

## ОСНОВНЫЕ ВЕХИ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ МИКРОСКОПИИ И ЕЕ ЗНАЧЕНИЕ В КРИМИНАЛИСТИКЕ

Г. Г. Коновалов, Е. В. Прокофьева

Волгоградская академия МВД России

Поступила в редакцию 10 марта 2017 г.

**Аннотация:** статья посвящена исследованию истории микроскопии и ее значению в криминалистике. Рассмотрение вопроса микроскопических исследований в целом и в криминалистике в частности позволило определить и выделить их основные этапы и направления.

**Ключевые слова:** микроскопические исследования, оптическая микроскопия, электронная микроскопия, волновые явления света, криминалистика, экспертиза.

**Abstract:** the article investigates the history of microscopy and its significance in forensic science. Consideration of microscopic research in general, and in criminology, in particular, helped to identify and highlight their main stages and directions.

**Key words:** microscopic examination, optical microscopy, electron microscopy, light wave phenomena, criminalistics, examination.

Первые упоминания о микроскопии связаны с изобретением очков и датируются 1285 г. В течение достаточно длительного времени в научных и исторических источниках более существенного в развитии микроскопии не отмечалось.

Первое направление микроскопических исследований – оптическая микроскопия, начинает развиваться с XVI–XVII в. и продолжается примерно до середины XX в. Здесь можно выделить ряд этапов:

а) XVI–XVII вв. – начало развития теории и практики микроскопических исследований, совершенствование микроскопической техники – Леонардо да Винчи, Галилео Галилей, Роберт Гук, Антони ван Левенгук, Роберт Гук. Создавались и так называемые «простые» микроскопы – в виде трубы, и составные – из нескольких частей;

б) XVIII в. – реализуется практическая идея Саллига о разделении на части линзы объектива. Она позволила многократно повысить увеличение микроскопа до 500–1000<sup>х</sup>, наряду со значительным уменьшением aberrаций. Было достигнуто повышение разрешающей способности от двух до одного микрометра;

в) XIX в. – микроскопические исследования с опытного переходят на научный путь. Начало высокой научности было положено теоретическими исследованиями сотрудника фирмы Карл Цейс Е. Аббе<sup>1</sup>. В то же время планомерно создавались и новые сорта оптического стекла. Тогда же

<sup>1</sup> Фирма Карл Цейс занималась разработкой и созданием оптических инструментов и приборов в гражданских и военных целях.

была реализована идея масляной иммерсии, конструировались иммерсионные объективы. В 1859 г. были созданы иммерсионные объективы с апертурным углом  $87,5^\circ$ . Удалось повысить разрешающую способность до десятых долей микрометра. С изобретением микроскопа границы морфологических исследований значительно расширились. В криминалистике появилась возможность более простого обнаружения микрообъектов, с одной стороны, и их визуального исследования – с другой, что позволяло получать сведения диагностического и идентификационного характера. Исследования морфологических и структурных свойств микрообъектов, существенно расширили круг решаемых вопросов, что и привело к их более частому включению в процесс раскрытия и расследования преступлений описываемого исторического периода. Научно-техническая революция, начавшаяся во второй половине XIX в., привела к появлению новых методов исследования в аналитической и физической химии. Эти разработки достаточно быстро были востребованы криминалистикой – на их основе разрабатывались различные экспертные методы, в том числе и по исследованию микрообъектов<sup>3</sup>;

г) в конце XIX – начале XX в. началось совершенствование микроскопических исследований, основывавшееся на более глубоком научном понимании свойств электромагнитных излучений и их взаимодействии с веществом.

За очень длительную историю своего применения оптическая микроскопия стала универсальным и очень эффективным методом получения судебных доказательств. Даже простой осмотр различных предметов в поле зрения микроскопа выявлял множество деталей, очень важных для проведения следствия.

В конце XIX в. развивается также ультрафиолетовая, инфракрасная, поляризационная микроскопия. 1893 г. считается началом становления интерференционной микроскопии, основоположником которой стал английский оптик Дж. Сиркса. В 1935 г. Ф. Зернике предложил использование метода фазового контраста для исследования слабо рассеивающих свет, прозрачных объектов. Необходимо отметить, что УФ- и ИК-микроскопия широко используются в экспертной практике для получения криминалистически значимой информации. Например, метод исследования в ультрафиолетовой зоне спектра позволяет не только увеличить предельную разрешающую способность микроскопа, но и расширяет возможности микроскопического изучения объектов, поскольку частицы многих веществ, прозрачные в видимом свете, интенсивно поглощают УФ-излучение определенных длин волн и, следовательно, различимы на получаемом изображении. Этим свойством обладают высокомолекулярные соединения, например нуклеиновые кислоты, белки, ароматические кислоты, различные сорта писчей бумаги, красители чернил, паст, цветных карандашей в штрихах, нанесенных на бумагу различного состава. Это

<sup>2</sup> См.: Рыдник В. И. Увидеть невидимое. М., 1981. С. 24.

<sup>3</sup> См.: Габдрахимова К. В. Использование микроскопа в криминалистике. URL: <https://www.scienceforum.ru/2014/408/4343> (дата обращения: 18.12.2016).

свойство УФ-излучения используют при исследовании вещественных доказательств, например для выявления различных веществ и следов на предметах одежды. С помощью ультрафиолетовой микроскопии уточняют локализацию указанных веществ, а в случае исследования живых объектов – их изменения в процессе жизнедеятельности. Метод исследования в инфракрасной зоне спектра позволяет изучать внутреннюю структуру объектов, непрозрачных в видимом свете, за счет поглощения излучений с длиной волны 750–1200 нм. Для инфракрасной микроскопии не требуется предварительной химической обработки препаратов. Этот вид микроскопических исследований наиболее часто используется в зоологии, антропологии, других отраслях биологии, медицине. В криминалистике при микроскопических исследованиях в ИК-зоне спектра обнаруживают отложения копоти выстрела вокруг пулевого отверстия на темных тканях, устанавливают сходство или различия разных образцов бумаги, карандашей, чернил, паст и других материалов, применяемых для письма и т.д.

Однако нельзя сказать, что развитие оптической микроскопии завершилось на современном этапе. Сейчас ведутся успешные теоретические исследования и практические разработки по совершенствованию таких исследований на основе новейших научных данных, с применением самых современных материалов и технологий<sup>4</sup>. В первую очередь они направлены на повышение экономичности и достижение полноты и объективности в исследовании различных объектов, в том числе и объектов судебных экспертиз.

Второе направление после оптического – электронная микроскопия, возникшая в начале XX в. Она начинается с создания электронного микроскопа, как просвечивающего (1928–1931), так и сканирующего (1938). На этом же этапе ведется разработка и создание ионного микроскопа.

Ему предшествовали существенные достижения – в физике, химии, биологии, математике, по практическому использованию излучений невидимой области электромагнитного спектра – в ультрафиолетовой области, рентгеновского и гамма-излучения. Именно в тот период, объем научной информации, полученной с помощью исследований, проводившихся в различных областях естественно-научного знания, достигает своего рода «критической массы», давшей возможность по-новому увидеть, осмыслить и оценить явления, происходящие в микромире. Что позволило подойти к пониманию явлений, процессов, происходящих не только на молекулярном и атомном уровне, но и на уровне частиц.

Свойства электромагнитных излучений в невидимых глазу человека областях электромагнитного спектра (ЭМС) сегодня позволяют проводить исследования строения вещества в масштабе микромира: клеток тканей, кристаллов, молекул, ионов и атомов. Это связано с тем, что длины волн излучений в этих областях (ЭМС) на несколько порядков меньше, чем в видимой области. Соответственно, возможно получение и более высокого увеличения, и разрешения – возможности отдельного восприятия двух

---

<sup>4</sup> См.: Естественно-научные методы судебно-экспертных исследований : учебник / под ред. Е. Р. Россинской. М., 2015. С. 162.

максимально близко расположенных элементов структуры (отдельных точек). Ведь на возможности «разрешения» ограничение накладывает размер длины волны падающего на него света из-за явлений дифракции и интерференции.

В оптической микроскопии, где длины волн видимого света располагаются в диапазоне примерно от 400 до 700 нм<sup>5</sup>, в соответствии с дифракционной теорией Е. Аббе, максимально возможным будет «разрешение» примерно около 200 нм–0,0002 мм. Применение иммерсии, где длина световой волны в используемых иммерсионных средах меньше, повышается разрешение – примерно до 100 нм–0,0001 мм. Однако дифракционные явления значительно более сказываются на качестве изображения, когда размер наблюдаемого объекта приближается к 10-кратному размеру длины волны света. Поэтому в видимой области разрешение также минимально. Теоретически рентгеновская микроскопия позволяет достичь разрешения на два порядка выше, чем оптическая<sup>6</sup>. Современные рентгеновские микроскопы сегодня достигают разрешения только около 100 нм. Длина волны электрона составляет десятые и сотые доли нанометра. Соответственно, здесь возможно достижение и более высоких значений как увеличения, так и разрешения.

Основываясь на идеях оптико-механической аналогии<sup>7</sup>, результатах исследований в области электрического разряда в газах<sup>8</sup>, исследования в области теории и практики электронных волн, электронных пучков привели к созданию в Германии в 1928 г. первого электронного микроскопа. В 1931 г. немецкий исследователь Руска создал просвечивающий электронный микроскоп (ПЭМ), дававший увеличение всего лишь в 17 раз, но уже в 1933 г. он создал микроскоп с разрешением  $5 \cdot 10^{-8}$  м. Сегодня ПЭМ позволяет проводить исследование очень тонких образцов. Изображение строится электронами, прошедшими через объект. Однако главным недостатком такого просвечивающего микроскопа является быстрое сгорание биологических объектов в ходе исследования. Кроме того, необходимо было как создание, так и поддержание высокого вакуума на всем пути движения электронов от источника до экрана для наблюдений. Су-

---

<sup>5</sup> Длина волны света определена в современной физике с точностью до одной десятиллионной своей величины.

<sup>6</sup> Длина волны рентгеновского излучения сопоставима с межатомным расстоянием в веществе, измеряемом в пм (пикометрах) –  $10^{-12}$  м.

<sup>7</sup> В 1834 г. английский математик Гамильтон установил, что уравнения механики для движущихся частиц и уравнения геометрической оптики для световых лучей – математически сходны.

<sup>8</sup> Немецкий ученый Плюккер в 1859 г. открыл, что какие-то заряженные частицы, выходящие из области разряда, движутся по прямым линиям. Примерно через десять лет немец Гитторф доказал их отклонение в магнитном поле. Ему же удалось и сконцентрировать – сфокусировать пучок этих частиц. Впоследствии было установлено отношение заряда этих частиц к массе. Это было определено англичанином Дж. Томсоном в конце XVIII в., англичанин Стони назвал их электронами.

ществуют особые требования к объектам исследований. Такие объекты могут представлять собой весьма тонкие срезы биологических препаратов, тончайшие металлические фольги, реплики – слепки с поверхностей препаратов<sup>9</sup>.

Первый сканирующий электронный микроскоп (СЭМ) был создан также в Германии в 1938 г.<sup>10</sup> СЭМ «сканирует» поверхность объекта пучком (зондом) электронов высоких энергий (0,2–50,0 кэВ)<sup>11</sup>. На основе анализа образовавшихся вторичных электронов, выбитых с поверхности образца, анализа катодолюминесценции и рентгеновских лучей делается вывод о химическом и минералогическом составе, кристаллической структуре объекта. Преимущества электронной микроскопии перед оптической микроскопией в том, что здесь возможно получение изображения мельчайших структур при значительных увеличениях и глубине резко изображаемого пространства<sup>12</sup>.

В криминалистической экспертизе электронная микроскопия применяется, например, для исследования биологических образцов – растительных и животных тканей<sup>13</sup>. Так, решающее значение в ботанических криминалистических исследованиях для систематики, морфологии и диагностики имеет исследование структуры поверхности пыльцы, плодов, семян растений, спор грибов и др. Кроме того, проводятся и исследования микроструктуры древесины, при изучении морфологии древесных волокон, а также влияния различных химических и физических процессов на эти волокна<sup>14</sup>. Большое преимущество СЭМ перед ПЭМ в том, что удается получить объемное изображение объекта. Но следует отметить и то, что, например, с помощью СЭМ возможно лишь проведение исследования объектов, размеры которых не превышают 100×50×50 мм. В настоящее время известны и применяются различные электронные микроскопы: просвечивающие, растровые, отражательные, эмиссионные, зеркальные, теневые и др. Они используются для исследований совместно с другими приборами, предназначенными для тонких физических исследований, и с ЭВМ.

---

<sup>9</sup> Реплики – тончайшие пластмассовые пленки или такой же толщины слои металлов, осаждаемые на поверхности объекта.

<sup>10</sup> Применяется и другое наименование – растровый электронный микроскоп (РЭМ).

<sup>11</sup> Диаметр зонда – от 0,1–0,2 нм до нескольких десятков десятых долей нанометра.

<sup>12</sup> Соответственно разрешение достигает 0,15 нм, увеличение – до 200 000×, глубина резко изображаемого пространства – почти в 300 раз выше, чем в оптическом микроскопе. В начале второго десятилетия XXI в. было получено лучшее разрешение: для СЭМ – 0,4 нм, а для ПЭМ – 0,05 нм.

<sup>13</sup> Альтернативой электронного просвечивающего микроскопа может являться ионный микроскоп. Фокусируемый ионный луч позволяет получить изображение непроводящих образцов с разрешением до 5 нм. Его главный недостаток: происходит также разрушение – «выжигание» поверхности объекта.

<sup>14</sup> См.: Прокофьева Е. В. Техничко-криминалистические средства освещения : существующие и новые возможные // Современные тенденции развития правовой науки : междунар. сб. науч. тр. / отв. ред. С. Ю. Бирюков. СПб., 2016. С. 214–217.

Третье направление – зондовая микроскопия, активно развивается и сейчас. Здесь также можно выделить три основных этапа:

а) первый – ознаменовался созданием немецким физиком Э. Мюллером в 1936 г. «электронного проектора» (автоэлектронного микроскопа) и с создания в 1951 г. «ионного проектора»<sup>15</sup> (автоионного микроскопа);

б) второй – начался с 1967 г., когда на основе автоионного микроскопа был создан автоионный микроскоп с атомным зондом «автоионная атомно-зондовая микроскопия»;

в) в 1981 г. немец Герд Карл Бинниг и швейцарец Генрих Рорер из цюрихской лаборатории корпорации IBM (Zurich IBM Research) создали первый из направления «сканирующей зондовой микроскопии» сканирующий туннельный микроскоп (СТМ).

Развитие идей туннельной микроскопии привело к созданию в 1986 г. атомно-силового микроскопа (АСМ)<sup>16</sup>. Это совершенно новое качественное направление в микроскопических исследованиях, позволяющее не только различать отдельно взятый атом, но и создавать новые материалы. Принципиально важно отметить, что в оптической микроскопии объект исследуется с помощью отраженного от него света.

В электронной микроскопии для получения качественного изображения образец должен хорошо проводить электроны сам, если нет – то его покрывают металлическим напылением. Поток электронов как бы «подсвечивает» объект исследований. В ионной микроскопии альтернативой электронов являются ионы, фокусируемые в ионный луч (ФИЛ) на непроводящей поверхности. В принципе с применением математического аппарата (так называемого «Байесова экспериментального подхода» – когда используется алгоритм по оптимизации решений в условиях неопределенности) в ионной микроскопии возможно получение разрешения объекта  $\pm 2$  нм. Как уже отмечалось, недостатком является то, что фокусируемый ионный луч (ФИЛ) «выжигает» поверхность. Но он может быть обращен в достоинство и использоваться для очень точного поверхностного конструирования – «выжигания» наноструктур, и внедрения примесей, например в полупроводники.

Атомно-ионные микроскопы могут применяться для проведения анализа самых разных материалов: это практически все металлы и сплавы, керамика, полупроводники.

Автоионный микроскоп позволяет изучать структуру поверхности объекта, т.е. «воспроизводить» ее с помощью ионных, а не электронных потоков. Он обладает большей разрешающей способностью. Более того, с его помощью возможно и наблюдение одного отдельно взятого атома.

---

<sup>15</sup> Электронный и ионный проекторы – безлинзовые приборы. Ионный проектор – field ion microscope, FIM, полевая ионная микроскопия, автоионная микроскопия – микроскопия поверхности образца, основанная на использовании эффекта полевой десорбции атомов «изображающего газа», адсорбирующихся на исследуемую поверхность.

<sup>16</sup> В 1986 г. за открытие принципа туннельной, атомно-силовой и световой сканирующей микроскопии Г. Бинниг и Г. Рорер были удостоены Нобелевской премии в области физики.

Возможно и построение машинной модели изображений с соответствующей ориентацией кристаллографических плоскостей и кристаллической структурой, а также их идентификация. На основе автоионного микроскопа (автоионная микроскопия) профессор Э. Мюллер в 1967 г. создал, можно уверенно сказать, совершенно новый прибор для микроскопических исследований – автоионный микроскоп с атомным зондом – автоионная атомно-зондовая микроскопия<sup>17</sup>. Этот атомный зонд как бы «ощупывает» поверхность объекта, и на основе этого создается, строится карта изображения исследуемой поверхности<sup>18</sup>. И это отнюдь не виртуальная карта. Она имеет очень точные координаты – количественные значения измеряемого параметра в каждой конкретной точке. Ведь зонд перемещается по вертикали (оси *Z*) – опускается или поднимается, перемещается по горизонтали – по оси *X* или *Y*, на вполне конкретное расстояние, измеряемое в десятых долях нанометра.

В настоящее время успешно развиваются основные направления зондовой микроскопии: туннельная и атомно-силовая<sup>19</sup>. С помощью сканирующего туннельного микроскопа (СТМ) удалось в реальном масштабе получить изображения поверхности кремния. На современном этапе в развитии сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ) превалирует принцип полномасштабного, объективного, разностороннего исследования объекта. Такая многомерность изысканий позволила получить эффекты, ставшие неожиданными даже для разработчиков новых методик исследования. На основе принципа действия АСМ сегодня создано целое семейство сканирующих зондовых устройств и технологий. К нему относятся: латерально-силовой микроскоп (ЛСМ), магнитно-силовой микроскоп (МСМ), электростатический силовой микроскоп (ЭСМ). Методы микроскопии поверхностных свойств в АСМ позволяют регистрировать изменение поверхностных свойств образца, одновременно с получением изображения топографии поверхности образца.

Сканирующая термальная микроскопия (СТерМ) позволяет визуально представлять локальные термофизические параметры поверхности объекта.

Близкопольная сканирующая оптическая микроскопия (БСОМ) – это разновидность сканирующих зондовых технологий. Вместо «зонда» – материального объекта, именуемого по-разному: «игла», «острие», «тип», используется зонд – «световая воронка». Видимый свет из узкого конца

---

<sup>17</sup> Хотя атомно-зондовая микроскопия включает в себя практически все области автоионной, да еще и те, которые связаны с масс-спектрометрическими исследованиями, все же это – методически разные виды исследований.

<sup>18</sup> Здесь уместна аналогия с «чтением» слепыми людьми текстовых и иных материалов посредством ощупывания их пальцами рук.

<sup>19</sup> См.: Прокофьева Е. В., Прокофьева О. Ю. О вопросе применения сканирующего зондового микроскопа в экспертной деятельности // Восток-Запад : партнерство в судебной экспертизе. Актуальные вопросы теории и практики судебной экспертизы : междунар. сб. науч. трудов / отв. ред. Ж. Б. Ешмагамбетов. Алматы, 2016. С. 313–315.

световой воронки – диаметром 10÷30 нм либо проходит, либо отражается от образца. Детектор регистрирует в каждой точке измерений интенсивность оптического сигнала. Это позволяет создать очень точное изображение топографии поверхности. Разрешение, получаемое с помощью БСОМ ≈ 15 нм.

Таким образом, СЗМ позволяет исследовать широкий спектр физических свойств объектов – распределение магнитных полей, распределение статических зарядов, проводимость поверхности. Позволяет проводить и профилометрические исследования с очень высоким разрешением. В судебно-экспертной практике СЗМ используется, например, при измерении твердости структурированных объектов; для создания защитных наномаркировок, значение которых велико в профилактике и предотвращении преступлений, связанных с установлением подлинности предметов и т.д. Однако применение СЗМ в традиционной криминалистике, на наш взгляд, нецелесообразно, так как минимальные размеры криминалистических объектов исследования – микрометры, а СЗМ, в свою очередь, позволяет получить атомарное разрешение, что в данной конкретной ситуации не имеет смысла.

Проведенное рассмотрение основных вех формирования и развития микроскопических исследований, позволило выделить, кроме оптического, и другие направления – электронную микроскопию, автоионную микроскопию, зондовую микроскопию, определить временные этапы развития и направления их реализации в различных отраслях, а также возможности применения в криминалистике<sup>20</sup>.

---

<sup>20</sup> См.: Прокофьева Е. В., Веселин В. В., Дронова О. Б. Современные технико-криминалистические средства освещения // Библиотека криминалиста. Научный журнал. 2015. №4 (21). С. 259–264.

*Волгоградская академия МВД России*  
*Коновалов Г. Г., кандидат юридических наук, доцент кафедры криминалистической деятельности учебно-научного комплекса экспертно-криминалистической деятельности*

*E-mail: olenyonok83@mail.ru*  
*Tel.: 8-904-421-26-31*

*Прокофьева Е. В., кандидат физико-математических наук, старший преподаватель кафедры криминалистической деятельности учебно-научного комплекса экспертно-криминалистической деятельности*

*E-mail: olenyonok83@mail.ru*  
*Tel.: 8-909-394-17-82*

*Volgograd Academy of the Russian Ministry of Internal Affairs*

*Konovalov G. G., Candidate of Legal Sciences, Associate Professor of the Forensic Technology of Educational and Scientific Complex of Forensic Activities Department*

*E-mail: olenyonok83@mail.ru*  
*Tel.: 8-904-421-26-31*

*Prokofeva E. V., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Lecturer of the Forensic Technology of Educational and Scientific Complex of Forensic Activities Department*

*E-mail: olenyonok83@mail.ru*  
*Tel.: 8-909-394-17-82*