

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Н.А. Вострецов, А.Ф. Жуков, Н.П. Кривопапов, Р.Ш. Цвык

**АВТОКОРРЕЛЯЦИОННАЯ ФУНКЦИЯ ФЛУКТУАЦИЙ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ В СНЕГОПАДЕ**

Исследуется автокорреляционная функция флуктуаций излучения узкого расходящегося лазерного пучка ( $\lambda = 0,6328$ ), распространяющегося в снегопадах на шести трассах длиной от 130 до 1928 м. Установлено, что время корреляции увеличивается с ростом диаметра приемника и максимальных размеров частиц.

1. Одной из характерных особенностей флуктуаций лазерного излучения, распространяющегося в атмосферных осадках, является существенное расширение частотного спектра флуктуаций в области высоких частот по сравнению с незамутненной атмосферой при прочих близких атмосферных характеристиках [1, 2]. Этот факт успешно использовался для обнаружения и идентификации вида осадков [3, 4].

Так как спектр и автокорреляционная функция сигнала (АКФ) взаимосвязаны, то присутствие осадков на трассе распространения лазерного пучка должно проявиться также и в АКФ. До сих пор имеется сравнительно мало информации о влиянии снегопада на АКФ лазерного излучения. Немногочисленные эксперименты в снегопадах дают время корреляции высокочастотных флуктуаций заметно меньше, чем в чистой атмосфере (без осадков) [5–7], но данных недостаточно для предсказания его значения в различных метеоусловиях.

В данной статье проводится анализ АКФ узкого расходящегося лазерного пучка в снегопадах. Работа написана на основе измерений, выполненных в снегопадах, как и в [8], где исследуется уровень флуктуаций.

2. Измерения проведены на трассах 130, 260, 390, 650, 964 и 1928 м. На трассах 260, 390 и 650 лазерный пучок отражался от плоских зеркал (детали можно найти в [1, 2]), установленных на расстоянии 130 м, а на трассе 1928 – от зеркала, установленного на расстоянии 964 м. Источник – He–Ne-лазер ЛГ-38 ( $\lambda = 0,6328$  мкм, квазимонохроматический режим, угол расходимости  $5 \cdot 10^{-4}$  рад.). Приемник – фотоэлектронный умножитель (ФЭУ-38). Измерения проводились одновременно на двух трассах при одинаковых размерах приемника  $D_{пр} = 0,1$  мм или в одном пучке на трассе 964 м при существенно различных диаметрах приемника  $D_{пр} = 160$  и  $0,1$  мм. При этом в качестве большого приемника использовался объектив диаметром 160 мм, фокусное расстояние которого равно 1,6 м. Угол поля зрения большого приемника был равен  $0,1$  рад, малого –  $5 \cdot 10^{-4}$  рад. Рядом с объективом, на расстоянии 7 см от края, устанавливался другой ФЭУ с блендой, перед фотокатодом которого размещалась диафрагма диаметром  $0,1$  мм. Для улучшения отношения сигнал-шум при  $\tau = 4 \dots 7$  вместо диафрагмы  $0,1$  мм устанавливалась диафрагма диаметром 1,6 мм.

Атмосферные условия будем описывать оптической толщей ( $\tau$ ), скоростью ветра ( $V$ ), перпендикулярной скоростью ветра ( $V_{\perp}$ ) и максимальным размером частиц снегопада ( $D_m$ ). Оптическая толщина измерялась с помощью измерителя дальности видимости РДВ-3 на трассе  $2 \times 100$  м. Максимальный размер частиц снегопада оценивался визуально после их улавливания на мягкую подложку.

Автокорреляционная функция измерялась с помощью двухканального коррелятора АБ-4. Интервал времени осреднения в эксперименте не превышал 5 с. Временная дискретизация сигнала проводилась через 10 или 100 мкс. Иногда использовался дополнительный множитель 3,33. Всего было проанализировано 125 АКФ в 15 снегопадах.

3. На рис. 1 приведены некоторые АКФ, анализ которых показывает, что при близких значениях  $V_{\perp}$  время корреляции на уровне  $t_k = 0,37$  (т.е.  $1/e$ ) уменьшается с ростом размеров частиц. Это хорошо прослеживается на рис. 1, б для трассы 964 м и на рис. 1, а – для трассы 260 м (кривые 1, 2). Отмеченная особенность имеет место на всех остальных трассах.

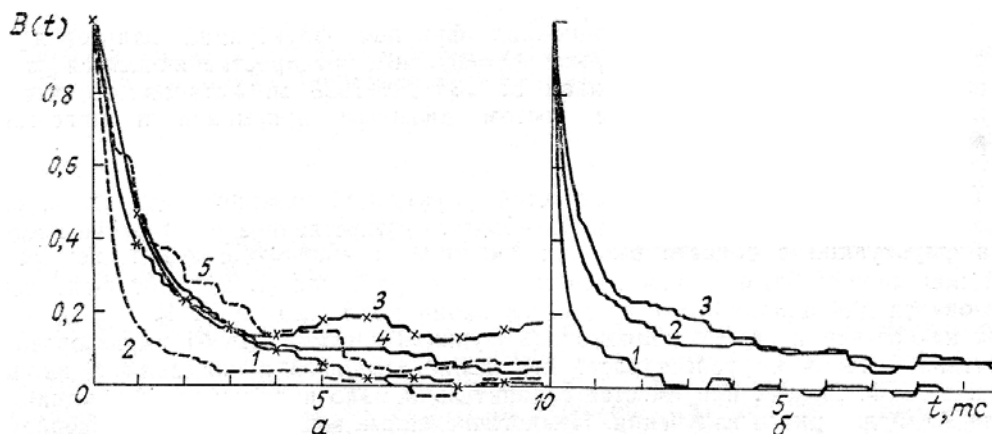
С увеличением диаметра приемника время корреляции  $t_k$  увеличивается (рис. 1, а, кривые 3, 4, 5). Следует отметить, что при диаметре приемника 160 мм время корреляции на уровне 0,37 почти в десять раз больше, чем при диаметре  $D_{пр} = 0,1$  мм.

В силу того, что частота высокочастотного максимума в спектре флуктуаций пропорциональна отношению перпендикулярной скорости движения к размеру частицы ( $D_m$ ) [8, 9], время корреляции должно зависеть от этих величин, т.е.  $t_k = A D_m / V_{\perp}$ .

Результаты расчета средних значений  $A$  для трассы 964 м приведены в таблице. Усреднение АКФ проводилось при близких значениях  $D_m$  и  $V_{\perp}$ . Количество АКФ, используемых при осреднении

( $N$ ), дано в правом крайнем столбике таблицы. Из анализа были исключены случаи, когда направление ветра к трассе было меньше  $10^\circ$ . Приведены значения времени корреляции на уровне 0,5 и 0,37.

Из таблицы (и всего анализа) следует, что значения коэффициента пропорциональности  $A$  меняется в широких пределах от 0,04 до 0,73 (при приемнике, равном 0,1 мм), причем имеется тенденция к уменьшению  $A$  с ростом размеров частиц. Большой разброс значений  $A$ , по-видимому вызван неточностью измерения максимальных размеров частиц. Особенно это касается крупных частиц в виде хлопьев, имеющих исключительно сложную внутреннюю структуру и внешний контур, которые, очевидно, должны проявиться в деталях теневой картины в плоскости приема от частиц, находящихся в ближней зоне.



1. Временная АКФ:

а) кривая 1 — 21.03.90,  $L = 260$  м,  $\tau = 0,85$ ,  $V = 6...7$  м/с,  $V_{\perp} = 0,7$  м/с,  $D_m = 3...5$  мм,  $D_{пр} = 0,1$  мм; кривая 2 — 21.03.90,  $L = 260$  м,  $\tau = 0,9$ ,  $V = 6...7$  м/с,  $V_{\perp} = 0,7$  м/с,  $D_m = 1$  мм,  $D_{пр} = 0,1$  мм; кривая 3 — 21.03.90,  $L = 964$  м,  $\tau = 3,1$ ,  $V = 6...7$  м/с,  $V_{\perp} = 1,1$  м/с,  $D_m = 1...3$  мм,  $D_{пр} = 160$  мм; кривая 4 — 21.03.90,  $L = 954$  м,  $\tau = 3,1$ ,  $V = 6...7$  м/с,  $V_{\perp} = 1,1$  м/с,  $D_m = 1...3$  мм,  $D_{пр} = 0,1$  мм; кривая 5 — 5.12.89,  $L = 964$  м,  $\tau = 6,7$ ,  $V = 7...8$  м/с,  $V_{\perp} = 2,3$  м/с,  $D_m = 1...3$  мм,  $D_{пр} = 0,1$  мм;

б) кривая 1 — 28.02.90,  $L = 964$  м,  $\tau = 2,1$ ,  $V = 4$  м/с,  $V_{\perp} = 0,7$  м/с,  $D_m \leq 20$  мм,  $D_{пр} = 0,1$  мм; кривая 2 — 28.02.90,  $L = 964$  м,  $\tau = 2,8$ ,  $V = 4$  м/с,  $V_{\perp} = 0,7$  м/с;  $D_m \leq 7$  мм,  $D_{пр} = 0,1$  мм; кривая 3 — 28.02.90,  $L = 964$  м,  $\tau = 0,5$ ,  $V = 6$  м/с,  $V_{\perp} = 3,6$  м/с,  $D_m \leq 2$  мм,  $D_{пр} = 0,1$  мм

Следует отметить, что при  $D_m \approx 1$  мм и  $D_{пр} = 0,1$  мм и близких значениях  $D_m/V_{\perp} \approx 0,3$  увеличение оптической толщи с 1,2 до 3,8 не вызывает уменьшения времени корреляции, которое предсказывается в теоретических исследованиях (например, [91]).

Вид АКФ весьма изменчив. По виду нормированные АКФ можно условно разделить на следующие три типа: степенной ( $B = \alpha_0 t^{-\alpha}$ ) — 30%, линейный ( $B = 1 - Ct$ ) — 50% и прочие — 20%.

Дата	$D_m$ , мм	$\tau$	$V_{\perp}$ , м/с	$t_{0,5}$ , мкс	$t_{0,37}$ , мкс	$A$	$D_{пр}$ , мм	$C$ , 1/мкс	$\alpha_0$	$\alpha$	$N$
14.11.89	1	2,5	3,4	132	178	0,62	0,1	$4,5 \cdot 10^{-4}$	—	—	8
14.11.89	2	2,5	2,7	205	263	0,39	1,6	—	—	—	4
5.12.89	2	6,2	2,3	115	192	0,22	1,6	—	0,27	1,95	2
28.02.90	20	2,1	1,9	420	970	0,15	0,1	$9 \cdot 10^{-4}$	—	—	1
19.12.89	5—7	2,3	1,8	80	140	0,4	0,1	—	—	—	1
21.03.90	3—5	3,4	2,0	141	207	0,1	0,1	$3,65 \cdot 10^{-3}$	0,42	2,95	4
21.03.90	1—3	3,1	2,0	840	1305	1,82	160	$5,95 \cdot 10^{-4}$	0,62	29,2	2

**Выводы.** Экспериментальные исследования АКФ в снегопадах показывают, что в зависимости от условий эксперимента время корреляции ( $t_k$ ) может варьироваться в широких пределах, причем оно увеличивается с ростом размеров частиц и диаметра приемника (при прочих равных условиях). В целом же в АКФ прослеживаются логично ожидаемые особенности, которые следуют из спектра флуктуаций.

1. Вострецов Н. А., Жуков А. Ф., Кабанов М. В. и др. // Изв. АН СССР. ФАО. 1984. Т. 20. № 7. С. 581—588.  
 2. Вострецов Н. А., Жуков А. Ф., Кабанов М. В., Цвык Р. Ш. Статистические характеристики флуктуаций интенсивности лазерного пучка в снегопаде. — Препринт. — Томск. 1982. 50 с. (Ин-т оптики атмосферы СО АН СССР. № 13).

3. Ting-i Wang, Clifford R.S. //J. Opt. Soc. Amer. 1975. V. 65. № 8. P. 927–937.
4. А. с. 705884 МКИ<sup>2</sup> G01W1/14. Способ определения наличия и вида атмосферных осадков/Галахов В.Н., Гурвич А.С., Ефремов А.В., и др.
5. Екото К. и др. Флуктуации лазерного луча (с длиной волны 6328 Å) при распространении в атмосфере). Перевод ВЦП Е-41871 (Дэнси цусин гаккай рамбунси). 1969. Т. 52-В. № 7. 390–397).
6. Галахов В.П., Ефремов А.В., Жуков А.Ф. и др. Статистические характеристики флуктуаций интенсивности лазерного излучения при распространении в осадках. — Препринт. — Томск. 1976, 52 с. (Ин-т оптики атмосферы СО АН СССР, № 17).
7. Горячев Б.В., Могильницкий С.Б. //Распространение оптических волн в случайно-неоднородной среде. Новосибирск: Наука, 1979. С. 83–88.
8. Zhukov A.F., Kabanov M.V., Tsvyk R.Sh. //Appl. Optics. 1988. V. 27. № 3. P. 578–583.
9. Borovoy A.G., Patrushev G.Ya., Petrov A.J. //Appl. Optics. 1988. V. 27. №17. P. 3704–3714.

Институт оптики атмосферы  
СО АН СССР, Томск

Поступило в редакцию  
28 июня 1991 г.

N.A. Vostretsov, A.F. Zhukov, N.P. Krivopalov, R.Sh. Tsvyk. **Autocorrelation Function of the Laser Beam Fluctuations in Snowfalls.**

Autocorrelation function of fluctuations of a narrow diverging laser beam ( $\lambda = 0,6328$  nm) propagating through snowfalls has been studied at six propagation paths with the lengths from 130 to 1928 m. It was found from these studies that the correlation time increases with the increase of the receiver diameter and size of particles.