

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.375.826:551.577: 351.510.61

А.Г. Боровой, А.Ф. Жуков, Н.А. Вострецов

**НАСЫЩЕНИЕ ФЛУКТУАЦИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ  
ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В СНЕГОПАДАХ**

Экспериментально исследована зависимость уровня флуктуаций интенсивности лазерного излучения в снегопадах от длины трассы при близких атмосферных условиях в узком расходящемся пучке. Установлено насыщение уровня флуктуаций и подтверждена определяющая роль ближнего к приемнику участка трассы.

Как следует из общефизических представлений, обширных экспериментальных данных [1] и теоретических оценок [2–4], дисперсия флуктуаций интенсивности лазерных пучков, распространяющихся в турбулентной атмосфере при выпадении осадков, является сложной функцией параметров осадков, турбулентности и геометрических характеристик пучка.

Если зафиксировать параметры пучка и исключить в измерениях влияние турбулентности, то экспериментально измеренная дисперсия становится функцией следующих параметров:

$$\sigma_s^2 = F(L, D, C), \quad (1)$$

где  $L$  – длина трассы;  $D$  – максимальный размер частиц снегопада;  $C$  – концентрация частиц. Заметим, что в эксперименте обычно измеряется не концентрация частиц, а оптическая толща  $\tau$  на фиксированной трассе:

$$\tau = C \sigma L, \quad (2)$$

где  $\sigma$  – сечение экстинкции на одной частице. К настоящему времени экспериментально достаточно подробно исследована зависимость в узком расходящемся пучке в снегопадах [5]

$$\sigma_s^2 = F(\tau) \quad (3)$$

при известных значениях  $L$  и  $D$ .

В данном сообщении приведены результаты исследования зависимости

$$\sigma_s = F(L) \quad (4)$$

при фиксированных значениях  $D$  и  $C$  по совокупности полученных экспериментальных данных [1, 5].

Из экспериментально измеренного значения дисперсии флуктуаций интенсивности  $\sigma_s^2$  турбулентный вклад  $\sigma_t^2$  исключался в соответствии с приближенным соотношением

$$\sigma_s^2 = \sigma_t^2 + \sigma_c^2, \quad (5)$$

где  $\sigma_c^2$  – снеговой вклад.

Для исследования зависимости  $\sigma_c^2 = F(L)$  был проведен анализ снегового вклада на трассах длиной  $L = 130, 390, 650, 910, 964$  и  $1928$  м при близких значениях концентрации частиц в снегопадах. В качестве эквивалента концентрации частиц в единице объема была принята оптическая толща осадков  $\tau_0 = C \sigma L$  на трассе  $130$  м. Она рассчитывалась по прозрачности атмосферы, измеренной на трассе  $(2 \times 100)$  м измерителем дальности видимости РДВ-3. При фиксированных значениях  $D$  из всех данных для трассы  $130$  м выбирались такие  $\tau_0$ , для которых

можно было бы найти соответствующие ближайšie значения  $\tau$  на вышеуказанных трассах. Несмотря на большой объем данных (более 3000 пар значений  $\sigma_3$  и  $\tau$ ), их число, отобранное по этой схеме, было небольшим. Для расширения объема данных в анализ были включены также значения  $\sigma_3$  при  $\tau \pm 0,1$  на всех трассах.

На рис. 1 и 2 показаны  $\sigma_3$  и  $\sigma_c$  при трех значениях  $\tau_0$  и двух значениях  $D$ . Разделение снегового и турбулентного вкладов было проведено только на трассе  $L = 650$  м (дневные измерения), так как только в этом случае спектр имел ярко выраженный турбулентный максимум. В остальных случаях вклад турбулентности был незначительным, и мы полагаем  $\sigma_3 = \sigma_c$ . И только на трассе 1928 м спектр в области низких частот был значительным, но без максимума, так что турбулентность вносил в этом случае ощутимый вклад, который не удастся оценить по этой методике. Кроме того отметим, что трасса 1928 м особо отличается от других, поскольку размер отражателя (40×40) см был меньше диаметра пучка (1 м).

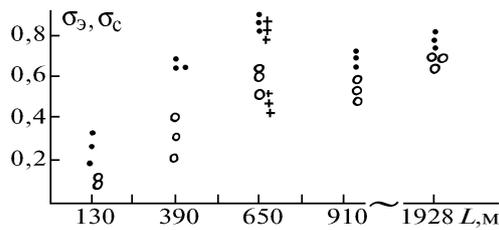


Рис. 1. Зависимости  $\sigma_3$  и  $\sigma_c$  от длины трассы  $L$ . При  $D = 3-5$  мм  $\sigma_3$  – точки при  $\tau_0 = 0,08$ ;  $\sigma_3$  – кружки при  $\tau_0 = 0,24$ ;  $\sigma_c$  – плюсы при  $\tau_0 = 0,08$  и  $0,24$

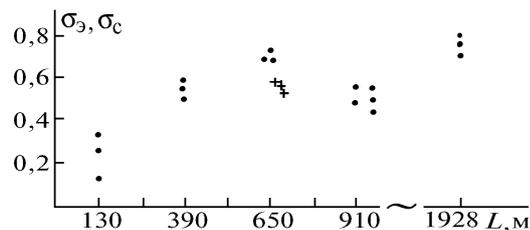


Рис. 2. Зависимости  $\sigma_3$  и  $\sigma_c$  от длины трассы  $L$ . При  $D = 1-3$  мм и  $\tau_0 = 0,16$  точки –  $\sigma_3$  и плюсы –  $\sigma_c$

Как следует из рисунков, прежде всего насыщаются флуктуации интенсивности с ростом длины трассы. Отметим, что этот факт получен при близких значениях концентрации частиц в снегопадах. Существенно важно, что уровень насыщения и длина трассы, на которых происходит насыщение, зависят от максимального размера частиц. А именно, при  $D = 3-5$  мм режим насыщенных флуктуаций начинается при  $L = 650$  м, а при  $D = 1-3$  мм – уже при  $L = 390$  м.

Эти факты находятся в качественном соответствии с предложенной ранее моделью [2]. Согласно этой модели, флуктуации интенсивности в снегопадах формируются в основном слое частиц, прилегающим к приемнику излучения, толщина этого слоя зависит от размера частиц:

$$l = \text{const } S, \tag{6}$$

где  $S$  – площадь проекции одной частицы. Режим насыщенных флуктуаций наступает при условии  $L > l$ , при этом уровень насыщения определяется формулой [6]

$$\sigma_l = \sqrt{(\exp(\tau_l / 2)) - 1}, \tag{7}$$

где  $\tau_l$  – оптическая толщина прилегающего слоя.

Приведенные экспериментальные данные не позволяют проверить формулу (6), так как площадь проекции частиц в снегопадах специально не измерялась. Однако значения длины прилегающего слоя  $l \approx 650$  м при  $D = 3-5$  мм и  $l \approx 390$  м при  $D = 1-3$  мм в снегопадах находятся в качественном соответствии с полученной ранее оценкой  $l = 200$  м для дождя, в котором средний диаметр капель близок к 1 мм [2].

Вместе с тем формула (7) оказалась в хорошем количественном соответствии с экспериментальными данными. А именно, на рис. 1 уровень насыщения  $\sigma_l$  примерно равен 0,5 при  $\tau_0 = 0,08$  ( $\tau_{650} = 0,4$ ), а расчет по (7) дает 0,47. Соответственно для  $\tau_0 = 0,24$  ( $\tau_{650} = 1,2$ ) экспериментальное значение равно  $\sigma_c = 0,75$ , а расчетное 0,9. На рис. 2 экспериментальное значение равно примерно 0,5, а расчетное 0,52.

Таким образом, все изложенные факты наряду с [2] подтверждают определяющую роль прилегающего к приемнику слоя во флуктуациях интенсивности лазерного излучения в осадках.

1. Жуков А.Ф. Флуктуации интенсивности лазерного пучка при распространении в атмосферных осадках. Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Томск: ТГУ, 1992. 16 с.
2. Borovoi A.G., Patrushev G.Ya., Petrov A.I. // *Appl. Optics*. 1988. V. 27. № 17. P. 3704–3714.
3. Лукин И.П. Флуктуации световой волны в рассеивающей среде Гауссов пучок. Томск, 1978, 33 с. Деп. ВИНТИ N 2551–78.
4. Крутиков В.А. Проблемы оптики атмосферы. Новосибирск: Наука, 1983, С. 141–150.
5. Жуков А.Ф. // *Оптика атмосферы и океана*, 1993. Т. 6. №1. С. 33–36.
6. Боровой А.Г., Жуков А.Ф., Цвык Р.Ш. // Тез. докл. 12 Всесоюз. конф. по распространению радиоволн. Томск: ИОА СО АН СССР, 1978. Ч. 2. С. 105–107.

Институт оптики атмосферы  
СО РАН, Томск

Поступила в редакцию  
2 июля 1993 г.

A.G. Borovoi, A.F. Zhukov, N.A. Vostretsov. **Saturation of Intensity Fluctuations of Laser Radiation in Snowfalls.**

This paper deals with the experimental study of intensity fluctuations of a narrow laser beam in snowfalls depending on the propagation path length. The measurement at paths of different lengths have been carried out under similar atmospheric conditions. In this study saturation of the fluctuations level is revealed and the dominating role of the path portion near a receiver in this process is confirmed.