря своим отличительным чертам рамановская спектроскопия стала эффективным инструментарием для контроля лекарственных, наркотических, токсических и других подобных веществ, которые часто выступают в качестве объектов изучения судебных экспертов. Кроме того, на рынке исследовательского оборудования появились портативные рамановские спектрометры, доступные по стоимости, что позволяет улучшить ситуацию по оснащению криминалистических лабораторий в ближайшее время.

Одним из перспективных направлений развития эффективности экспертных исследований путем внедрения достижений научно-технического прогресса является нанодиагностика, которая возникла благодаря стремительному развитию нанотехники. Нанодиагностика – это совокупность специализированных методов исследований, направленных на изучение структурных, морфолого-топологических, механических, оптических, электрофизических, биологических характеристик получивших широкое применение наноматериалов и наносистем. Отличительной чертой нанодиагностики является анализ нанокolicеств вещества, измерение метрических параметров с наноточностью. Нанодиагностика относится к современным экспресс-методам контроля химического состава и геометрии нанобъектов, а также к экспресс-методам регистрации электрических, магнитных и акустических полей нанобъектов [10]. В систему основных методов нанодиагностики включены описанные выше методы неразрушающего контроля, к ним можно отнести сканирующую зондовую микроскопию, электронную микроскопию и спектроскопию, оптическую спектроскопию, дифрактометрию [10]. Метод атомно-зондовой микроскопии (АЗМ) один из мощных современных методов исследования морфологии и локальных свойств поверхности твердого тела с вы-

соким пространственным разрешением. За последние десятилетия сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ) превратилась из специфичной методики, доступной лишь ограниченному числу исследовательских групп, в широко распространенное и успешно применяемое орудие для исследования свойств поверхности. В настоящее время практически ни одно исследование в области физики поверхности и тонкопленочных технологий не обходится без применения методов СЗМ [11]. Благодаря своим преимуществам данный метод стал интересен и в сфере криминалистических исследований веществ и материалов. Так, в работе [12] представлены результаты исследования поверхности фрагмента взрывного устройства, с помощью сканирующего зондового микроскопа методом АСМ. Применение указанного подхода (модернизированного металлографического анализа) для исследования криминалистического объекта позволяет решить целый ряд экспертных задач, в том числе установить марку использованного металла, оценить мощность взрывчатого вещества, исследовать свойства и структуру поверхности взрывного устройства с атомарным разрешением. В литературе, в том числе в работе [11], исследователи указывают на недостаток методов СЗМ – это малая исследуемая поверхность. Однако, при наличии в качестве объектов исследования осколков предметов с места происшествия, микроконтактов криминалистических объектов [1] указанная отрицательная черта сканирующей зондовой микроскопии становится ее преимуществом.

Сложность объектов современных экспертных исследований предполагает комплексный подход в изучении уникальных свойств образцов. Практику комплексного исследования веществ и материалов, например, методами СЗМ и КР спектроскопии, применяют в научно-исследовательских лабораториях различного направления. Так, например, на рынке оборудования представлен комплекс «Centaur I HR», в котором сочетается спектроскопия комбинационного рассеяния и сканирующая зондовая микроскопия. Применение такого оборудования актуально для проведения исследований в области физики, химии, био-

логии, междисциплинарных наук, таких как фармацевтика, биотехнологии, материаловедение и нанотехнологии, криминалистики. Комплекс «Centaur I HR» позволяет изучать состав, структуру, особенностей структуры биологических клеток и микроэлектромеханических систем (MEMS), взаимодействие органических и неорганических веществ и многое другое [13]. Внедрение подобных технологий в практику экспертных исследований существенно расширит возможности экспертов в криминалистическом материаловедении, уменьшит временные рамки производства экспертиз.

Математическое моделирование, как научный метод познания, давно стал неотъемлемой частью экспертных исследований, например, моделирование является ведущим методом экспертных исследований обстоятельств дорожно-транспортных происшествий. Эффективным может стать применение математического моделирования в качестве метода неразрушающего контроля в КЭВМИ, в частности, как «инструмент» для интерпретации эмпирических результатов физико-химических исследований свойств криминалистических объектов [14-15]. Анализ литературы и экспертной практики демонстрирует особую актуальность современных спектроскопических методов в криминалистическом материаловедении, например, фотоэлектронной спектроскопии (ФЭС) валентных уровней, а также фотоэлектронной (XPS) и фотоабсорбционной (NEXAFS) спектроскопии остовных уровней. Известно, что результаты, получаемые с применением такого рода спектроскопических исследований, в полной мере могут быть интерпретированы только в сочетании с квантовохимическим моделированием высокого уровня. Особенностью криминалистических объектов органического происхождения является то, что данные химические соединения могут существовать в различных таутомерных формах, при этом отличаться друг от друга биологической активностью. В ряде случаев

ситуация усложняется тем, что невозможно разделить экспериментальными методами смесь таутомеров, тогда важной составляющей исследования становится теоретическое сопровождение эмпирических данных. В свою очередь, теоретическое моделирование требует применения достаточно точных, надежных средств и методов расчета электронной структуры молекул в рассматриваемых электронных состояниях (основных и возбужденных) [15]. На сегодня в мировой практике приоритет в области расчетов спектров ионизации и возбуждений прочно закрепился за прямыми пропагаторными подходами, основанными на теории функций Грина, а также родственными методами. Среди них можно выделить группу методов в формализме приближения алгебраического диаграммного построения (ADC) [16-17]. Так, математическое моделирование спектров позволяет не только интерпретировать эмпирические спектральные данные известных веществ, но и идентифицировать по теоретическим данным спектры неизвестных (отсутствующих в базах данных) новых, например, биологически активных веществ. На данном этапе подобные задачи решаются в рамках фундаментальных физико-химических исследований.

### Заключение

Описанные в работе методы требуют применения сложного и дорогостоящего технического оформления. В настоящее время оно имеется не в каждом экспертном центре. Однако, быстрый темп научно-технического прогресса делает доступными ранее «экзотические» оборудование доступным для массового применения, в том числе и в работе криминалистов. Комплексное решение правового и финансового вопросов внедрения современных технологий, в том числе технологий методов неразрушающего контроля на государственном уровне позволит существенно повысить эффективность деятельности правоохранительных органов в борьбе с преступностью.

---

#### *Библиографический список*

1. Плоткин Д.М. Использование ионной и электронной спектроскопии в судебной экспертизе веществ, материалов и изделий по уголовным делам: дисс. канд. юрид. наук: 12.00.09. Москва, 2003. 220 с.

2. Варданян А.В., Грибунов О.П. Современная доктрина методико-криминалистического обеспечения расследования отдельных видов преступлений // Вестник ВСИ МВД России. 2017. № 2 (81). С. 23–35.
3. Плоткин Д.М., Ищенко Е.П. Новейшие методы исследования вещественных доказательств в криминалистике: науч.-практич. пособие. Рязань: Пресса, 2005. С. 200.
4. Современные возможности родов судебной экспертизы, выполняемых в СЭУ Минюста России: Уч. пособие для экспертов, следователей и судей. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sudexpert.ru/possib/psych.php> (дата обращения: 07.06.2020).
5. Salahoglu F., Went M.J., Gibson St.J. Application of Raman spectroscopy for the differentiation of lipstick traces // *Analytical Methods*. 2013. V. 5. P. 5392-5401.
6. Горшков О.Н., Михайлов А.Н., Васильев В.К. Применение методов резерфордского обратного рассеяния ионов и ионно-индуцированного рентгеновского излучения для анализа элементного состава и структурного совершенства твердых тел. Нижний Новгород, 2007. 59 с.
7. Бёккер Ю. Спектроскопия. М.: Техносфера, 2009. 528 с.
8. Жигалов Н.Ю., Гольчевский В.Ф., Бадзюк И.Л. Современные возможности применения рамановской спектроскопии в экспертных исследованиях веществ и материалов // Вестник Московского университета МВД России. 2017. № 2. С. 14-17.
9. Метод спектроскопии комбинационного рассеяния света. [Электронный ресурс]. URL: <http://kirensky.ru/ru/institute/labs/lms/ramansp> (дата обращения: 15.06.2020).
10. Ларионова Е.Ю., Медведева С.А. Нанотехнологии в судебно-экспертной деятельности. Перспективы развития // Вестник Восточно-Сибирского института Министерства внутренних дел России. 2018. № 4 (87). С. 207-213.
11. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. М.: Техносфера, 2004. 143 с.
12. Прокофьева Е.В., Весёлин В.В., Прокофьева О.Ю. Модернизация металлографического метода исследования объектов судебной экспертизы в свете нанотехнологий // Вестник ВИ МВД России. 2014. № 2. С. 1-10.
13. Centaur I HR – комплекс, сочетающий сканирующий зондовый микроскоп, конфокальный микроскоп/спектрометр с двойной дисперсией. NanoScanTechnologies: доступные инновации. Сайт компании «Scan Company». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nanoscantech.com/ru/products/confocal/confocal-117.html> (дата обращения: 20.06.2020).
14. Ларионова Е.Ю. Моделирование как метод научного познания: Часть II. Использование математического моделирования в судебно-экспертной деятельности // Научный дайджест Восточно-Сибирского института МВД России. 2019. № 2 (2). С. 124-128.
15. Ларионова Е.Ю., Голодков Ю.Э. Прогнозирование термодинамической устойчивости наркотических веществ и их прекурсоров методами математического моделирования на примере некоторых производных хиназолина // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2019. № 10. С. 118-123.
16. Trofimov A.B., Schirmer J. An efficient polarization propagator approach to valence electron excitation spectra // *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 1995. Vol. 28. No. 12. P. 2299-2324.
17. Trofimov A.B., Schirmer J. Molecular ionization energy and ground- and ionic-state properties using a non-Dyson electron propagator approach // *J. Chem. Phys.* 2005. Vol. 123. No. 14. P. 1-15.