

НЕЛИНЕЙНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ И ОКЕАНЕ

УДК 530.182.551.510.42+535.621.33

Исследования эмиссионного свечения твердого вещества и антропогенных аэрозолей в поле мощного фемтосекундного лазерного излучения при его самофокусировке в воздухе для целей дистанционного зондирования атмосферы

Д.В. Апексимов¹, П.А. Бабушкин¹, Ю.Э. Гейнц¹, А.А. Землянов¹,
А.М. Кабанов¹, Г.Г. Матвиенко¹, В.К. Ошлаков¹, А.В. Петров¹, В.М. Рябцев^{1,2*}

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
634055, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1

²Национальный исследовательский Томский государственный университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

Поступила в редакцию 24.04.2020 г.

Представлены результаты комплексных исследований спектральных и временных характеристик эмиссионного свечения контрольных образцов нескольких веществ в твердом состоянии (имитация топографических мишеней) и в виде твердого аэрозоля (имитация загрязняющего атмосферу аэрозоля) под действием импульсов Ti:Sa-лазера фемтосекундной длительности (несущая длина волны 800 нм) в условиях проявления нелинейно-оптических эффектов.

Ключевые слова: твердые мишени, аэрозоль, атмосфера, фемтосекундное лазерное излучение, самофокусировка, спектроскопия, дистанционное зондирование; solid targets, aerosol, atmosphere, femtosecond laser radiation, self-focusing, spectroscopy, remote sensing.

Введение

Методы оптической спектроскопии применяются в различных областях науки и производства, в том числе в медицине, химии, биологии, физике и астрономии [1]. Интерес к оптической спектроскопии связан с тем, что каждое химическое соединение, входящее в состав исследуемого вещества, обладает своими уникальными спектральными свойствами, что позволяет проводить как количественный, так и качественный его анализ. Одним из эффективных методов такого поэлементного анализа является эмиссионная лазерно-искровая спектроскопия [2], основанная на создании плазменной области на поверхности объекта исследования и возбуждении эмиссионного излучения атомов и молекул. В последнее время этот метод активно развивается в применении к задачам атмосферной оптики, в частности зондирования атмосферы. На современном этапе развития лазерных технологий все большее внимание в этом направлении исследований уделяется мощ-

ным фемтосекундным лазерным импульсам [3]. Распространение импульсов фемтосекундной длительности в атмосфере, мощность которых превышает определенный критический уровень, сопровождается формированием световых и плазменных каналов — филаментов [4]. Управление протяженностью области множественной филаментации на трассе распространения лазерного излучения [5] может способствовать дистанционному возбуждению эмиссионных спектров свечения атмосферных аэрозолей. Наряду с этим фемтосекундная лазерно-эмиссионная спектроскопия (FIBS — femtosecond laser-induced breakdown spectroscopy) не требует селективного возбуждения, что делает этот метод весьма полезным для многоэлементного анализа.

Уже проведен ряд экспериментов, показывающих применимость метода фемтосекундной лазерно-эмиссионной спектроскопии в задачах атмосферной оптики. Эксперименты по детектированию эмиссионных спектров образцов меди и железа в твердом состоянии на расстоянии 90 м [6] позволили сделать предположение об эффективности метода FIBS на дистанции до 1 км. В [7, 8] для задач улучшения аналитического сигнала в методе фемтосекундной лазерно-эмиссионной спектроскопии исследованы спектрально-временные характеристики плазмы, генерируемой импульсами фемтосекундной длительности на поверхности водных растворов химических элементов, в зависимости от параметров лазерного излучения.

* Дмитрий Владимирович Апексимов (areximov@iao.ru); Павел Александрович Бабушкин (bra@iao.ru); Юрий Эльмарович Гейнц (ygeints@iao.ru); Александр Анатольевич Землянов (zaa@iao.ru); Андрей Михайлович Кабанов (amk@iao.ru); Геннадий Григорьевич Матвиенко (mgg@iao.ru); Виктор Константинович Ошлаков (ovk@iao.ru); Алексей Вадимович Петров (awp@iao.ru); Вячеслав Михайлович Рябцев (slavchik_tsu@mail.ru).

В настоящее время метод фемтосекундной лазерно-эмиссионной спектроскопии только развивается. Это связано с ограниченным числом контролируемых протяженных трасс для проведения экспериментов с мощным фемтосекундным лазерным излучением.

Цель настоящей работы – комплексное исследование спектральных и временных характеристик эмиссионного свечения контрольных образцов нескольких веществ в твердом состоянии (имитация тополиной) и в виде твердого аэрозоля (имитация загрязняющего атмосферу аэрозоля) под действием лазерных импульсов фемтосекундной длительности в условиях проявления нелинейно-оптических эффектов (самофокусировки, филаментации, суперконтинуальной конической эмиссии). Экспериментальные исследования проведены в лабораторных условиях, в том числе на контролируемой трассе длиной 8 м. В качестве источника лазерных импульсов использовалась Ti:Sa фемтосекундная тераваттная система, генерирующая лазерные импульсы с требуемыми характеристиками: несущая длина волны 800 нм, длительность импульса 50 фс, частота повторения импульсов 10 Гц, энергия в импульсе до 20 мДж, диаметр пучка – 2,5 см (по уровню e^{-2}).

Детектирование веществ осуществлялось путем регистрации их эмиссионных спектров.

Эксперименты в лабораторных условиях

На рис. 1 приведена схема лабораторных экспериментов, в ходе которых исследованы спектральные и временные характеристики свечения двух контрольных образцов – в твердом состоянии и в виде

твердого аэрозоля – под действием мощного фемтосекундного лазерного излучения. В качестве образцов в твердом состоянии использовались пластины Al размером $50 \times 80 \times 0,5$ см и Cu размером $20 \times 20 \times 0,1$ см. Первый образец твердого аэрозоля содержал наночастицы Al, второй – наночастицы Cu размером 90–100 нм (подтверждено сертификатом производителя «Передовые порошковые технологии», г. Томск).

В начале эксперимента частицы засыпались в блок подачи аэрозоля 5. На выходе из него получалось «аэрозольное облако», концентрация частиц в котором определялась на основе измеренных размеров кластеров частиц с помощью электронного микроскопа. Она составила ~ 4000 частиц/ см^3 для Al и ~ 3000 частиц/ см^3 для Cu; погрешность измерений – 12%.

В результате взаимодействия филаментов, которые изначально являются высокоинтенсивными (десятки ТВт/ см^2) световыми каналами, содержащими плазменные области, с образцами происходило формирование очагов оптического пробоя на поверхности частиц, сопровождаемое свечением плазмы в видимом диапазоне (рис. 2, цв. вкладка). Длина области филаментации при этом составляла ~ 5 см. После прохождения лазерного импульса фемтосекундной длительности плазма остывала, свободные электроны рекомбинировали с ионами и атомами, что приводило к высвобождению энергии, в том числе в виде характерных эмиссионных линий химических элементов.

Спектры эмиссионного свечения, зарегистрированные на удалении 10 см от контрольных образцов твердого аэрозоля, после взаимодействия с филаментами приведены на рис. 3.

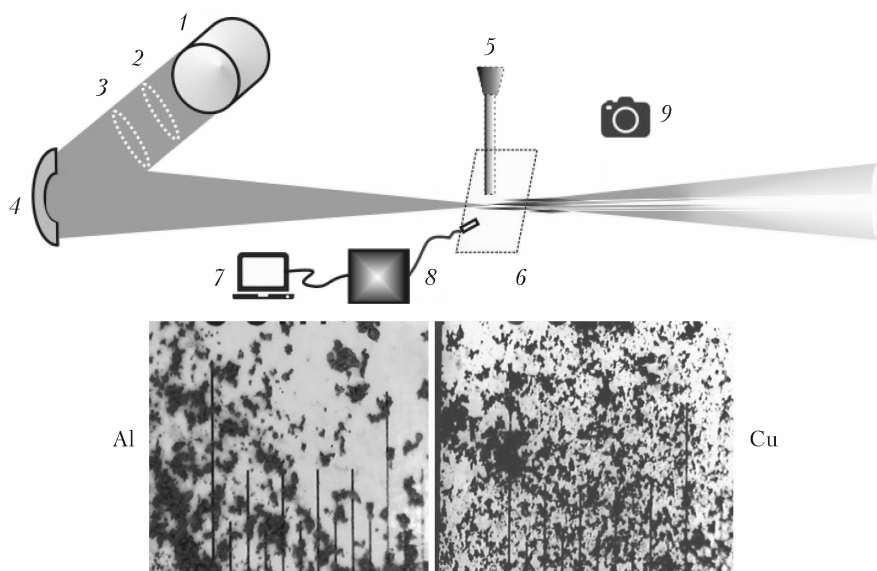


Рис. 1. Схема лабораторного эксперимента: 1 – Ti:Sa лазерный комплекс; 2 – автокоррелятор, длительность импульса 50 фс; 3 – измеритель энергии импульса OPHIR-II; 4 – сферическое зеркало с фокусным расстоянием 100 см; 5 – блок подачи твердого аэрозоля; 6 – образец в твердом состоянии; 7 – ноутбук; 8 – спектрометр Maya2000Pro, укомплектованный оптоволоконным кабелем и коллиматором; 9 – фотокамера Pentax K-3 (25 МП) с макрообъективом Pentax100 MacroWR. Фотографии получены с помощью электронного микроскопа. Снимки выбраны из серии измерений и определяют средний размер кластеров частиц

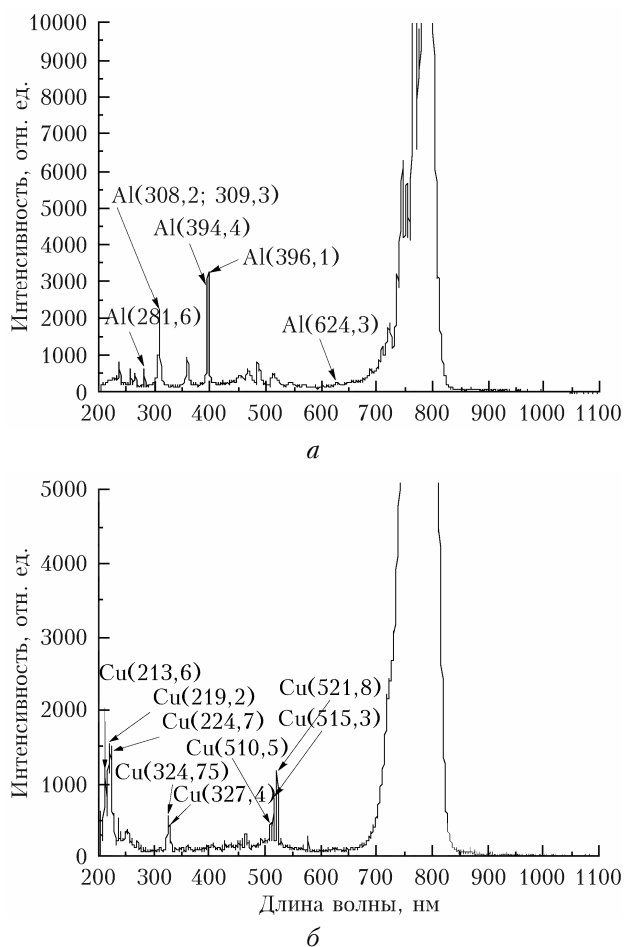


Рис. 3. Эмиссионные спектры свечения: *а* – Al; *б* – Cu, зарегистрированные на удалении 10 см от твердого аэрозоля, после взаимодействия с филаментами

Значения интенсивности линий этих спектров приблизительно в 2 раза меньше, чем значения интенсивности линий спектров, полученных от пластин, в остальном они идентичны. Зарегистрированные эмиссионные линии Al и Cu были идентифицированы с помощью таблицы (столбец 3).

В таблице оценка яркости спектральных линий контрольных образцов указана для источника света – искры, что обеспечивает равномерную яркость линий по шкале яркости, предложенной Гаррисоном и подробно описанной в [9]. Совмещение спектральных линий связано с явлением самообращения, которое сводится к тому, что интенсивность эмиссии излучения на частоте центра линии оказывается ниже, чем в зоне ее крыльев [10]. Если плазма пространственно неоднородна, то контур линии поглощения в области менее плотной плазмы будет уже, чем контур линии испускания. В результате этого поглощение в центре линии испускания часто оказывается столь сильным, что контур линии будет иметь характерный для самообращенных линий вид (рис. 3).

В соответствии с законом распределения Больцмана [10] чем выше температура плазмы, тем большее число анализируемых атомов переходит в возбужденное состояние и, следовательно, больше вероятность возбуждения дополнительных (низкоэнергетических) эмиссионных линий исследуемого образца. Подтверждение этого факта представлено на рис. 3 и в таблице, которые показывают, что наряду с высокоэнергетическими зафиксированы низкоэнергетические эмиссионные линии контрольных образцов.

Из рис. 2 видно, что очаги оптического пробоя и свечение плазмы ярче выражены для твердого вещества, чем для аэрозолей даже при высокой

Характеристики зарегистрированных эмиссионных линий контрольных образцов в виде твердого аэрозоля после взаимодействия с филаментами [9]

Образец	№	Длина волны, нм	Яркость спектральных линий для источника света – искра, усл. ед. яркости	Энергия возбуждения, эВ	Комментарий
	1	3	4	5	6
Al	Нейтральные атомы	1	2000	3,13	Наиболее чувствительная линия
		2	1000	3,13	Следующая за 396,1 нм по чувствительности линия
		3	1000 800	4,02 4,02	Линии совмещены, так как линия на 308,2 нм самообращенная
	Ионизованные атомы	4	100	11,82	Наиболее чувствительная линия
		5	800	15,06	Следующая за 281,6 нм по чувствительности линия

1	2	3	4	5	6	
Cu	Нейтральные атомы	1	324,75 327,40	2000 1500	3,82 3,78	Наиболее чувствительные линии, совмещены, так как самообращенные
		2	521,8 515,3 510,5	Не определена, так как чувствительная линия лежит за пределами области 10000–2000 Å	6,19 6,19 3,82	Следующие за 324,75 нм и 327,4 нм по чувствительности линии
	Ионизованные атомы	3	213,6	500	8,51	Наиболее чувствительная линия
		4	219,2	500	8,48	Следующая за 213,6 нм по чувствительности линия
		5	224,7	50	8,23	Следующая за 219,2 нм по чувствительности линия

концентрации частиц. Это обстоятельство отразилось на вероятности детектирования, которая для контрольных образцов твердого аэрозоля составила ~90%, а для контрольных образцов в виде твердого вещества – 100%. Вероятность детектирования определялась как отношение общего числа накоплений сигнала на приемнике (спектрометре) к числу накоплений, за которое удалось детектировать сигнал. Измерения проводились в импульсном режиме работы лазера, поэтому от импульса к импульсу расположение очагов оптического пробоя незначительно изменялось, что, в свою очередь, никак не влияло на вероятность детектирования, так как измерения производились с накоплением 6 с.

Таким образом, проведенные лабораторные эксперименты показали эффективность использования фемтосекундной лазерно-эмиссионной спектроскопии для регистрации спектров веществ в твердом состоянии (имитация тополиной пыли) и в виде твердого аэрозоля (имитация загрязняющего атмосферу аэрозоля). Под эффективностью в этом случае понимается детектирование целого ряда эмиссионных линий, в частности за счет возбуждения низкоэнергетических линий.

Эксперименты на контролируемой трассе

На рис. 4 приведена схема экспериментов, в ходе которых исследованы спектральные и временные характеристики свечения контрольных образцов Al и Cu под действием мощного фемтосекундного лазерного излучения (энергия в импульсе 20 мДж). Характеристики образцов те же, что и в лабораторных экспериментах, описанных в предыдущем разделе. Пластины и образцы твердого аэрозоля размещались на расстоянии 8 м от приемника (спектрографа). Методика [11] позволила сформировать область филаментации в зоне размещения образцов.

Ниже представлены результаты измерений спектральных характеристик образцов в виде твердого аэрозоля, так как для образцов в твердом состоянии они идентичны, а вероятность детектирования эмиссионных спектров твердого аэрозоля ниже.

Взаимодействие нескольких филаментов с образцом Cu в виде твердого аэрозоля представлено на рис. 5 (цв. вкладка). Видно, что свечение плазменного канала более протяженное, чем в предыдущем эксперименте, так как при распространении

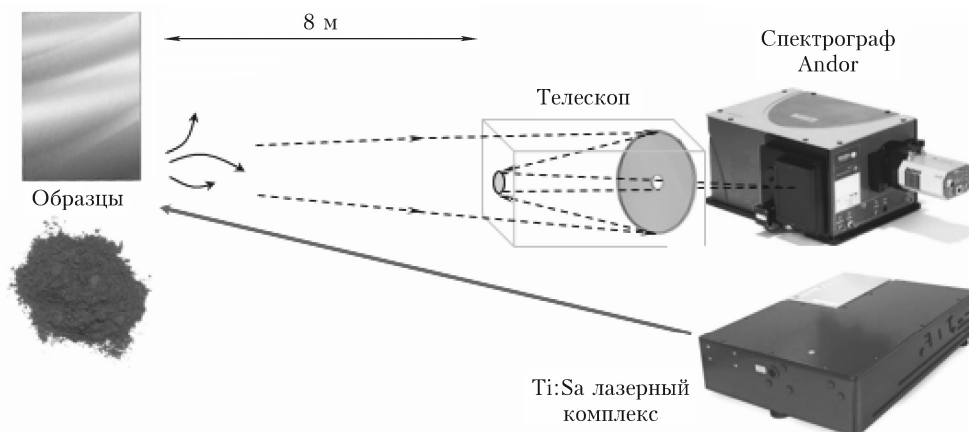


Рис. 4. Схема эксперимента на контролируемой трассе

фемтосекундных лазерных импульсов на дистанции 8 м формировалась область филаментации длиной несколько метров.

Увеличение протяженности свечения плазменного канала приводит к переходу в возбужденное состояние большего числа анализируемых атомов и, следовательно, к высвобождению большего числа характерных эмиссионных линий (температура плазмы сопоставима с лабораторным экспериментом). Наряду с этим происходит и увеличение интенсивности свечения, перехватываемого приемным телескопом, что повышает вероятность обнаружения как основных (высокоэнергетических) эмиссионных линий исследуемого образца, так и дополнительных (низкоэнергетических), что особенно важно при удалении образца от приемника. Поэтому в данном случае свечение ограничивалось только размером «аэрозольного облака».

Полученные эмиссионные спектры образцов аэрозоля приведены на рис. 6. Значения интенсивности линий спектров приблизительно в 2 раза меньше, чем линий спектров, полученных от образцов в твердом состоянии, в остальном они идентичны. Отметим, что прямое сопоставление рис. 3 и 6 по значению интенсивности некорректно, так как регистрируемый сигнал по мере удаления образца от приемника ослабевает (интенсивность свечения эмиссионных линий значительно падает). Поэтому на рис. 6 нам пришлось исключить несущую длину волны. Из рис. 6 видно, что зарегистрированы эмиссионные линии Al (№ 1–3 в таблице) и Cu (№ 1, 2 в таблице).

Зависимость вероятности детектирования от дистанции приведена на рис. 7. Вероятность детектирования на дистанции 8 м для контрольных образцов твердого аэрозоля составила ~80%, а для контрольных образцов в виде пластин — ~95% при времени накопления сигнала на приемнике 25 с (частота следования импульсов 10 Гц).

Отметим, что указанные вероятности детектирования эмиссионных спектров образцов выполняются только для вышеуказанных характеристик лазерного излучения, приемника и контрольных образцов. В то же время представленные результаты можно распространить и на более протяженные дистанции, если считать плазменный сгусток в филаменте точечным источником оптической эмиссии вещества. В этом приближении принимаемый полезный сигнал ослабевает пропорционально квадрату расстояния от области воздействия до приемника, и можно оценить соответствующее снижение вероятности детектирования. Подобный прогноз для дистанций до 150 м показан на рис. 7. (Контролируемая трасса такой длины имеется; методики управления характеристиками области множественной филаментации отработаны.)

Видно, что, например, 50%-й порог детектирования для контрольных образцов твердого аэрозоля достигается уже на 45 м от области филаментации, в то время как от сплошной металлической мишени получить эмиссионный сигнал с той же вероятностью

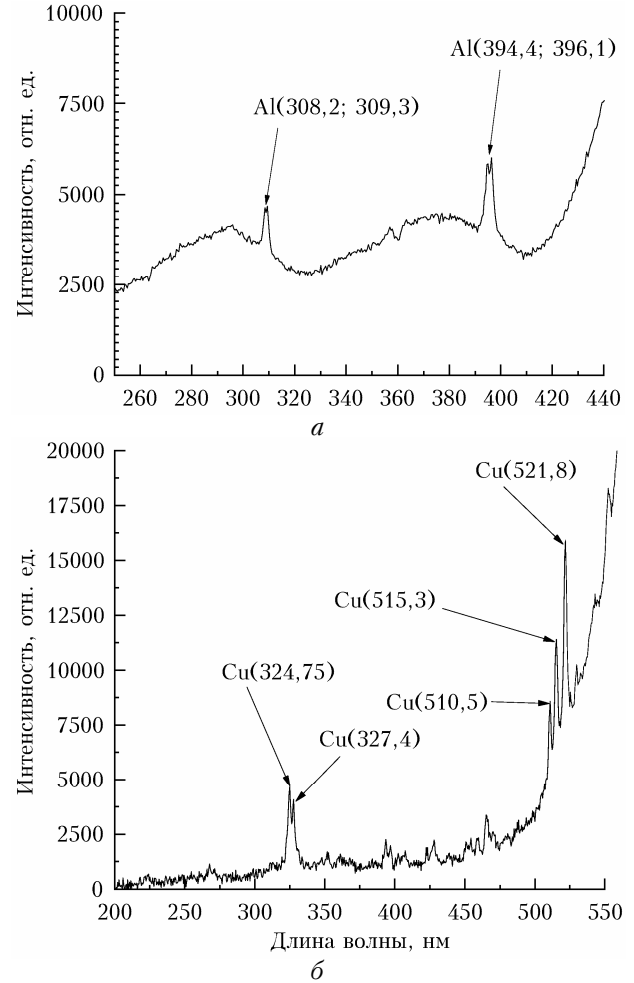


Рис. 6. Эмиссионные спектры свечения: а – Al; б – Cu, зарегистрированные на удалении 8 м от образцов твердого аэрозоля, после взаимодействия с филаментами

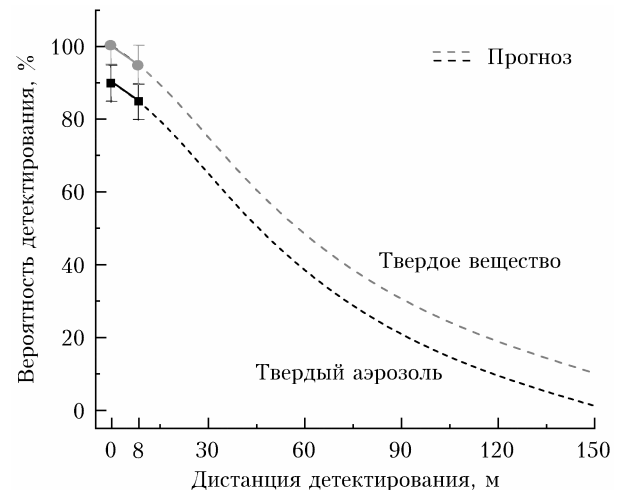


Рис. 7. Зависимость вероятности детектирования от дистанции распространения

можно более чем на 60 м. На дистанции 150 м детектирование эмиссии твердого аэрозоля становится невозможным.

Однако существует комплекс факторов и технических решений, которые могут способствовать повышению вероятности детектирования для контрольных образцов твердого аэрозоля и твердого вещества на дальних дистанциях. В частности, можно увеличить время накопления сигнала на приемнике при одновременном повышении частоты следования возбуждающих лазерных импульсов. Однако наиболее эффективно здесь удлинение области филаментации излучения по трассе, например, с помощью варьирования начальной фокусировки лазерного пучка, его размера (использование телескопа), энергии импульса [11], а также структуры светового поля на начальной апертуре пучка (использование деформируемого зеркала [12]). Это позволит создать протяженный и пространственно распределенный источник искровой эмиссии по всей глубине (длине) исследуемого аэрозольного облака, что повысит уровень принимаемого оптического сигнала.

Управление областью филаментации фемтосекундного лазерного излучения на воздушной трассе проиллюстрировано на рис. 8 (цв. вкладка), где показаны результаты теоретических расчетов нелинейного самовоздействия импульсов длительностью 100 фс с несущей длиной волны 800 нм и мощностью 320 ГВт ($100P_{cr}$). Диаметр лазерного пучка составлял 5 см. Моделировалась ситуация начального профилирования фазового фронта лазерного импульса перед направлением на трассу распространения с помощью гибкого многосегментного зеркала. Эта методика, а также детали численного моделирования подробно описаны в [12].

Три ситуации на рис. 8, *a–в* отличаются пространственной формой фазы излучения: абберационная, параболическая и плоская. Начальная форма фазовой поверхности приведена на каждом рисунке в виде пиктограммы. На рис. 8, *г–е* показан поперечный профиль плотности энергии импульса в центре области филаментации.

Видно, что в каждом случае происходит филаментация лазерного импульса, однако положение и общая протяженность участка повышенной интенсивности излучения, где и наблюдается активное плазмообразование, различны. Фокусировка пучка, соответствующая параболической фазе, приближает зону филаментации к началу трассы и сокращает ее длину L (рис. 8, *б*) по сравнению со случаем коллимированного излучения (рис. 8, *в*, планарный волновой фронт). Важно отметить, что за счет притесненных аббераций фазы излучения (рис. 8, *а*) происходит фрагментация профиля интенсивности на области, содержащие мощность порядка критической мощности самофокусировки (~ 3 ГВт в воздухе). Это позволяет растянуть область филаментации пучка вплоть до конца воздушной трассы и получить упорядоченную пространственную конфигурацию световых филаментов, изображенных на рис. 8, *г–е* в виде отдельных светлых областей.

Заключение

Эксперименты, проведенные в лабораторных условиях, в том числе на контролируемой воздуш-

ной трассе длиной 8 м, доказали эффективность использования фемтосекундной лазерно-эмиссионной спектроскопии для регистрации спектров веществ в твердом состоянии (имитация тополиной) и в виде твердого аэрозоля (имитация загрязняющего атмосферу аэрозоля). Показана возможность уверенного обнаружения большого числа эмиссионных линий использованных образцов. Управление протяженностью области филаментации на дистанции распространения излучения с помощью изменения условий фокусировки позволило осуществить дистанционное возбуждение эмиссионных спектров свечения контрольных образцов. Удлинение области филаментации вдоль трассы распространения излучения приводит к росту детектируемого сигнала, что частично компенсирует потери, связанные с удалением образца от приемника. Этот эффект может быть использован в качестве простого способа увеличения суммарной интенсивности сигнала свечения определяемых эмиссионных линий и, следовательно, повышения эффективности предложенного метода.

Авторы выражают благодарность А.В. Климкину, С.С. Голику, В.В. Лисице за замечания по существу и пожелания, способствовавшие значительному улучшению статьи.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

1. Беккер Ю. Спектроскопия. М.: Техносфера, 2009. 528 с.
2. Boumans P.W.J.M. Inductively Coupled Plasma Emission Spectroscopy, Part 1: Methodology, Instrumentation and Performance. New York: Wiley-Interscience, 1987. 608 p.
3. Aközbeğ N., Bowden C.M., Talebpour A., Chin S.L. Femtosecond pulse propagation in air: Variational analysis // Phys. Rev. 2000. V. E61. P. 4540–4549.
4. Голик С.С., Ильин А.А., Колесников А.В., Бабий М.Ю., Кульчин Ю.Н., Букин О.А. Влияние условий фокусировки лазерного излучения на интенсивность спектральных линий в методе фемтосекундной лазерной искровой спектроскопии жидкости // Письма в ЖТФ. 2013. Т. 39, вып. 15. С. 72.
5. Анексимов Д.В., Землянов А.А., Иглакова А.Н., Кабанов А.М., Кучинская О.И., Матвиенко Г.Г., Ошляков В.К. Филаментация тераваттных лазерных импульсов на стометровой атмосферной трассе // Оптика атмосф. и океана. 2015. Т. 28, № 3. С. 274–277; Apeksimov D.V., Zemlyanov A.A., Iglakova A.N., Kabanov A.M., Kuchinskaya O.I., Matvienko G.G., Oshlakov V.K., Petrov A.V. Filamentation of terawatt laser pulses along hundred-meter atmospheric paths // Atmos. Ocean. Opt. 2015. V. 28, N 4. P. 372–375.
6. Stelmaszczyk K., Rohwetter P., Mejean G., Yu J., Salmon E., Kasparian J., Ackermann R., Wolf J.P., Woste L. Long-distance remote laser-induced breakdown spectroscopy using filamentation in air // Appl. Phys. Lett. 2004. V. 85, iss. 18. P. 3977–3979.
7. Голик С.С., Букин О.А., Ильин А.А., Соколова Е.Б., Колесников А.В., Бабий М.Ю., Кульчин Ю.Н., Гальченко А.А. Определение пределов обнаружения элементов в воде методом фемтосекундной лазерно-искровой спектроскопии // Журн. прикл. спектроскоп. 2012. Т. 79, № 3. С. 485–489.
8. Golik S.S., Ilyin A.A., Babiy M.Yu., Biryukova Yu.S., Lisitsa V.V., Bukin O.A. Determination of iron in water solution by time-resolved femtosecond laser-induced break-

- down spectroscopy // Plasma Sci. Technol. 2015. V. 17, N 11. P. 975–978.
9. *Зайдель А.Н., Прокофьев В.К., Райский С.М.* Таблицы спектральных линий. М.: Наука, 1969. 782 с.
10. *Шмидт В.* Оптическая спектроскопия для химиков и биологов. М.: Техносфера, 2007. 368 с.
11. *Апексимов Д.В., Гейнц Ю.Э., Землянов А.А., Кabanov А.М., Матвиенко Г.Г., Ошлаков В.К.* Управление характеристиками множественной филаментации фемтосекундных лазерных импульсов в воздухе // Оптика атмосф. и океана. 2019. Т. 32, № 9. С. 717–725; *Апексимов Д.В., Geints Yu.E., Zemlyanov A.A., Kabanov A.M., Matvienko G.G., Oshlakov V.K.* Control of multiple filamentation of femtosecond laser pulses in air // Atmos. Ocean. Opt. 2020. V. 33, N 1. P. 42–50.
12. *Апексимов Д.В., Geints Yu.E., Zemlyanov A.A., Kabanov A.M., Oshlakov V.K., Petrov A.V., Matvienko G.G.* Controlling TW-laser pulse long-range filamentation in air by a deformable mirror // Appl. Opt. 2018. V. 57, N 34. 10 p. DOI: 10.1364/AO.99.099999.

D.V. Apeksimov, P.A. Babushkin, Yu.E. Geinz, A.A. Zemlyanov, A.M. Kabanov, G.G. Matvienko, V.K. Oshlakov, A.V. Petrov, V.M. Ryabtsev. **Study of the emission glow of solids and anthropogenic aerosols in a field of high-power femtosecond laser radiation during self-focusing in air for remote sensing of the atmosphere.**

Results of the complex experimental study of the spectral and temporal characteristics of the emission glow of control samples of several substances in the solid state (imitation of topographic targets in the atmosphere) and in the form of solid aerosols (imitation of air pollutants) under the action of femtosecond pulses of a Ti:Sa laser (at a carrier wavelength of 800 nm) and nonlinear optical effects are presented.

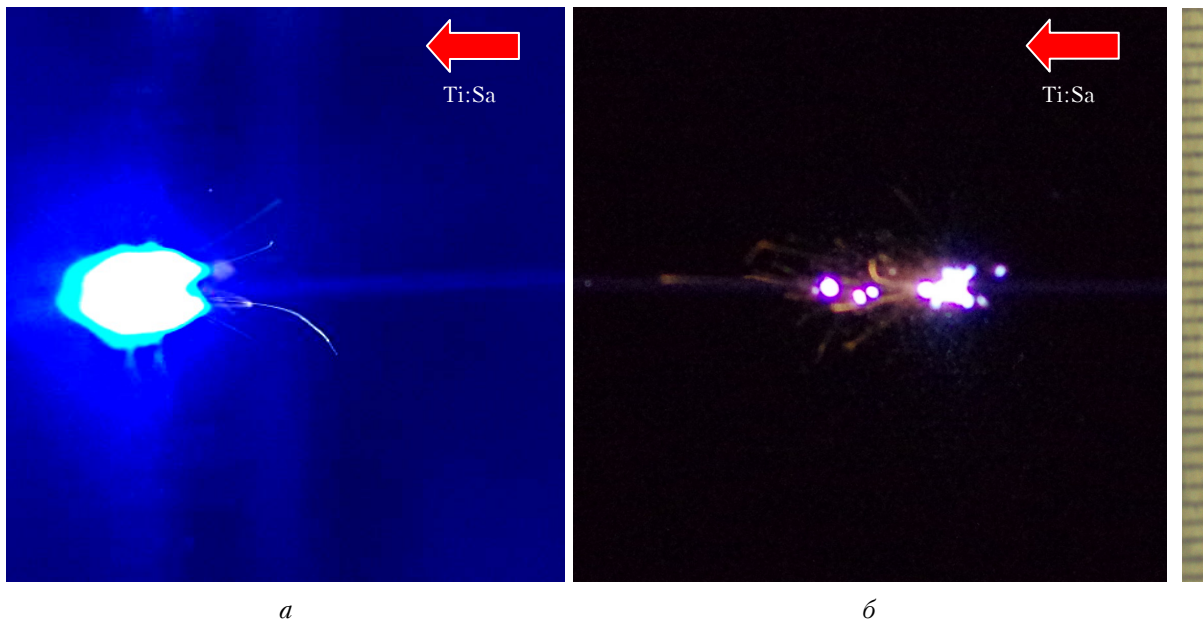


Рис. 2. Взаимодействие световых филаментов с образцом Al: *a* – в твердом состоянии; *б* – в виде твердого аэрозоля; деление шкалы справа – 1 мм

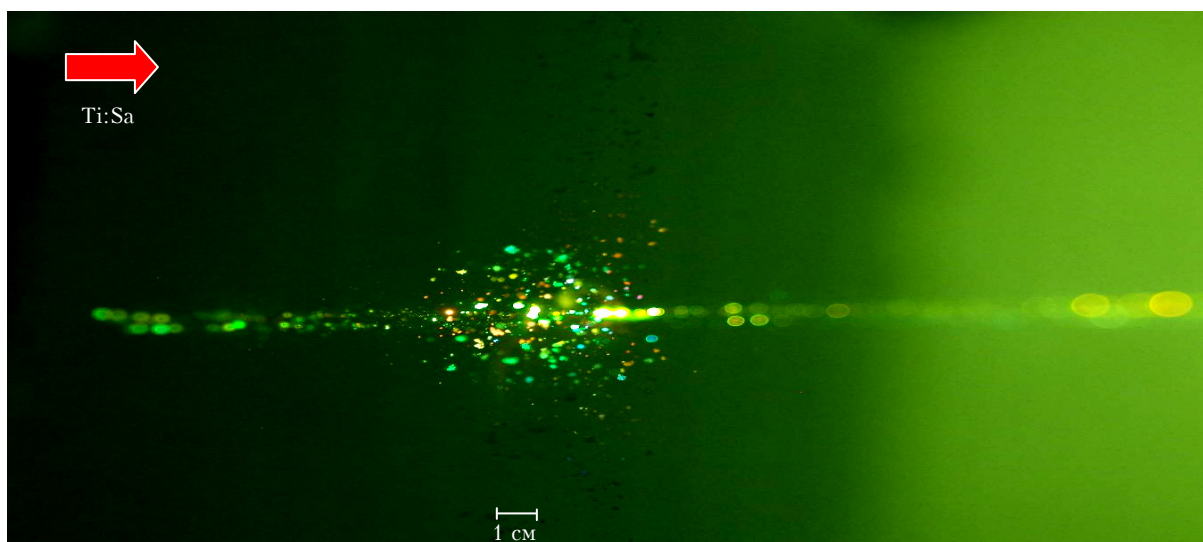


Рис. 5. Взаимодействие нескольких филаментов с образцом Si в виде твердого аэрозоля

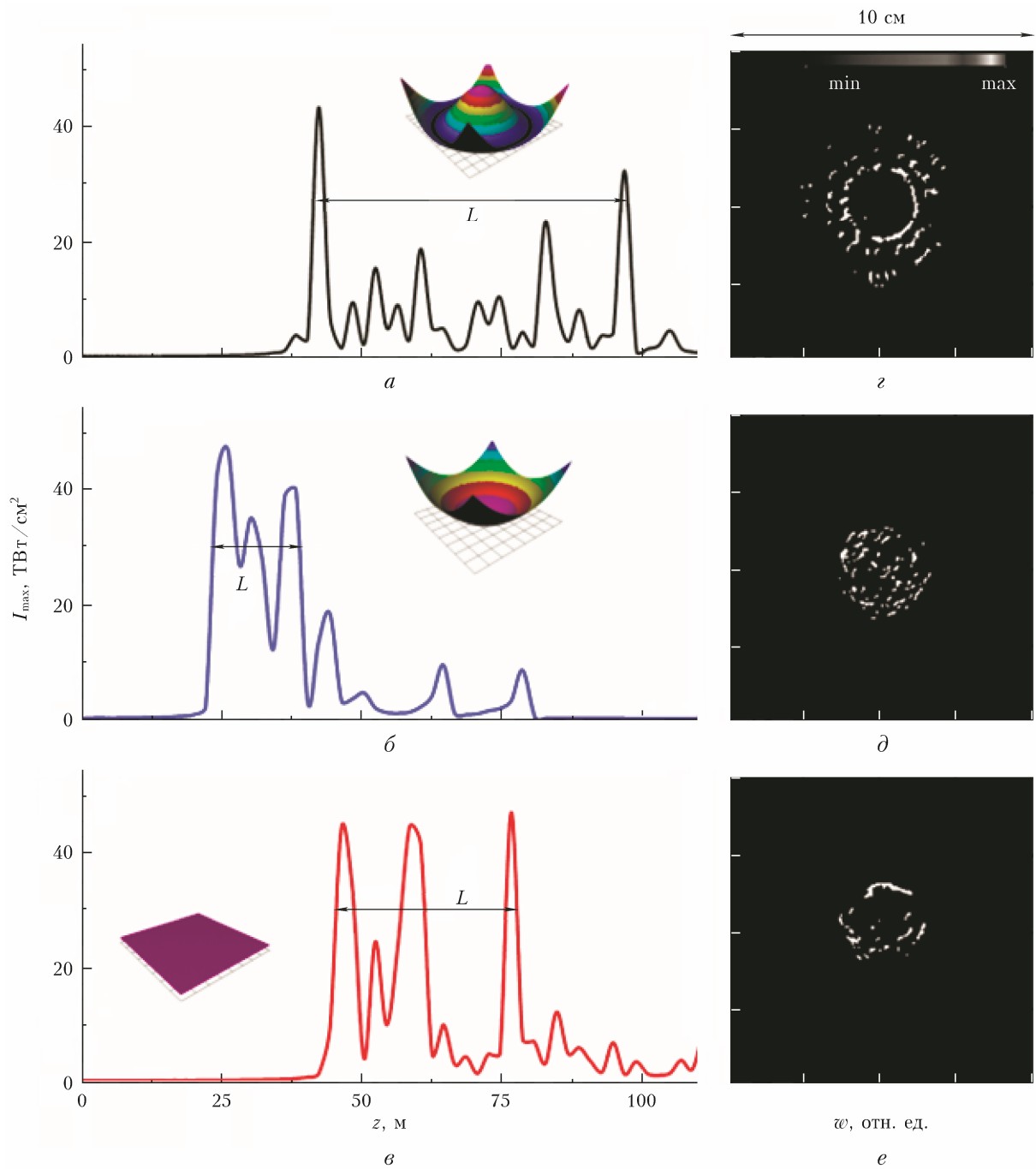


Рис. 8. Моделирование филаментации лазерного импульса в воздухе: a – c – пиковая интенсивность излучения I_{\max} в зависимости от расстояния z от источника излучения; z – e – поперечное распределение плотности энергии импульса w в зоне филаментации. Форма начальной фазы излучения показана пиктограммами