

НЕЛИНЕЙНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ И ОКЕАНЕ

УДК 530.182.551.510.42 + 535.621.33

Влияние турбулентности на формирование интенсивных световых каналов при распространении фемтосекундных лазерных импульсов на 100-метровой воздушной трассе

Д.В. Апексимов, П.А. Бабушкин, А.А. Землянов,
А.М. Кабанов[✉], Д.И. Кочетов, В.К. Ошлаков,
А.В. Петров, Е.Е. Хорошаева*

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

Поступила в редакцию 28.04.2023 г.;
после доработки 16.08.2023 г.;
принята к печати 22.08.2023 г.

Проблема удаленного формирования в атмосфере интенсивных лазерных пучков актуальна для решения задач атмосферной оптики, в частности для зондирования атмосферы. В работе экспериментально исследуется влияние искусственно созданного турбулентного слоя в начале трассы распространения излучения на характеристики области филаментации и формирование высокоинтенсивных плазменных и бесплазменных каналов для фемтосекундных лазерных пучков, в том числе при фазовом управлении поперечной структурой пучка с использованием деформируемого зеркала. Внесение турбулентности приближает начало области множественной филаментации к источнику излучения, однако это приближение несущественно ($< 10\%$ от длины трассы). Сформированный в начале трассы турбулентный слой приводит к многократному увеличению количества локализованных световых каналов в лазерном пучке в режиме его нелинейного распространения в воздухе. Интенсивность излучения в этих каналах достаточно велика для возбуждения двухфотонной флуоресценции, поэтому пучки такой структуры могут быть использованы для зондирования природного и антропогенного аэрозоля.

Ключевые слова: ультракороткий лазерный импульс, высокоинтенсивные световые каналы, турбулентность, множественная филаментация; ultrashort laser pulse, high-intensity light channels, turbulence, multiple filamentation.

Введение

Явление филаментации фемтосекундных лазерных импульсов сопровождается формированием плазменных каналов, сверхуширением частотного и углового спектров импульса, генерацией терагерцового излучения, компрессией светового импульса, генерацией суперконтинуального излучения и конечной эмиссии, формированием высокоинтенсивных слаборасходящихся постфиламентационных каналов и другими нелинейно-оптическими эффектами. В условиях лазерной филаментации в воздухе сохраняются постоянными экстремально высокие значения пиковой интенсивности излучения на достаточно

протяженной дистанции. При филаментации спектр лазерного излучения значительно уширяется. Это свойство можно использовать в различных атмосферных приложениях, в частности для дистанционного обнаружения и химического анализа атмосферных аэрозолей [1].

Высокая мощность фемтосекундного лазерного импульса способствует реализации многофотонных процессов в среде, таких как флуоресценция и эмиссионное свечение вещества, что расширяет возможности дистанционной фемтосекундной диагностики компонентов атмосферы [2–9], в том числе в режиме формирования бесплазменных каналов при распространении импульса [10, 11]. Эти световые каналы имеют такую же малую расходимость, как и постфиламентационные [11, 12]. Если они попадают в среду с большим, чем у воздуха, нелинейным коэффициентом преломления и при этом область филаментации в данной среде формируется в виде полого конуса, то, как было показано в [10, 13], интенсивность в каналах составляет порядка нескольких ТВт/см². Эти свойства (высокая

* Дмитрий Владимирович Апексимов (apeximov@iao.ru); Павел Александрович Бабушкин (bra@iao.ru); Александр Анатольевич Землянов (zaa@iao.ru); Андрей Михайлович Кабанов (kam@iao.ru); Денис Иванович Кочетов (tigerdencat@yandex.ru); Виктор Константинович Ошлаков (ovk@iao.ru); Алексей Вадимович Петров (awp@iao.ru); Елена Евгеньевна Хорошаева (bee@iao.ru).

интенсивность и малая расходимость) бесплазменных световых каналов представляют большой практический интерес для фемтосекундной дистанционной диагностики, а также открывают перспективы их использования как средства доставки интенсивного широкополосного и узконаправленного излучения на большие расстояния в атмосфере.

Увеличение числа таких каналов может быть достигнуто путем искусственного создания областей оптической турбулентности [14]. Известно, что атмосферная турбулентность вызывает флуктуации показателя преломления воздушной среды и вносит искажения в фазовый и амплитудный профили светового поля импульса, что приводит к флуктуациям интенсивности в поперечном сечении пучка и инициирует зарождение и формирование плазменных филаментов и интенсивных бесплазменных световых каналов. Ранее теоретически [15–18] и экспериментально [19–21] было показано, что наличие неоднородностей в лазерном пучке или среде распространения, в том числе турбулентности, стимулирует более раннее появление филаментов.

Несмотря на большое количество научных работ по филаментации ультракоротких лазерных импульсов в турбулентной атмосфере, опубликованных к настоящему времени, эмпирической информации о влиянии оптической турбулентности на дистанцию самофокусировки и количество интенсивных световых каналов недостаточно.

Цель работы — исследовать влияние искусственно созданного турбулентного слоя в начале трассы распространения излучения на характеристики об-

ласти филаментации и формирование высокоинтенсивных плазменных и бесплазменных каналов для фемтосекундных лазерных пучков, в том числе при фазовом управлении поперечной структурой пучка с помощью деформируемого зеркала.

Описание эксперимента

Эксперименты на 100-метровой трассе проводились на стенде «Фемтосекундная атмосферная оптика» ИОА СО РАН, который включает в себя тераваттный источник лазерных импульсов, а также комплект измерительной и регистрирующей аппаратуры для измерения пространственных, временных, энергетических и спектральных характеристик излучения. Схема эксперимента представлена на рис. 1. Увеличение начального диаметра пучка в два раза осуществлялось с помощью телескопа, состоящего из дефокусирующего 2 и фокусирующего 3 зеркал. Для создания турбулентного слоя в начале трассы использовалась дизельная тепловая пушка 8, которая располагалась на расстоянии 19 м от деформируемого зеркала, направлялась соосно лазерному пучку и формировала область турбулентных возмущений длиной ~ 5 м.

Эксперименты проводились для пучков диаметром 2,5 и 5 см. Поскольку тепловая пушка вносила в среду не только тепловую, но и ветровую турбулентность, для выделения влияния каждой из этих компонент вместо тепловой ставилась ветровая пушка 8*, генерирующая воздушный поток

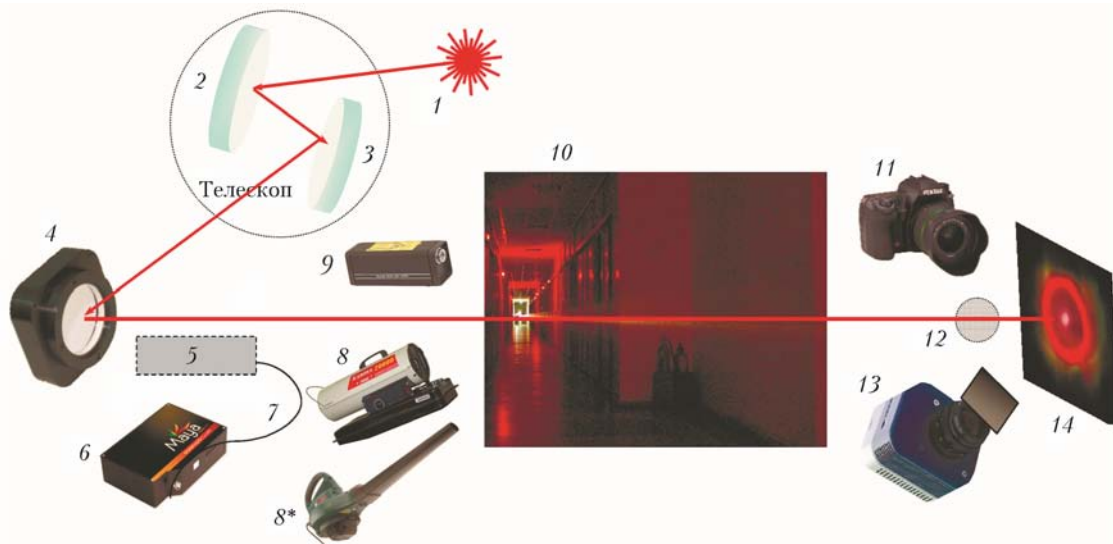


Рис. 1. Схема эксперимента: 1 — Ti:Sapphire-лазерный комплекс (длина волны 800 нм, частота повторения импульсов 10 Гц, энергия до 40 мДж, длительность импульса 65 фс, диаметр пучка 2,5 см на уровне e^{-2}); 2 — сферическое зеркало с радиусом кривизны 100 см; 3 — сферическое зеркало с радиусом кривизны 200 см; 4 — деформируемое зеркало U-Flex-56-MDL-57 ($d = 5,6$ см); 5 — телескоп Ньютона (параболическое зеркало $d = 20$ см, фокусное расстояние 68 см); 6 — спектрометр Maya2000Pro; 7 — световод; 8 — тепловая пушка Keroa P-2000E-T (16,5 кВт, температура на выходе из сопла 370 °C), 8* — ветровая пушка BOSCH-3000; 9 — He-Ne-лазер JDS UNIPHASE 4 мВт; 10 — фотоснимок коридора (100-метровая трасса); 11 — фотокамера Pentax K-3 (25 МП) с объективом Pentax100 MacroWR; 12 — среда, содержащая R6G и уранин; 13 — CCD-камера «Andor Clara» (1392 × 1040 пикселей, 16 бит/пиксель); 14 — подвижный экран (см. цветной рисунок на сайте <http://iao.ru/ru/content/vol.36-2023/iss.10>)

скоростью 80 м/с. Под действием только ветровой компоненты флуктуаций интенсивности в сечении пучка не наблюдалось.

Результаты и обсуждение

Влияние турбулентности на поперечную структуру низкоинтенсивного пучка He–Ne-лазера иллюстрирует рис. 2. В гладкий гауссов профиль пучка (рис. 2, *а*) турбулентность вносит неоднородности интенсивности (рис. 2, *б*), связанные с флуктуациями показателя преломления среды в турбулентном слое. Для мощного импульса Ti:Sa-лазера эти флуктуации являются «затравочными» для формирования плазменных (филаментов) и интенсивных бесплазменных каналов [17]. На рис. 2, *а*, *в* показаны пучки диаметром 5 см в среде без турбулентности, а на рис. 2, *б*, *г* — те же пучки после прохождения турбулентного слоя. Видно, что наличие слоя с тепловыми неоднородностями показателя преломления приводят к разбиению пучка Ti:Sa-лазера на субпучки, при этом весь пучок, что важно, сохраняет свою форму. Снимки сделаны с помощью фотокамеры 11 (рис. 2, *а*, *б*) и CCD-камеры 13 с экспозицией 100 мс (рис. 2, *в*, *г*).

На рис. 3 и 4 показано влияние турбулентного слоя на положение начала области множественной филаментации (ОМФ) и количество каналов для пучков излучения Ti:Sa-лазера с гауссовым профилем диаметром 2,5 и 5 см. Внесенная турбулентность приводит к приближению начала ОМФ к источнику излучения, что видно на рис. 3, *а* и 4, *а*. Однако сокращение дистанции (D) до начала ОМФ при наличии турбулентности не существенно в масштабе трассы ($< 10\%$ от длины трассы). Более важным является то, что сформированный в начале трассы турбулентный слой приводит к многократному увеличению количества интенсивных световых каналов на протяженной оптической трассе (~ 100 м).

Различие между филаментом и интенсивным световым каналом заключается в первую очередь в наличии в филаменте плазменного канала. В световом канале интенсивность на несколько порядков ниже, чем в филаменте, и ее недостаточно для многофотонной ионизации среды, но достаточно для удержания малой расходимости канала за счет керровской нелинейности. С точки зрения регистрируемых в эксперименте характеристик отличие высокоинтенсивного бесплазменного канала от филамента состоит в том, что, во-первых, в направлении,

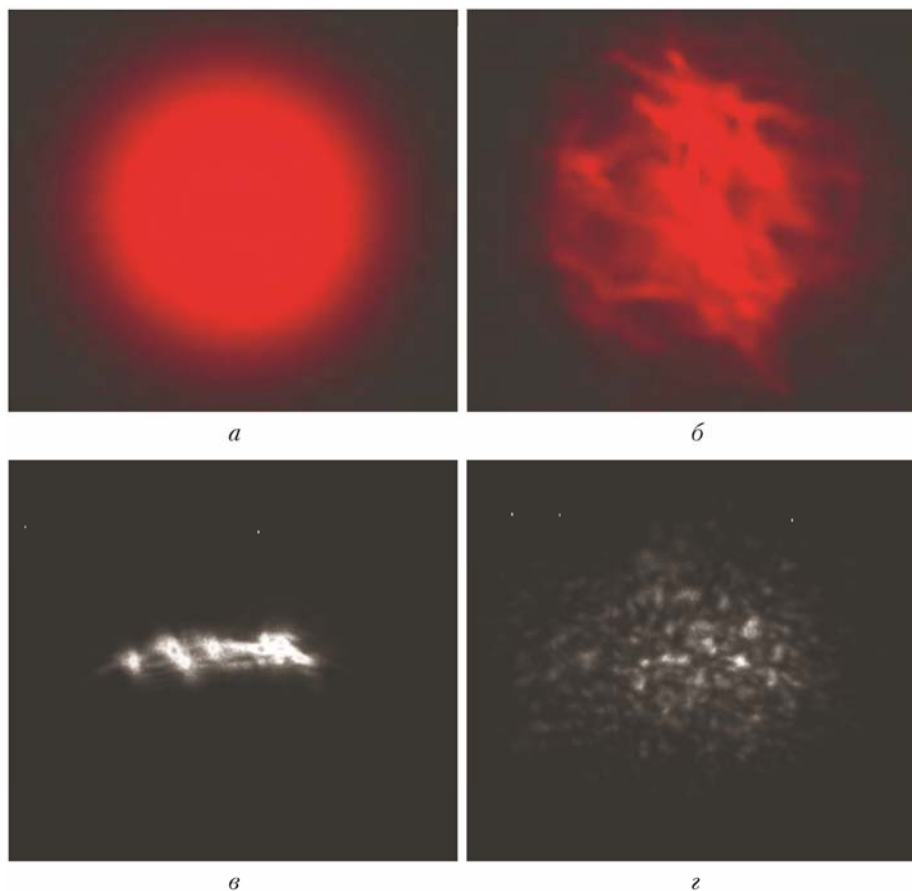


Рис. 2. Профиль пучка излучения He–Ne-лазера (*а*, *б*) и Ti:Sa-лазера (энергия импульса 24 мДж) (*в*, *г*) диаметром $d = 5$ см в среде без турбулентности (*а*, *в*) и после прохождения турбулентного слоя (*б*, *г*) (см. цветной рисунок на сайте <http://iao.ru/ru/content/vol.36-2023/iss.10>)

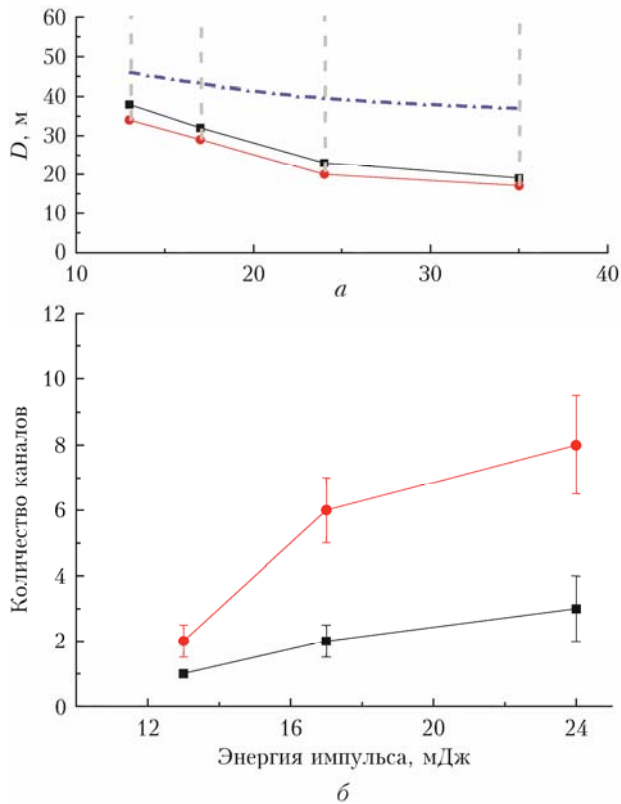


Рис. 3. Зависимость начала (сплошные кривые) и конца ОМФ (штрихпунктирная кривая) (a) и количества каналов ($б$) от энергии фемтосекундного лазерного импульса при наличии ($\bullet$) и отсутствии турбулентности ($\blacksquare$) для пучка с $d = 2,5$ см; штриховые прямые – интенсивные световые каналы

перпендикулярном распространению импульса, не наблюдается бело-голубое свечение молекулярного азота, во-вторых, не регистрируется характерный акустический сигнал при внесении в пучок белой бумаги и, в-третьих, отсутствует коническая эмиссия, наблюдаемая на экране после области филаментации.

Если в начальном пучке присутствует эллиптичность с коэффициентом сжатия $k = b/a \sim 0,98$ (b и a – малая и большая полуоси эллипса соответственно), то на конечном этапе распространения пучок трансформируется (см. рис. 2, $в$), в данном случае вытягивается в горизонтальную линию. Возможны (и нами неоднократно наблюдались ранее) и иные трансформации пучка. При внесении турбулентности форма пучка не меняется так сильно и больше похожа на первоначальную форму пучка как целого (рис. 5).

Ранее нами было показано [11], что наиболее устойчивыми к искажениям формы при распространении в среде с кубичной нелинейностью являются пучки с кольцевой структурой. Для формирования такой структуры в наших экспериментах использовалось деформируемое зеркало 4 (см. рис. 1) с 57 управляемыми элементами. На рис. 5 представлена поперечная структура пучка, распространяющегося в среде без турбулентности и при нали-

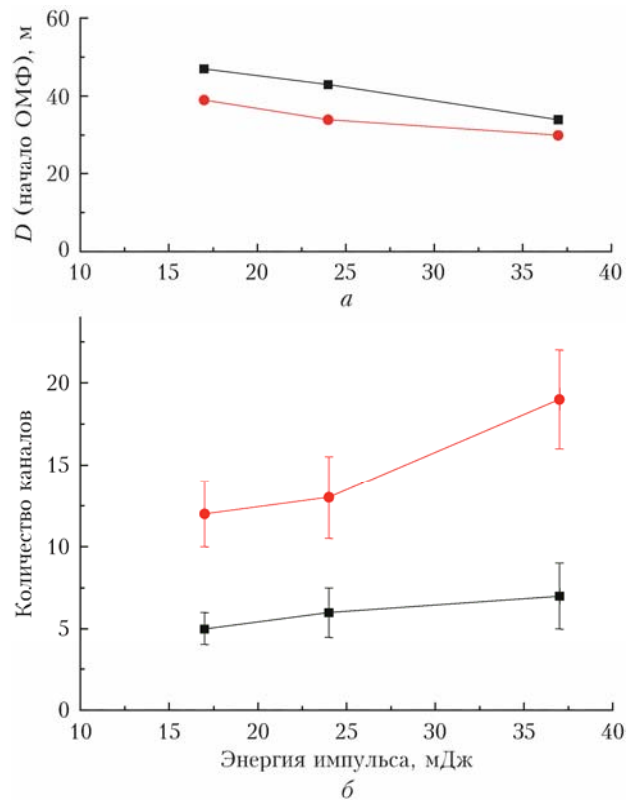


Рис. 4. Зависимость начала ОМФ (a) и количества каналов ($б$) от энергии фемтосекундного лазерного импульса при наличии ($\bullet$) и отсутствии турбулентности ($\blacksquare$) для пучка диаметром 5 см

тии турбулентного слоя. Снимки зарегистрированы фотокамерой 11 (см. рис. 1) при экспозиции $1/10$ с, что позволяло фиксировать изображение только одного импульса.

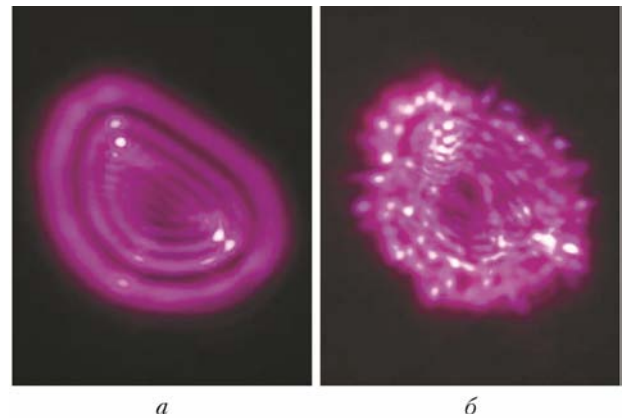


Рис. 5. Поперечная структура пучка с $d = 5$ см (энергия импульса 24 мДж) на расстоянии 28 м от деформируемого зеркала в среде без турбулентности (a) и после прохождения турбулентного слоя ($б$)

На рис. 6 показана зависимость количества интенсивных световых каналов от расстояния до деформируемого зеркала для кольцевого пучка. На каждом отмеченном на шкале расстоянии регистрировалось несколько десятков снимков, по которым

определялось число интенсивных световых каналов. За оптический канал принималась пространственно локализованная «горячая область» на снимке, интенсивность в пределах которой была не ниже одной десятой от уровня абсолютного максимума по всему снимку.

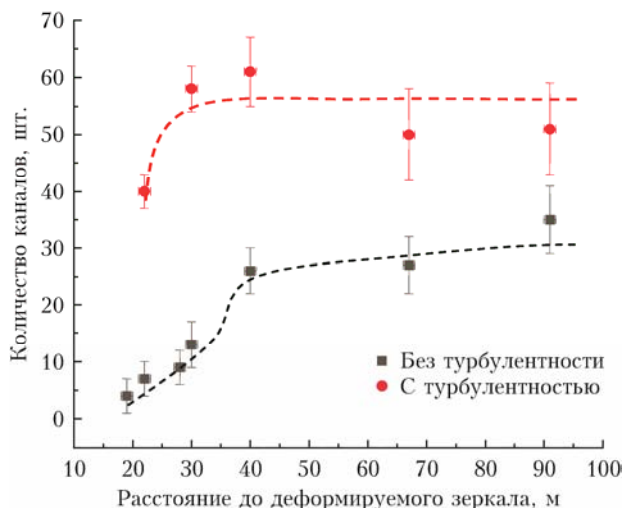


Рис. 6. Зависимость количества каналов в поперечном сечении кольцевого пучка с $d = 5$ см от расстояния до деформируемого зеркала (энергия импульса $E = 24$ мДж)

Видно, что количество каналов в кольцевом пучке при отсутствии турбулентности больше, чем в гауссовом пучке. При внесении турбулентности превышение становится еще более значительным. Из сравнения данных на графиках 4, б и 6 видно, что количество каналов в пучке увеличивается более чем в три раза при равной энергии импульса. Количество каналов в кольцевом пучке при наличии турбулентности в 12 раз больше, чем в гауссовом пучке при ее отсутствии. При этом в начале трассы количество каналов в условиях турбулентности в несколько раз превышает количество каналов в среде без турбулентности. Насыщение роста числа каналов при наличии турбулентного слоя происходит на меньшей дистанции, чем в невозмущенной среде.

В качестве примера возможного использования лазерного пучка со структурой, формируемой при наличии турбулентного слоя в начале трассы распространения, были проведены измерения флуоресценции растворов родамина 6Ж и уранина (в концентрации 0,4 г/л) по схеме зондирования для моностатического лидара с базой 15 см с использованием телескопа Ньютона 5 и спектрометра 6 (см. рис. 1) с расстояния 100 м, время накопления сигнала 10 с (100 лазерных импульсов).

На рис. 7 приведены спектры флуоресценции родамина 6Ж (а) и уранина (б), индуцированной интенсивными световыми каналами на удалении 100 м от источника излучения.

Очевидно, что свечение в видимой области спектра может быть возбуждено излучением ближнего ИК-диапазона только за счет многофотонного

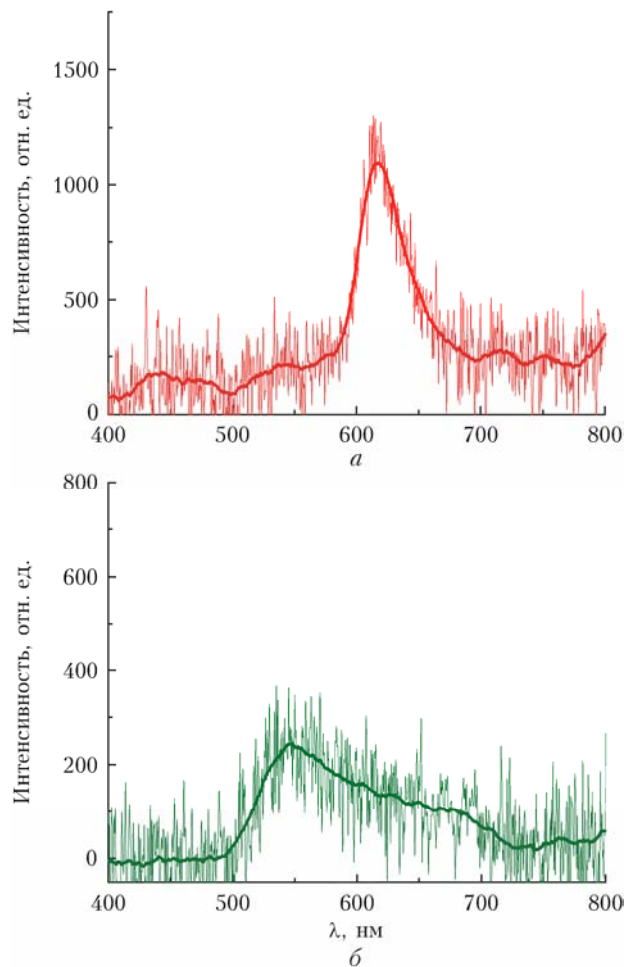


Рис. 7. Спектры флуоресценции родамина 6Ж (а) и уранина (б), возбужденной интенсивными световыми каналами на удалении 100 м от источника излучения

поглощения. Это, в свою очередь, означает, что в сформированных в начале трассы многочисленных световых каналах за счет их малой расходимости интенсивность на большом расстоянии от источника излучения сохраняется достаточной для возбуждения флуоресценции.

Заключение

Проведенные исследования показали, что сформированный в начале оптической трассы локализованный турбулентный слой приводит к кратному увеличению количества интенсивных каналов в пучке мощного фемтосекундного излучения за счет наведенных неоднородностей показателя преломления воздуха. Эти неоднородности инициируют возмущения в распределении интенсивности излучения, которые затем усиливаются и трансформируются в интенсивные световые каналы при нелинейном распространении пучка на воздушной трассе в режиме самофокусировки и филаментации. Данные световые каналы являются достаточно интенсивными для того, чтобы на расстоянии 100 м от источника излучения инициировать двухфотонную

флуоресценцию растворов красителей, которая была зарегистрирована дистанционно по лидарной схеме. Увеличение количества интенсивных световых каналов приводит к увеличению сигнала двухфотонной флуоресценции.

Наряду с турбулентностью, число образующихся световых каналов может быть увеличено путем фазовой модуляции фемтосекундного импульса, при которой формируется лазерный пучок с многокольцевой структурой.

Обнаруженное многократное увеличение количества высокоинтенсивных слаборасходящихся световых каналов представляет интерес для задач дистанционной диагностики атмосферы и удаленной транспортировки лазерного излучения высокой интенсивности.

Благодарности. Авторы выражают благодарность профессору, доктору физико-математических наук Ю.Э. Гейнцу за активное обсуждение результатов и помощь в подготовке статьи.

Финансирование. Исследования выполнены в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

Список литературы

1. Daigle J.-F., Kamali Y., Chateaufneuf M., Tremblay G., Theberge F., Dubois J., Roy G., Chin S.L. Remote sensing with intense filaments enhanced by adaptive optics // *Appl. Phys. B*. 2009. V. 97. P. 701–713.
2. Stelmaszczyk K., Rohwetter P. Long-distance remote laser-induced breakdown spectroscopy using filamentation in air // *Appl. Phys. Lett.* 2004. V. 85, N 18. P. 3977–3979.
3. Xu H.L., Liu W., Chin S.L. Remote time-resolved filament-induced breakdown spectroscopy of biological materials // *Opt. Lett.* 2006. V. 31, N 10. P. 1540–1542.
4. Sunchugasheva E.S., Ionin A.A., Mokrousova D.V., Seleznev L.V., Sinitsyn D.V., Geints Yu.E., Zemlyanov A.A. Remote sensing for oil products on water surface via fluorescence induced by UV filaments // *Proc. SPIE*. 2016. V. 9988. P. 99880V-1–99880V-7.
5. Apeksimov D.V., Zemlyanov A.A., Zemlyanov A.A., Iglakova A.N., Kabanov A.M., Kuchinskaya O.I., Matvienko G.G., Oshlakov V.K., Petrov A.V. The emission spectra in a femtosecond plasma of aerosols // *Proc. SPIE*. 2018. V. 10833. P. 108332L1–108332L4.
6. Иванов Н.Г., Лосев В.Ф., Прокопьев В.Е., Ситник К.А. Сверхизлучение на ионах молекулярного азота в филаменте // *Оптика атмосфер. и океана*. 2016. Т. 29, № 2. С. 128–132; Ivanov N.G., Losev V.F., Prokop'ev V.E., Sitnik K.A. Superradiance by molecular nitrogen ions in filaments // *Atmos. Ocean. Opt.* 2016. V. 29, N 4. P. 385–389.
7. Mejean G., Kasparian J., Yu J., Frey S., Salmon E., Wolf J.-P. Remote detection and identification of biological aerosols using a femtosecond terawatt lidar system // *Appl. Phys. B*. 2004. V. 78. P. 535–537.
8. Boutou V., Favre C., Hill S.C., Pan Y.L., Chang R.K., Wolf J.-P. Backward enhanced emission from multiphoton processes in aerosols // *Appl. Phys. B*. 2002. V. 75. P. 145–152.
9. Hill S.C., Pan Y., Holler S., Chang R.K. Enhanced backward-directed multiphoton-excited fluorescence from dielectric microcavities // *Phys. Rev. Lett.* 2000. V. 85, N 1. P. 54–57.
10. Apeksimov D.V., Geints Y.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. P. 9760–9769.
11. Анексимов Д.В., Гейнц Ю.Э., Землянов А.А., Иглакова А.Н., Кабанов А.М., Кучинская О.И., Матвиенко Г.Г., Ошлаков В.К., Петров А.В. Влияние фазовых aberrаций на положение и протяженность области филаментации // *Оптика атмосфер. и океана*. 2018. Т. 31, № 12. С. 941–947; Apeksimov D.V., Geints Yu.E., Zemlyanov A.A., Iglakova A.N., Kabanov A.M., Kuchinskaya O.I., Matvienko G.G., Oshlakov V.K., Petrov A.V. The effect of phase aberrations on the position and length of the filamentation domain // *Atmos. Ocean. Opt.* 2019. V. 32, N 2. P. 109–116.
12. Анексимов Д.В., Землянов А.А., Иглакова А.Н., Кабанов А.М., Кучинская О.И., Матвиенко Г.Г., Ошлаков В.К., Петров А.В., Соколова Е.Б. Локализованные световые структуры с высокой интенсивностью при множественной филаментации фемтосекундного импульса титан-сапфирового лазера на воздушной трассе // *Оптика атмосфер. и океана*. 2017. Т. 30, № 11. С. 910–914; Apeksimov D.V., Zemlyanov A.A., Iglakova A.N., Kabanov A.M., Kuchinskaya O.I., Matvienko G.G., Oshlakov V.K., Petrov A.V., Sokolova E.B. Localized high-intensity light structures during multiple filamentation of Ti:Sapphire laser femtosecond pulses along an air path // *Atmos. Ocean. Opt.* 2018. V. 31, N 2. P. 107–111.
13. Geints Y.E., Ionin A.A., Mokrousova D.V., Rizaev G.E., Seleznev L.V., Sunchugasheva E.S., Zemlyanov A.A. Energy, spectral and angular properties of post-filamentation channels during propagation in air and condensed media // *J. Opt. Soc. Am. B*. 2019. V. 36. P. G19–G24.
14. Apeksimov D.V., Bulygin A.D., Geints Yu.E., Kabanov A.M., Khoroshaeva E.E., Petrov A.V., Oshlakov V.K. Statistical parameters of femtosecond laser pulse post-filament propagation on a 65 m air path with localized optical turbulence // *J. Opt. Soc. Am. B*. 2022. V. 39, N 12. P. 3237–3246.
15. Kandidov V.P., Kosareva O.G., Tamarov M.P., Brodeur A., Chin S.L. Nucleation and random movement of filaments in the propagation of high-power laser radiation in a turbulent atmosphere // *Quant. Electron.* 1999. V. 29, N 10. P. 911–915.
16. Кандидов В.П., Косарева О.Г., Тамаров М.П., Бродер А., Чин С.Л. Зарождение и блуждание филаментов при распространении мощного лазерного излучения в турбулентной атмосфере // *Квант. электрон.* 1999. Т. 29, № 1. С. 73–77.
17. Шленов С.А., Кандидов В.П. Формирование пучка филаментов при распространении фемтосекундного лазерного импульса в турбулентной атмосфере. Часть 2. Статистические характеристики // *Оптика атмосфер. и океана*. 2004. Т. 17, № 8. С. 637–641.
18. Кандидов В.П., Шленов С.А. Тепловое самовоздействие лазерных пучков и филаментация импульсов в турбулентной атмосфере // *Оптика атмосфер. и океана*. 2012. Т. 25, № 1. С. 11–17; Kandidov V.P., Shlenov S.A. Thermal self-action of laser beams and filamentation of pulses in turbulent atmosphere // *Atmos. Ocean. Opt.* 2012. V. 25, N 3. P. 192–198.
19. Шленов С.А., Марков А.И. Управление филаментацией фемтосекундных лазерных импульсов в турбулентной атмосфере // *Квант. электрон.* 2009. Т. 39, № 7. С. 658–662.

20. Salame R., Lascoux N., Salmon E., Ackermann R., Kasparian J., Wolf J.P. Propagation of laser filaments through an extended turbulent region // Appl. Phys. Lett. 2007. V. 91, N 17. P. 171106-1–171106-3.
21. Paunescu G., Spindler G., Riede W., Schroder H., Giesen A. Multifilamentation of femtosecond laser pulses induced by small-scale air turbulence // Appl. Phys. B. 2009. V. 96, N 1. P. 175–183.

D.V. Apeksimov, P.A. Babushkin, A.A. Zemlyanov, A.M. Kabanov, D.I. Kochetov, V.K. Oshlakov, A.V. Petrov, E.E. Khoroshaeva. **The effect of turbulence on generation of intense light channels during propagation of femtosecond laser pulses along 100-meter air path.**

Remote control of intense laser beams is an important problem of atmospheric optics. It is of special interest for atmospheric sounding, where turbulence can affect beam propagation. We experimentally study the effect of a turbulent layer produced at the beginning of a laser radiation propagation path on the characteristics of the filamentation domain and generation of high-intensity plasmaless channels for laser beams 2.5 and 5 cm diameter, including under the phase control of the transverse beam structure with a deformable mirror. Turbulence leads to the approach of the beginning of multifilamentation domain to the radiation source, which is, however, insignificant ($<10\%$ of the path length). More important that a turbulent layer formed at the beginning of the path results in a multiple increase in the number of intense (mean intensity is $\sim 10^{11} - 10^{12} \text{ W/cm}^2$) light channels in a laser beam during its nonlinear propagation, which induce two-photon fluorescence of dyes at a distance of longer than 100 m from the radiation source with the signal level sufficient for its recording by the lidar scheme. Hence, this laser beam structure can be used for sounding natural and anthropogenic aerosols.