

Влияние погодных условий на параметры короткого лазерного импульса, отраженного атмосферой

Б.Д. Борисов¹, В.В. Белов^{1,2*}

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1

²Томский государственный университет
6340034, г. Томск, пр. Ленина, 36

Поступила в редакцию 8.12.2010 г.

Экспериментально изучена трансформация (амплитуды, длительности и формы) коротких лазерных импульсов после их взаимодействия с атмосферой в зимне-весенний период. Импульсы генерировались лазером на парах бромида меди. Отраженные от фиксированного рассеивающего объема оптические сигналы регистрировались и принимались непосредственно на цифровой осциллограф с возможностями их осреднения. Получены данные о связях амплитуды импульсов с состоянием атмосферы, об их форме и длительности.

Ключевые слова: лазер, отраженный импульс, атмосфера, оптическая связь; laser, reflected impulse, atmosphere, optical communication.

Введение

Передача информации оптическими методами имеет давнюю историю (береговые маяки, корабельная оптическая связь, «оптический телеграф», изобретенный в конце XVIII в.) [1]. Современные, так называемые «открытые оптические системы связи», построенные на лазерах, используются большей частью для передачи информации в пределах прямой видимости передатчика и приемника. В приземном слое атмосферы оптический сигнал может сильно затухать в сложных атмосферных ситуациях. К помехам, ухудшающим прием оптических сигналов, можно отнести, например, дым, пыль, туман, снегопад и другие атмосферные явления. В слабо замутненной атмосфере передача информации с помощью узкого лазерного пучка отягощена значительным влиянием атмосферной турбулентности. При прочих искажениях пучка даже на небольших трассах турбулентность приводит к «беганию» пучка по апертуре приемника. Для более надежного приема сигнала в различных погодных условиях рассматриваются и применяются разнообразные системы оптической связи. Наряду с прямым пучком, несущим информацию, предлагается использовать рассеянное в направлении вперед излучение [2]. Несмотря на возникающие препятствия в развитии оптических схем связи, в настоящее время ведутся исследования и внедряются новые технические решения в реализациях открытых оптических систем передачи информации [3–11].

О необходимости создания систем лазерной связи, способных работать вне пределов прямой види-

мости, речь ведется довольно давно – по сути, со времени появления первых лазеров. Сама идея лазерной связи такого типа, или как ее еще называют «загоризонтная лазерная связь», по всей видимости, возникла по аналогии с ионосферной связью на радиоволнах (рис. 1).

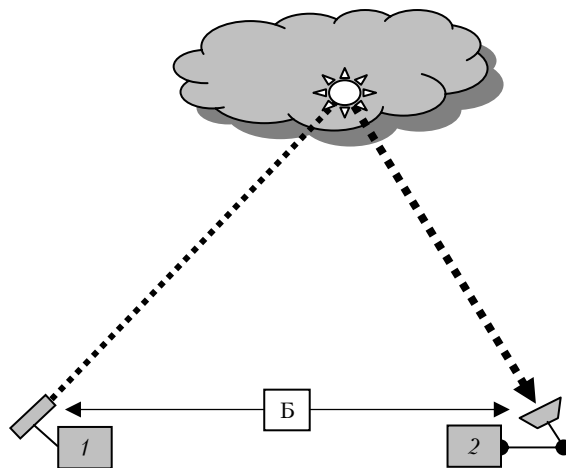


Рис. 1. Схематическое изображение передачи оптической информации через облачный «ретранслятор»: 1 – лазерный передатчик с устройством импульсного кодирования информации; 2 – приемник сигналов, отраженных и рассеянных облачной средой с устройством декодирования; Б – базовое расстояние между передатчиком и приемником

Возникновению загоризонтной связи способствовали также исследования по зондированию атмосферы с помощью оптического излучения, интенсивно проводившиеся до 60-х гг. XX в. [12, 13]. Появление лазеров привело к созданию разнообразных схем бистатического зондирования атмосферы – прямых прообразов загоризонтной лазерной связи [14–18].

* Борис Дмитриевич Борисов; Владимир Васильевич Белов (belov@iao.ru).

Таким образом, системы оптической связи, принимающие сигнал через «ретранслятор», в качестве которого может быть не только аэрозольно-газовая атмосфера, но и облачная среда или какие-либо другие дисперсные среды, способны осуществлять оптическую связь вне зоны прямой видимости передатчика и приемника. Такие системы связи могут быть построены не только на рассеивающих свойствах тропосферы. В верхних слоях атмосферы ретрансляция информационного сигнала возможна посредством использования искусственных рассеивающих образований. Протяженный диффузный рассеивающий объект, подсвеченный лазерным источником, может создавать излучение в любом направлении, и наряду с функцией формирователя опорного излучателя адаптивных систем наблюдения (опорных звезд) [19, 20] возможно его использование для перенаправления оптической информации в системах связи.

В настоящей статье приводятся результаты предварительных экспериментов, посвященных изучению трансформации отраженных атмосферой коротких оптических импульсов в зависимости от изменяющихся метеорологических (погодных) условий в весенне-зимнее время года.

Аппаратура и методика измерений

Экспериментальные работы проводились по схеме, подобной схеме бистатического зондирования с малым ($B = 2$ м) базовым расстоянием (см. рис. 1).

Причин выбора такой схемы исследований было несколько: 1) зимнее время года, когда в Сибирском регионе довольно низкие температуры, и 2) ночные условия; 3) в индикатрисах рассеяния атмосферного воздуха при наличии в нем аэрозоля всегда можно найти равнозначные по интенсивности направления для углов рассеяния в заднюю и переднюю полусферы.

Измерения проводились с начала февраля по первую неделю апреля 2010 г. Источником излучения (рис. 2) был выбран лазер на парах бромида меди 1, который одновременно генерировал две длины волны — 0,51 и 0,58 мкм.

Выбор такого лазера был вызван особенностью схемы питания, которая позволяла управлять его излучением [21], а также простотой обслуживания. Располагался источник излучения в помещении, находящемся на пятом этаже башни экспериментального корпуса ИОА СО РАН. Там же находились цифровой осциллограф 2 и телевизионный монитор 3.

Излучение лазера без коллимации выводилось в атмосферу с помощью поворотного зеркала Z_1 . Второе поворотное зеркало Z_2 находилось на открытой террасе башни и служило для направления излучения в выбранную точку небосвода. Приемная система 4 состояла из объектива МТО-1000 с диаметром объектива ~ 100 мм, пары фильтров ЗС-7 и ЗС-8, частично подавлявших фоновое излучение, и фотодетектора ФЭУ-84. Угол зрения приемной системы составлял ~ 1°. Применение фильтров давало возможность проводить измерения в начальной стадии сумеречного фона.

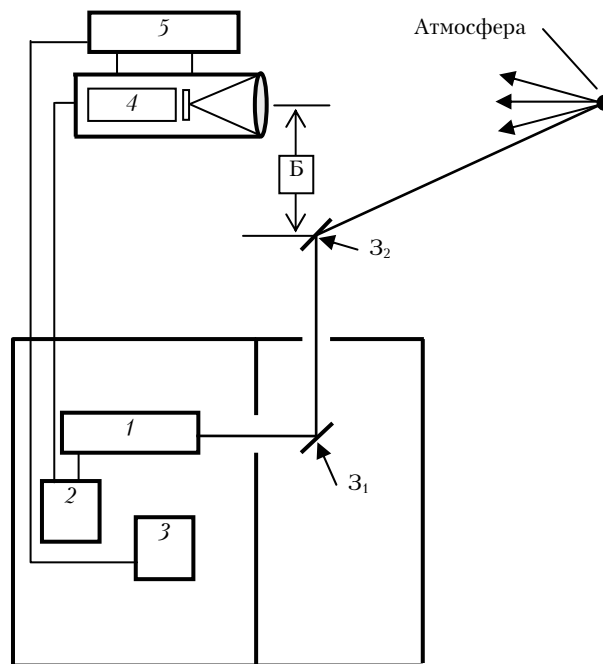


Рис. 2. Упрощенная схема эксперимента: 1 — лазер; 2 — осциллограф; 3 — монитор; 4 — приемник; 5 — телекамера; Z_1 и Z_2 — поворотные зеркала; Б — расстояние между источником и приемником

Непосредственно на корпусе приемной системы располагалась телевизионная камера 5, служившая для визуального контроля атмосферной ситуации и настройки. Приемная система вместе с телевизионной камерой устанавливались на дистанционно управляемом поворотном устройстве, также расположенном на открытой террасе. Угол входа лазерного излучения в атмосферу (расходимость пучка ~ 0,26°) относительно горизонтальной плоскости референции составлял ~ 15°. Приемная система настраивалась таким образом, чтобы в ее поле зрения попадал рассеянный в атмосфере лазерный пучок вблизи той его части, где из точки визирования визуально яркость пучка не воспринималась. Выбранная геометрическая схема фиксировалась, контролировалась и поддерживалась в процессе проведения работ. Отраженный сигнал, зарегистрированный фотодетектором, поступал непосредственно на один из каналов цифрового осциллографа DS-1150 с полосой 150 МГц. На второй канал осциллографа подавался опорный сигнал от лазера. В экспериментах лазер работал на частоте 16 кГц с полушириной импульса (ширина импульса на уровне половины максимальной амплитуды) ~ 20 нс.

Контроль относительной мощности излучения лазера показал, что для данного типа лазера с увеличением времени прогрева мощность излучения сначала медленно растет, затем медленно падает и выходит на относительно стабильный уровень. Это вызывало необходимость тщательного прогрева аппаратуры перед измерениями.

Ввиду того что осциллограф не был связан с компьютером, использовались ресурсы, заложенные в самом осциллографе. Устройство осциллографа давало

возможность получать осредненные за время T значения сигналов и записывать обработанные значения в его память. При одном цикле измерений можно было записать 10 осредненных значений сигнала (т.е. 10 осциллограмм). В среднем на один цикл записи уходило 15 мин времени. В дальнейшем полученные осциллограммы вводились в компьютер с экрана осциллографа посредством телевизионной камеры через адаптер типа AverMedia EZCapture. Примеры осциллограмм с осреднением и без него приведены на рис. 3, а, б.

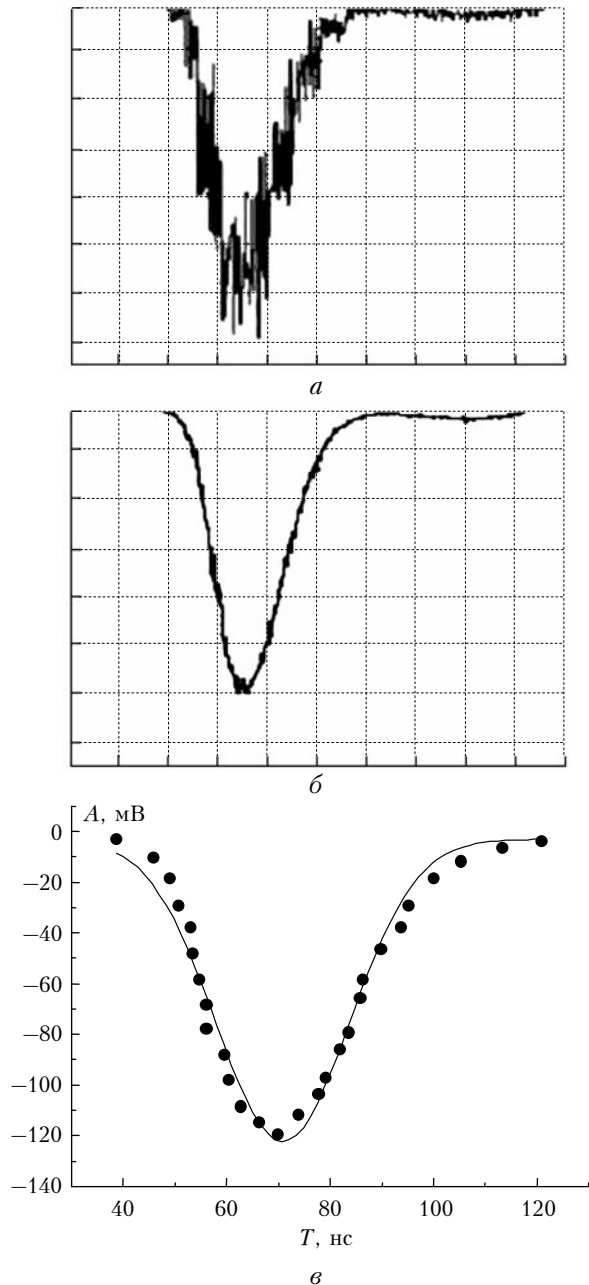


Рис. 3. Осциллограммы импульсов без применения (а) и с применением (б) осредняющей процедуры (цена делений на осциллограммах: по осям ординат – 20 мВ, по осям абсцисс – 20 нс); в – пример аппроксимирующей кривой, найденной по осциллограмме, подобной осциллограмме на рис. 3, б

Далее записанные сигналы подвергались обработке специальной программой, позволявшей определять средние амплитуды импульсов, их полуширины, фронты и срезы [22]. Измеренные параметры импульсов анализировались в зависимости от метеорологических параметров атмосферы. Источниками этих данных являлись две постоянно действующие станции: 1) аэрозольная станция лаборатории оптики аэрозолей, которая находится на третьем этаже главного корпуса ИОА СО РАН на расстоянии около 130 м от места проведения экспериментов; 2) TOR-станция лаборатории климатологии атмосферного состава, удаленная примерно на 500 м. Использование данных измерений в пространственно разнесенных точках позволяло более объективно проводить оценку метеосостояния атмосферы.

Эксперименты разделялись на две серии: по атмосферным условиям и по локальным целям работы. Первая серия характеризуется повышенным вниманием к зависимостям параметров отраженного сигнала от метеоусловий атмосферы, которые в основном определяют оптическую погоду [23]. В этой же серии экспериментов приемная аппаратура имела несколько завышенное время релаксации, что ухудшало форму выходного сигнала.

Известно, что фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) является идеальным источником тока. Его эквивалентную схему можно найти в работе [24]. Согласно этой схеме постоянная времени ФЭУ определяется его внутренним сопротивлением и емкостью, а также нагрузочным сопротивлением и емкостью на выходе. Комбинируя конечные элементы схемы, при ее фиксированных внутренних параметрах можно получить различные формы импульсов. В первой серии экспериментов в силу технических причин применявшийся набор элементов схемы заведомо привел к увеличению средней полуширины регистрируемого сигнала и занижению его амплитуды. Поскольку анализировалась зависимость амплитуды сигнала от метеоусловий, этот фактор не оказывал заметного влияния на поставленную локальную цель.

Результаты и обсуждение

Состояние атмосферы за время проведения первой серии экспериментов характеризуется устойчивой морозной погодой с малыми скоростями ветра ($1 < V_v < 3$ м/с) и достаточно низкими температурами окружающего воздуха ($-15 \dots -30$ °С) с потеплением в несколько дней ($-2 \dots -8$ °С). Относительная влажность в процессе работ по первой серии составляла 60–80%. По визуальным оценкам в большинстве этих дней в атмосфере присутствовала слабая зимняя дымка и в некоторые дни – ледяные кристаллы.

При ссылке на метеопараметры использовались средние данные по температуре и относительной влажности двух упоминавшихся выше станций. Оценку некоторых микрофизических и оптических характеристик атмосферного аэрозоля можно было получить только по данным локальных измерений аэрозольной станции. В частности, в период эксперимента

концентрация N аэрозольных частиц изменялась в диапазоне $12 < N < 55 \text{ см}^{-3}$ в течение практически всех дней первой серии и только в одном случае имелся всплеск концентрации до уровня 150 см^{-3} .

Результаты первой серии (амплитуды отраженных сигналов в зависимости от температуры окружающего воздуха в разные дни) представлены на рис. 4.

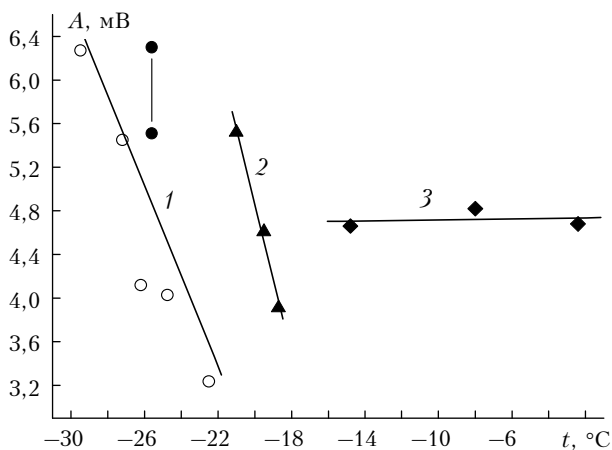


Рис. 4. Зависимость амплитуды отраженного импульса от температуры окружающего воздуха в различные дни (первая серия экспериментов, февраль 2010 г.): 1 — светлые кружочки (температура $-20 \dots -30 \text{ }^\circ\text{C}$, концентрация частиц $40\text{--}50 \text{ см}^{-3}$); жирные точки — изменение концентрации частиц от $40\text{--}50$ до 150 см^{-3} ; 2 — треугольники (температура $-18 \dots -21 \text{ }^\circ\text{C}$, концентрация частиц $12\text{--}20 \text{ см}^{-3}$); 3 — квадраты (температура $-2 \dots -14 \text{ }^\circ\text{C}$, концентрация частиц $15\text{--}30 \text{ см}^{-3}$)

В этой серии использовались 5 экспериментов из измерительного цикла с применением осредняющей процедуры осциллографа. Для получения одной точки на графике пять значений амплитуд в свою очередь осреднялись.

Использование температуры в качестве аргумента вызвано ее влиянием на создание большинства атмосферных ситуаций оптической погоды. Критерием, по которому оценивают и отличают присутствие в атмосфере дымки или ледяного тумана (т.е. наличие в воздухе мельчайших ледяных кристаллов), является температура в сочетании с относительной и абсолютной влажностями воздуха. В работе [25] отмечается, что условия для образования ледяных туманов в приземном слое атмосферы чаще всего возникают при температуре воздуха $t \leq -12 \text{ }^\circ\text{C}$. Анализ, проведенный в работе [26], показал, что образование ледяного тумана в атмосфере для Сибирского региона, как правило, возможно при температуре воздуха $t < -15 \text{ }^\circ\text{C}$ и относительной влажности $80\text{--}100\%$. В остальных случаях будут реализовываться ситуации оптической погоды, определяемые дымками или плотными дымками.

Из рис. 4 видно, что амплитуда импульса растет с понижением температуры воздуха (светлые кружочки). Согласно вышеприведенным данным, одной из причин этого может являться повышение концентрации ледяных рассеивателей в регистрируемом

объеме. Регистрируемый объем формировался пересечением конуса визирования приемной системы с пучком рассеянного света, создаваемого лазерным лучом в атмосфере, по схеме, приведенной на рис. 1. Суммарное повышение концентрации рассеивателей (ледяных кристаллов и основ твердых частиц) в регистрируемом объеме с понижением температуры приводило к повышению амплитуды импульсов.

К сожалению, имеющиеся зимние данные о концентрации частиц относятся только к сухой основе вещества аэрозольных частиц и только частично отражают реальную ситуацию в атмосфере. Концентрация аэрозольных частиц в процессе эксперимента по дням для температур $-20 \dots -30 \text{ }^\circ\text{C}$ менялась слабо, находясь на уровне $40\text{--}50 \text{ см}^{-3}$. Тем не менее влияние сухой основы аэрозольных частиц можно проследить по рис. 4 (жирные точки). При практически равных температурах воздуха концентрация частиц сухой фракции в верхней точке превышала концентрацию в нижней более чем в 3 раза. Повышение сухой основы аэрозольных частиц в совокупности с ледяными кристалликами в атмосфере приводило к повышению величины отраженного сигнала (в данном случае на 13%). Треугольники относятся к диапазону температур $-18 \dots -21 \text{ }^\circ\text{C}$. Для этого диапазона также заметен рост амплитуды отраженного импульса с понижением температуры, хотя концентрация аэрозольных частиц сухой фракции составляет $12\text{--}20 \text{ см}^{-3}$. Температурный диапазон $-2 \dots -14 \text{ }^\circ\text{C}$ (квадраты) при $15 < N < 30 \text{ см}^{-3}$ не приводит к каким-либо заметным изменениям в амплитуде отраженного импульса.

Рост сигнала с понижением температуры может быть связан увеличением числа рассеивателей в регистрируемом атмосферном объеме. Поскольку траектория луча проходила над окраинной городской территорией и в непосредственной близости зоны выбросов труб ГРЭС, то причинами роста сигнала могли служить совместно влияние ГРЭС и повышенные общегородские выбросы пара и твердых частиц, служившие ядрами конденсации. С понижением температуры интенсивность выбросов увеличивалась.

По данным TOR-станции преимущественное направление ветра составляло $160\text{--}270^\circ$, т.е. ветровой перенос со стороны городских застроек и ГРЭС осуществлялся в сторону рабочей зоны. Атмосферное перемешивание и перемещение этих слоев в месте расположения регистрируемого рассеивающего объема могли способствовать увеличению сигнала.

В дополнение к задачам первой серии цель второй серии заключалась в получении сведений о длительности и форме отраженных импульсов, которые близки к первоначальным лазерным импульсам, посылаемым в атмосферу. Измерения этой серии проводятся на весенне-зимний период (конец марта — начало апреля).

Атмосферная ситуация в период второй серии измерений отличалась сравнительно неустойчивым ее состоянием и более теплой погодой с температурными перепадами окружающего воздуха $+4 \dots -10 \text{ }^\circ\text{C}$, концентрацией аэрозольных частиц $7 < N < 35 \text{ см}^{-3}$ и скоростями ветра $1,5 < V_b < 4,5 \text{ м/с}$.

На рис. 5, *a* приведены результаты, полученные в период измерений второй серии. Эти данные найдены посредством усреднения 10 осредненных значений сигналов, записанных в память осциллографа.

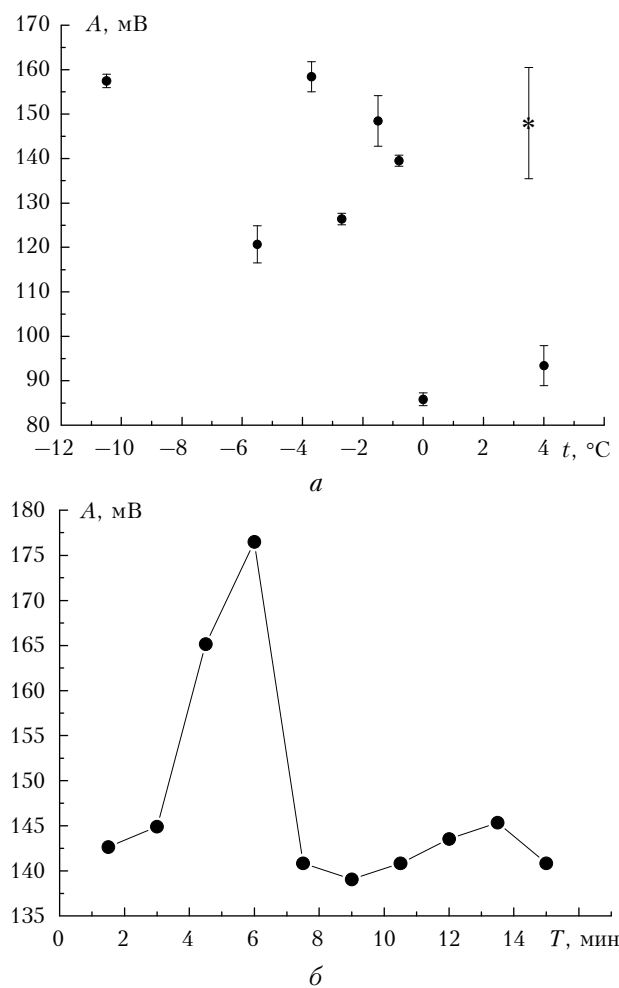


Рис. 5. Зависимость амплитуды импульсов от температуры ($+4 \div -10$ °C), вторая серия экспериментов, март–апрель 2010 г. (линиями обозначено среднеквадратическое отклонение измерений) (*a*); распределение амплитуд импульсов (*b*) по времени, наблюдавшееся в точке, помеченной звездочкой

Видно, что какие-либо определенные закономерности в зависимостях амплитуды от погодных условий выявить затруднительно. Однако в условиях разнообразия метеоусловий возникают атмосферные ситуации, которые не проявляются в устойчивой атмосфере. На рис. 5, *a* звездочка характеризует всплеск амплитуды сигнала в измерениях в один из вечеров апреля ($t \sim +4$ °C, $N \sim 35$ см⁻³, $V_v \sim 3$ м/с). Рис. 5, *b* отображает ход роста и спада принимаемого сигнала. Визуально было хорошо видно яркое свечение атмосферного объема в течение нескольких минут. Подчеркнем, что при визуальном наблюдении заметного замутнения атмосферы не отмечено. Свечение можно объяснить известным явлением, возникающим при вертикальном зондировании, — зеркальным отражением оптического излучения от

горизонтально ориентированных кристалликов льда [27–29]. В данном случае несферические частички создают кратковременное зеркальное отражение, возможно, своими боковыми гранями.

Проведенный анализ длительности и формы импульсов показал следующее. В данной серии измерений найденные полуширины импульсов менялись сравнительно мало и равнялись (30 ± 2) нс. Что касается формы импульсов, то проведенная аппроксимация осредненных осциллограмм (см. рис. 3, *в*) позволяет сделать вывод о гауссовом распределении последних. Например, аппроксимирующая кривая нормального распределения (см. рис. 3, *в*), найденная по осциллограмме (см. рис. 3, *б*), имеет следующие параметры кривой: среднее значение ~ 71 нс и среднеквадратическое отклонение ~ 13 нс. Анализ погрешностей аппроксимации импульсов показал, что импульсы могут быть аппроксимированы законом нормального распределения с максимальными погрешностями от 25% на периферийных участках до 9% на вершинах импульсов.

Заключение

Проведенные эксперименты позволяют сделать вывод, что в разнообразных погодных условиях в ночное время импульс излучения, отраженный зимней атмосферой, принимается достаточно уверенно. Влияние на амплитуду импульса может оказать температура окружающего воздуха. В данных условиях эксперимента амплитуда импульса растет практически линейно с понижением температуры от -20 до -30 °C при стабильной концентрации аэрозольных частиц (в нашем случае $40\text{--}50$ см⁻³). Повышение диапазона температур до -18 °C сохраняет эту тенденцию. При температурах выше этого значения каких-либо закономерностей выявить не удастся, но возможны кратковременные (несколько минут) повышения амплитуды отраженного сигнала.

Эксперименты показали, что, несмотря на неустойчивую погоду с различными температурами (плюсовую и минусовую), длительность импульсов меняется в пределах $\sim 1\%$. Форма импульсов подчиняется закону нормального распределения во всех рассмотренных нами случаях.

Авторы благодарят П.Г. Стафеева за помощь, оказанную при обработке экспериментальных результатов.

Работа выполнялась при поддержке Минобрнауки РФ, проект № 2.1.1/1333 АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы».

1. Украинцев Ю.Д., Цветов М.А. История связи и перспективы развития телекоммуникаций. Ульяновск: УлГТУ, 2009. 128 с.
2. Белов В.В., Борисов Б.Д., Серебрянников А.Б. Передаточные свойства оптических каналов связи над отражающей поверхностью // Оптика атмосф. и океана. 1999. Т. 12, № 8. С. 669–673.
3. Кеннеди Р.С. Введение в теорию передачи сообщений по оптическим каналам с рассеянием // Труды Института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике. 1970. Т. 58, № 10. С. 264–278.

4. *Пожидаев В.Н.* Выбор длины волны для систем загоризонтной связи в оптическом диапазоне // Радиотехн. и электрон. 1977. Т. 22, № 11. С. 2265–2271.
5. *Mooradian G.C., Geller M., Stotts L.B., Stephens D.H., Krautwald R.A.* Blue-green pulsed propagation through fog // Appl. Opt. 1979. V. 18, N 4. P. 429–441.
6. *Mooradian G.C., Geller M., Levine P.H., Stotts L.B., Stephens D.H.* Over-the-horizon optical propagation in a maritime environment // Appl. Opt. 1980. V. 19, N 1. P. 11–30.
7. *Mooradian G.C., Geller M.* Temporal and angular spreading of blue-green pulses in clouds // Appl. Opt. 1982. V. 21, N 9. P. 1572–1577.
8. *Милютин Е.Р.* Влияние среды распространения на полосу частот в загоризонтной оптической системе передачи информации // Радиотехн. и электрон. 2001. Т. 46, № 6. С. 673–675.
9. *Wu B., Hajjarian Z., Kavehrad M.* Free space optical communications through clouds: analysis of signal characteristics // Appl. Opt. 2008. V. 47, N 17. P. 3168–3176.
10. *Кузяков Б.А.* Анализ эффективности открытых систем связи ближнего и среднего ИК-диапазонов в гражданской авиации // Матер. VII Междунар. научно-техн. конф. INTERMATIC-2009. М., 2009. Ч. 4. С. 211–214.
11. *Hajjarian Z., Fadlullah J.* MIMO Free Space Optical Communications in Turbid and Turbulent Atmosphere // J. Commun. 2009. V. 4, N 8. P. 524–532.
12. *Георгиевский Ю.С., Дривинг А.Я., Золотавина Н.В., Розенберг Г.В., Фейгельсон Е.М., Хазанов В.С.* Проректорный луч в атмосфере. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 244 с.
13. *Розенберг Г.В.* Оптические исследования атмосферного аэрозоля // Успехи физ. наук. 1968. Т. 95, вып. 1. С. 159–208.
14. *Зуев В.Е.* Лазер-метеоролог. Л.: Гидрометеоиздат, 1974. 177 с.
15. *Исмару А.* Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. М.: Мир, 1981. Ч. 1. 280 с.
16. *Зуев В.Е., Наац И.Э.* Обратные задачи лазерного зондирования атмосферы. Новосибирск: Наука, 1982. 242 с.
17. *Barnes J.E., Bronner S., Beck R., Parikh N.C.* Boundary layer scattering measurements with a charge-coupled device camera lidar // Appl. Opt. 2003. V. 42, N 15. P. 2647–2652.
18. *Barnes J.E., Sharma P., Kaplan T.B.* Atmospheric aerosol profiling with a bistatic imaging lidar system // Appl. Opt. 2007. V. 46, N 15. P. 2923–2929.
19. *Лукин В.П.* Лазерные опорные звезды для астрономических телескопов наземного базирования // Оптика и спектроскопия. 2001. Т. 91, № 6. С. 1011–1020.
20. *Большасова Л.А., Лукин В.П.* Исследование эффективности применения лазерных опорных звезд // Оптика атмосфер. и океана. 2009. Т. 22, № 8. С. 807–814.
21. *Губарев Ф.А., Федоров В.Ф., Евтушенко Г.С., Тругуб М.В.* Управление генерацией CuVr-лазера // Изв. Томского политехн. ун-та. 2009. Т. 315, № 4. С. 147–151.
22. *Грязнов М.И., Гуревич М.Л., Рябинин Ю.А.* Измерение параметров импульсов. М.: Радио и связь, 1991. 216 с.
23. *Зуев В.Е., Белан Б.Д., Задде Г.О.* Оптическая погода. Новосибирск: Наука, 1990. 192 с.
24. *Морозов В.А., Морозова Н.В.* Однокристалльная сцинтилляционная временная спектрометрия // Физ. элементар. частиц и атом. ядра. 2001. Т. 32, вып. 2. С. 376–430.
25. *Филиппов В.Л., Иванов В.П., Колобов Н.В.* Динамика оптической погоды. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1986. 158 с.
26. *Ужегов В.Н., Пхалагов Ю.А., Шелканов Н.Н.* Исследование аэрозольного ослабления оптического излучения в зимних условиях // Оптика атмосфер. и океана. 1994. Т. 7, № 8. С. 1067–1076.
27. *Галилейский В.П., Боровой А.Г., Матвиенко Г.Г., Морозов А.М.* Зеркально отраженная компонента при рассеянии света на ледяных кристаллах с преимущественной ориентацией // Оптика атмосфер. и океана. 2008. Т. 21, № 9. С. 773–778.
28. *Галилейский В.П., Кауль Б.В., Матвиенко Г.Г., Морозов А.М.* Угловая структура интенсивности света вблизи углов зеркального отражения от граней кристаллических частиц льда // Оптика атмосфер. и океана. 2009. Т. 22, № 7. С. 643–649.
29. *Маричев В.Н., Галилейский В.П., Кузьменков Д.О., Морозов А.М.* Экспериментальные наблюдения зеркального отражения лазерного излучения от ориентированных кристаллических частиц, сосредоточенных в слое атмосферы // Оптика атмосфер. и океана. 2009. Т. 22, № 12. С. 1145–1147.

B.D. Borisov, V.V. Belov. Influence of weather conditions on the parameters of short laser pulses reflected from the atmosphere.

The present work is devoted to experimental studies of transformation of short laser pulses after their interaction with the atmosphere in winter-spring season. The pulses were generated by a copper bromide vapor laser. Optical signals reflected from a fixed scattering volume were registered by and received directly on a digital oscilloscope capable of their averaging. In this work, data on the correlation of pulse amplitudes with the atmospheric state and pulse shape and duration are presented.