

**А.Ф. Жуков, Н.А.Вострецов**

## **ВЛИЯНИЕ ДИАМЕТРА ПРИЕМНИКА НА ФЛУКТУАЦИИ СВЕТОВОГО ПОТОКА ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ УЗКОГО РАСХОДЯЩЕГОСЯ ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА В СНЕГОПАДЕ. 1. УРОВЕНЬ ФЛУКТУАЦИЙ**

Представлен анализ результатов измерений уровня флуктуаций лазерного излучения узкого расходящегося пучка в атмосфере во время снегопада. Измерения выполнены на десяти трассах длиной от 37 м до 2 км в 122 снегопадах при диаметрах приемника 0,1; 0,8; 3,1 и 25 мм.

Установлено, что уровень флуктуаций потока лазерного излучения зависит от оптической толщи диаметра приемника и максимального размера частиц. Флуктуации потока с ростом оптической толщи вначале растут, а затем насыщаются на некотором уровне, зависящем от диаметра приемника и максимального размера частиц. В мелкодисперсном снегопаде, когда максимальный размер частиц снега не превышал 3 мм, насыщение уровня флуктуаций наступает при меньших значениях оптической толщи с ростом диаметра приемника. Флуктуации потока уменьшаются с ростом диаметра приемника и уменьшением максимального размера частиц.

### **1. Введение**

Флуктуации принимаемого излучения узкого расходящегося лазерного пучка (УРП) при распространении в снегопадах исследовались в [1–5]. Для проведения экспериментов использовался приемник с диаметром  $D_{\text{пр}} = 0,1$  или 0,3 мм, который был меньше максимальных размеров частиц снегопада. В [1–5] для УРП были выяснены основные качественные особенности, установлены некоторые количественные соотношения для характеристик флуктуаций и определены параметры, которые наиболее существенно влияют на флуктуации, а именно: оптическая толщина ( $\tau$ ) [1–5], концентрация частиц [4–5], максимальный размер частиц снегопада ( $D_m$ ) [1–5] и скорость ветра ( $V, V_{\perp}$ ) [3].

Определенную роль во флуктуациях играет «остаточная» турбулентность атмосферы [6, 7], действие которой четко проявляется во временном спектре флуктуаций на низких частотах при малых значениях оптической толщи.

Из общих физических представлений, экспериментальных данных [8] и теоретических оценок [9,10] следует ожидать, что увеличение диаметра приемника вызовет сглаживание или, как обычно говорят, усредняющее влияние на флуктуации оптического сигнала. Вследствие практической важности этого эффекта ему уделялось значительное внимание. К настоящему времени он хорошо исследован в случае распространения лазерного излучения в турбулентной атмосфере без осадков. Библиографию по этому вопросу можно найти в недавних работах [11, 12] и других. Из них ясно, что усредняющее влияние объектива определяется преимущественно видом пространственной корреляционной функции флуктуаций интенсивности ( $B_p$ ), которая сложным образом зависит от характеристик турбулентности атмосферы и дифракционных параметров пучка.

Физическая суть эффекта усреднения давно известна [13]. Если размер объектива существенно больше радиуса корреляции флуктуаций интенсивности, то в его пределах будут находиться участки волнового фронта с противоположными знаками флуктуаций, поэтому световой поток, прошедший через объектив, будет флуктуировать относительно слабее, чем при размере объектива меньше радиуса корреляции.

В снегопадах пространственная корреляция флуктуаций интенсивности не исследована, но естественно ожидать других особенностей эффекта усреднения, поскольку природа флуктуаций в осадках иная, чем в турбулентной атмосфере [3, 5] без осадков.

В данной статье приводятся результаты анализа измерений уровня флуктуаций светового потока при различных диаметрах приемника в случае, когда в снегопадах распространяется узкий расходящийся лазерный пучок, однако разделение турбулентного и гидрометеорологического вкладов в измеренные флуктуации не проводится.

## 2. Краткое описание эксперимента

Лазерный пучок распространялся в снегопаде на трассе длиной  $L$ . Излучение принималось фотоэлектронным умножителем, перед которым устанавливались диафрагмы с разными диаметрами ( $D_{пр}$ ). Электрический сигнал с фотоприемника усиливался и поступал на анализатор импульсов, анализатор спектра, коррелятор и измеритель уровня флуктуаций сигнала.

Одновременно с характеристиками светового потока измерялись оптическая толщина ( $\tau$ ), максимальный размер частиц снегопада ( $D_m$ ) и скорость ветра ( $V$  и  $V_{\perp}$ ).

В качестве источника использовались He-Ne-лазеры типа ЛГ-38, ЛГ-38 А, ЛГН-215 ( $\lambda = 0,6328$  мкм), полный угол расходимости равнялся  $5 \cdot 10^{-5}$  рад, начальный размер узкого расходящегося лазерного пучка (УРП) соответствовал уровню  $1/e$  (3–4 мм). Угол поля зрения приемника составлял  $5 \cdot 10^{-2}$  рад. Длина трассы варьировалась от 37 до 1928 м. На трассах, длина которых кратна 130, измерения проводились с отражением от плоских зеркал, установленных на расстоянии 130 м.

В наших экспериментах применялась одноканальная система измерений, хотя ясно, что более подходящей для этих целей была бы двухканальная и тем более многоканальная система. Анализировались два набора данных. Один представлял собой результаты измерения в разных снегопадах (разные  $\tau$ ,  $D_m$  и  $V$ ), при различных диаметрах приемника ( $D_{пр} = 0,1; 0,8; 3,1; 25$  мм), другой – результаты измерений при близких метеоусловиях по  $\tau$ ,  $D_m$  и  $V$  (в одном снегопаде), но при разных значениях  $D_{пр}$ .

Число проанализированных измерений и некоторые важные их детали будут приведены ниже.

## 3. Результаты измерений

Еще раз отметим, что в данной работе не проводилось разделение турбулентного и гидрометеорологического вкладов в измеренные флуктуации. Уровень флуктуаций ( $\sigma$ ) рассчитывался по нормированной дисперсии сигнала  $\sigma^2$ . Она определялась как

$$\sigma^2 = \langle (I \langle I \rangle)^2 \rangle / \langle I \rangle^2,$$

угловые скобки означают временное усреднение, где  $\langle (I \langle I \rangle)^2 \rangle$  и  $\langle I \rangle$  измерялись в дисперсиомере в полосе частот от 0,01 Гц до 20 кГц. Принцип работы дисперсиомера описан в статье [14]. Относительная ошибка измерения  $\sigma^2$  не превышала 10%. В этих данных время усреднения равнялось 20 с. Оно было выбрано по лучшему совпадению между дисперсиями в двух каналах дисперсиомера для одного и того же сигнала.

Мы проанализировали многочисленные измерения уровня флуктуаций. Общее число значений уровня флуктуаций близко к  $1,5 \cdot 10^4$ .

В последней графе табл. 1 указано число снегопадов, во время которых проводились измерения в УРП на трассах длиной  $L$  при различных диаметрах приемника. Всего было проведено 122 серии измерений.

Таблица 1

$D_{пр}$ , мм	$L$ , м										$\Sigma$ измерений
	37	130	260	390	520	650	780	910	964	1928	
0,1	2	4	15	3	4	3	–	1	21	4	57
0,8	–	–	12	–	9	–	2	–	–	–	23
3,1	–	–	9	–	13	–	1	–	–	–	23
25	–	–	5	–	12	–	1	–	–	–	19

Таблица 2

$D_{пр}$ , мм	$L$ , м										$\Sigma$ измерений
	37	130	260	390	520	650	780	910	964	1928	
0,1	200	717	1794	160	202	230	295	160	2904	315	6977
0,8	–	–	1760	–	1347	–	212	–	–	–	3319
3,1	–	–	1147	–	1629	–	170	–	–	–	2946
25	–	–	71	–	1507	–	93	–	–	–	1671

В табл. 2 приведено число измеренных значений уровня флуктуаций. Больше всего измерений проведено при  $D_{\text{пр}} = 0,1$  мм. Уточним, что в это число также входят несколько измерений при  $D_{\text{пр}} = 0,3$  мм. Мы не стали менять диаметр приемника (меньше 0,1 мм), так как с ростом  $\tau$  неизбежно возникает проблема обеспечения достаточного отношения сигнала к шуму (среднего сигнала к сигналу системы при закрытом источнике), которое в обсуждаемых измерениях было не менее 15 (даже на трассе 1928 м).

Мы считаем, что флуктуации интенсивности можно измерять при  $D_{\text{пр}} = 0,1$  и 0,3 мм. Это, фактически, означает, что такие приемники не усредняют флуктуации. Хотя последнее предположение нами экспериментально строго не доказано, но оно, по нашему мнению, весьма близко к реальной ситуации. Уровень флуктуаций интенсивности обозначим как  $\sigma_I$ , а при  $D_{\text{пр}} > 0,3$  мм – как  $\sigma_p$  с указанием (при необходимости в скобках) диаметра приемника [например,  $\sigma_p(25)$ , где 25 – это диаметр приемника в миллиметрах, индекс  $p$  обозначает поток].

Ранее в [2] на основе анализа большого числа измерений было установлено, что  $\sigma_I$  зависит от оптической толщи ( $\tau$ ) и максимального размера частиц. Причем в УРП при выпадении снега уровень флуктуаций  $\sigma_I$  с увеличением оптической толщи ( $\tau$ ) вначале растет, а затем стремится к величине ( $\sigma_n$ ), зависящей от максимального размера частиц ( $D_m$ ).

При  $\tau = 0,6 \div 4,0$  уровень флуктуаций описывается зависимостью

$$\sigma_I = \sigma_n [1 - \exp(-2\sigma_n \tau)],$$

где  $\sigma_n = 0,9$  при  $D_m = 3 \div 5$  мм и  $\sigma_n = 0,75$  при  $D_m = 1 \div 3$  мм. При  $\tau < 0,6$  по данным четырех измерений на трассе длиной 130 м [16] для дисперсии флуктуаций интенсивности получена линейная зависимость

$$\sigma_I^2 = A + N\tau.$$

Приведем значения коэффициентов:  $A = 0,03$ ,  $N = 0,67$ ;  $A = 0$ ,  $N = 0,55$ ;  $A = 0,03$ ,  $N = 0,58$  при  $D_m = 5$  мм. Когда же  $D_m = 3$  мм  $A = 0,02$ ,  $N = 0,27$ . На трассе [1] 650 м в одном из снегопадов с хлопьями  $D_m = 7$  мм  $A = 0$ ,  $N = 1$  до  $\tau < 2$ . Откуда ясно, что в первом приближении коэффициентом  $A$ , по нашим данным, можно пренебречь (при  $\tau > 0,05$ ), тогда  $\sigma = C_0 \sqrt{\tau}$ . Коэффициент пропорциональности  $C_0$  зависит от  $D_m$ . В хлопьях он близок к единице и уменьшается с уменьшением  $D_m$ . В отсутствие хлопьев при  $D_m = 3 \div 5$  мм  $\sigma = \bar{C}_0 \sqrt{\tau} = 0,52 \sqrt{\tau}$ , где  $\bar{C}_0$  – среднее значение  $N$ .

В данной статье впервые приведены не усредненные данные для  $\sigma_I$  на каждой из десяти трасс (рис. 1, 2, 3). На этих рисунках представлены не все результаты, так как часть из них весьма близка или совпадает с теми, которые изображены на рисунках.

На рис. 1, а приняты обозначения для каждой из трасс. На рис. 2, а к ним еще добавлены обозначения для сплошных хлопьев. Из рисунков видно, что количество измерений заметно уменьшается с ростом оптической толщи. Их больше при  $\tau < 2$  и сравнительно меньше при  $\tau > 3,5$ . Данные для  $\sigma_I$  при  $\tau > 3,5 \div 7$  приведены в [2], где  $\sigma_I$  уменьшается с ростом  $\tau$ . Данные в отсутствие сплошных хлопьев были разделены в зависимости от  $D_m$ : при  $D_m = 1 \div 3$  мм и  $D_m > 3$  мм (сюда входят случаи выпадения редких хлопьев). Из рисунков следует, что значения  $\sigma_I$  имеют большой разброс при близких значениях  $\tau$  даже в ограниченном диапазоне значений  $D_m$ . Уровень флуктуаций может (рис. 1, а) отличаться в 4 раза, что существенно превышает возможные ошибки измерений.

По нашему мнению, существенный разброс  $\sigma_I$  в пределах выбранных диапазонов по  $D_m$  вызван естественными вариациями в распределении частиц по размерам и во внутренней структуре частиц, которые мы не могли объективно установить путем только одной визуальной оценки  $D_m$  [15, 16]. Более того, возможны не контролируемые во времени ошибки в измерении  $\tau$ , так как в осадках существенно варьирует вклад рассеянного излучения в пределах угла поля зрения приемника измерителя дальности видимости. Наконец, при весьма малых  $\tau$  сказывается сравнимое с осадками замутнение атмосферы дымкой и слабым туманом, а также «остаточная» турбулентность атмосферы, уровень которой увеличивается с уменьшением  $\tau$ . Дымка и туман приводят к смещению зависимости  $\sigma = f(\tau)$  по горизонтали, а «остаточная» турбулентность – по вертикали.

Из соответствующего сравнения рис. 1, 2 и при одинаковых  $\tau$  следует, что в диапазоне  $0,2 < \tau < 3$  значения  $\sigma_I$  при  $D_m > 3$  мм в среднем больше, чем при  $D_m = 1 \div 3$  мм. При  $\tau > 3$  такая

тенденция столь явно не обнаруживается. Еще раз подчеркнем, что данных для  $\tau > 3$  относительно немного и это, возможно, определило иное поведение  $\sigma_I$  в зависимости от  $D_m$ . Из рис. 2, *a*, *b* видно, что в сплошных хлопьях  $\sigma_I$  при  $\tau > 0,2$  почти всегда больше, чем в их отсутствие. На рис. 1, 2, как и в [1–5], хорошо проявляются режим слабых и сильных флуктуаций. В первом режиме флуктуации явно растут с увеличением  $\tau$ , а во втором – мало изменяются (при близких  $D_m$ ).

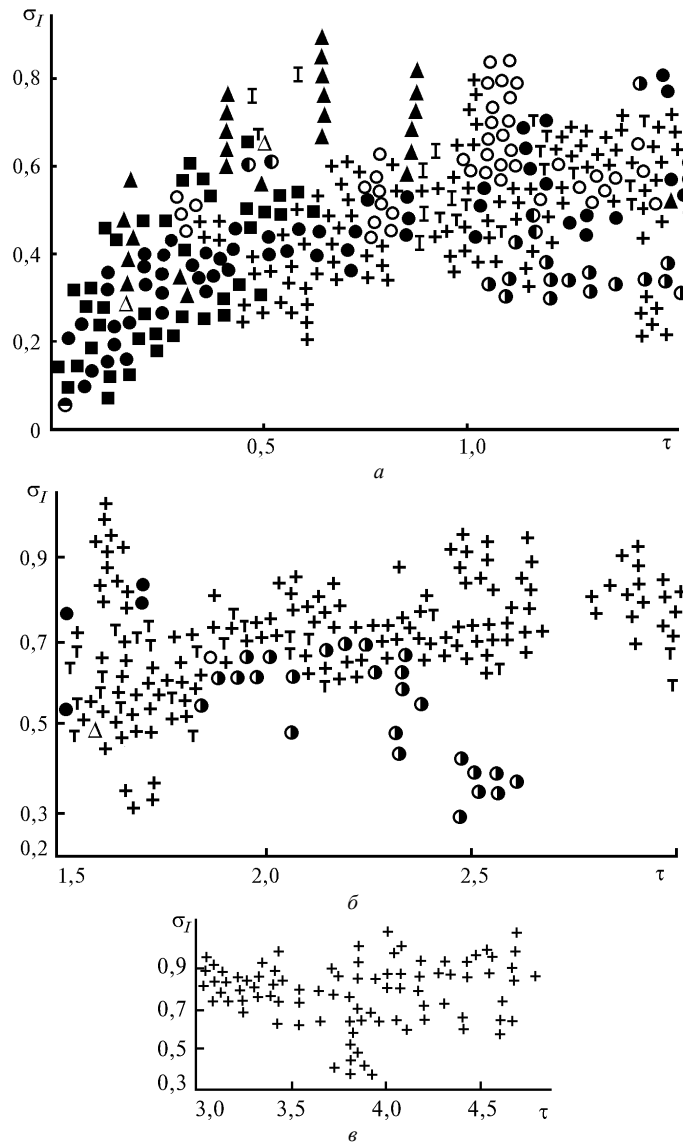


Рис. 1. Зависимость уровня флуктуаций ( $\sigma_I$ ) лазерного излучения от различных оптических толщ ( $\tau$ ) при диаметре приемника  $D_{пр}=0,1$  мм и максимальном размере частиц  $D_m=1 \div 3$  мм. Длина трассы  $L=37$  м –; 130 м – ●; 260 м – ■; 390 м – ▲; 520 м – T; 650 м – ○; 780 м – –; 910 м – –; 964 м – +; 1928 м – I

Если внимательно рассмотреть рис. 1, *a*, то видно, что при близких значениях  $\tau$  одинаковые  $\sigma_I$  измерены на существенно разных по длине трассах. Например, при  $\tau = 0,6 \div 0,8$  получены близкие данные для  $\sigma_I$  на трассах, существенно разных по длине, а именно 1928, 964, 650, 390, 260 и 130 м. Можно найти и другие области близких значений  $\sigma_I$  при разных  $L$  на этом и других рисунках. Так что «чистое» влияние длины трассы на  $\sigma_I$  не обнаруживается в неусредненных данных так же, как и в усредненных по отдельным трассам [1]. Влияние  $L$  на  $\sigma_I$  хорошо видно при близких значениях концентрации частиц снегопада и  $D_m$  [4, 5]. В хлопьях, по нашим данным, наибольшее значение  $\sigma_I$  – это 1,4, см. рис. 2, *a*, *b* ( $\sigma^2 \approx 2$ ).

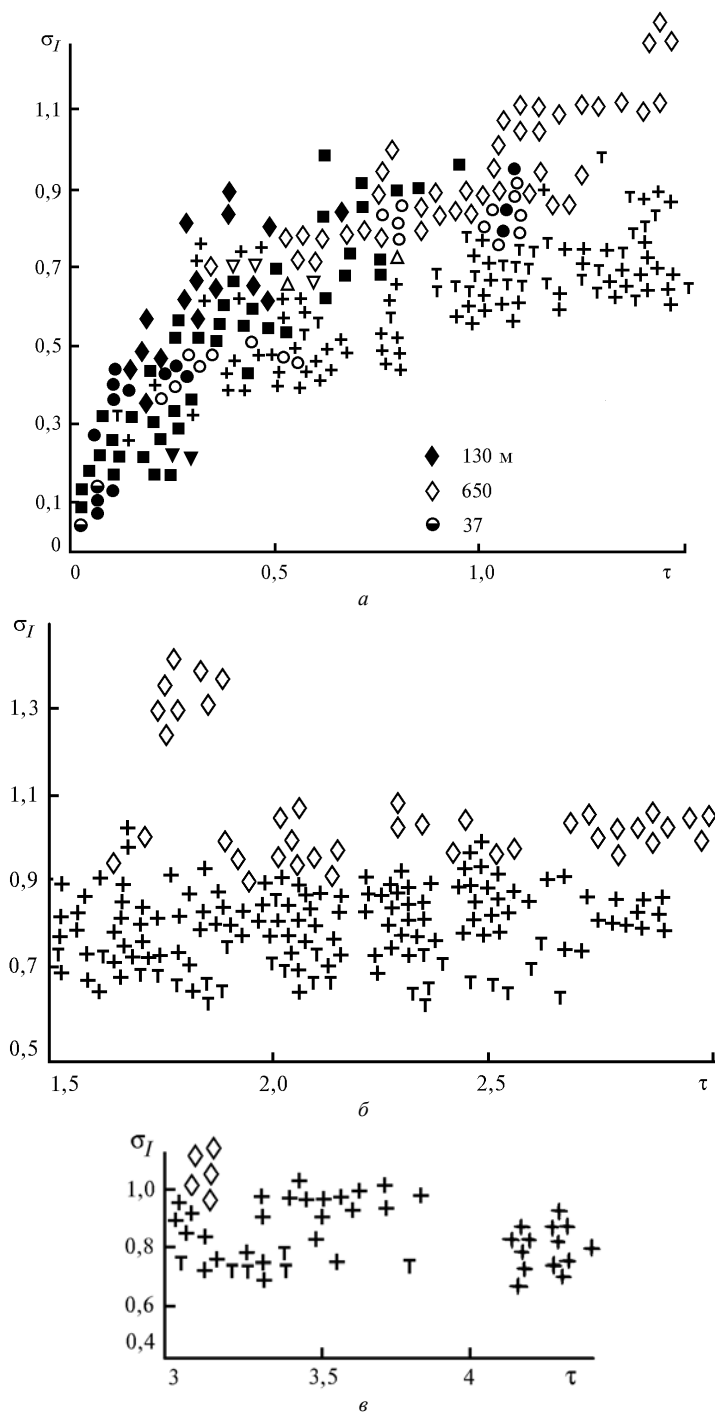


Рис. 2. Зависимость уровня флуктуаций интенсивности ( $\sigma_I$ ), принимаемого излучения от различных оптических толщ ( $\tau$ ) при  $D_{\text{пр}} > 3$  мм в отсутствие сплошных хлопьев. Обозначения те же, что и на рис. 1. Сплошные хлопья на трассе: 130 м –  $\blacklozenge$ , 650 м –  $\diamond$ , 37 м –  $\bullet$

На рис. 3 приведены средние значения  $\sigma_I$ , которые были рассчитаны с шагом 0,1 по  $\tau$ . Здесь кружками обозначены  $\sigma_I$  по всем данным без сплошных хлопьев, точками –  $D_m = 1 \div 3$  мм, крестиками –  $D_m > 3$  мм, квадратами – сплошные хлопья. На этом рисунке при  $\tau < 2,6$  по-прежнему хорошо прослеживается увеличение  $\sigma_I$  с ростом  $D_m$  и также нет явной зависимости  $\sigma_I$  от  $D_m$  при  $\tau$  больше 2,6, но вместе с тем очевидно, что  $\sigma_I$  в сплошных хлопьях больше, чем в их отсутствие. При усреднении по  $\tau$  для  $\tau > 2,6$ , когда число измеренных значений меньше или равно

четырем, эти значения не учитывались, так как их было явно недостаточно для усреднения, однако ранее в [2] мы их учитывали. На рис. 3 кривой 1 показана зависимость уровня флуктуаций от оптической толщины  $\bar{\sigma}_I = \sqrt{\tau}$ . Кривой 2 на рис. 3 показана зависимость

$$\bar{\sigma}_I = 0,83 [1 - \exp(-1,65 \tau)], \quad (1)$$

удовлетворительно описывающая экспериментальные результаты, рассчитанные по всем данным в отсутствие хлопьев (кружочки). Кривая 3 на рис. 3 соответствует  $\bar{\sigma}_I = 0,52 \sqrt{\tau}$ . Меньшие значения экспериментальных  $\bar{\sigma}_I$  по сравнению с расчетными по (1), когда  $1,05 < \tau < 1,95$  и  $3,6 < \tau < 4$ , можно объяснить относительно большим весом значений  $\sigma_I$  с малыми значениями  $D_m$ , что наблюдалось в наших данных. Примерно половина данных при таких  $\tau$  получена в снегопаде, когда  $D_m$  не превышал 1 мм. В отличие от прежних результатов на рис. 3 видно насыщение  $\bar{\sigma}_I$  при сплошных хлопьях. Оно происходит на уровне несколько больше единицы, что сравнимо (но меньше) с уровнем насыщения расходящегося пучка в турбулентной атмосфере с аэрозолем [17, 18].

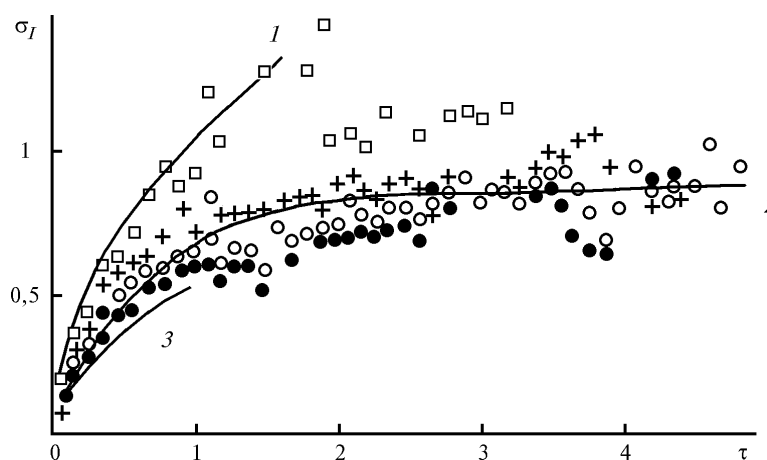


Рис. 3. Средние значения уровня флуктуаций интенсивности ( $\bar{\sigma}_I$ ) лазерного излучения при  $D_{пр} = 0,1$  мм (объяснение в тексте)

Следует иметь в виду, что природа флуктуаций интенсивности в осадках иная, чем турбулентной атмосферы с аэрозолем, где определяющую роль во флуктуациях для УРП играют структурная характеристика флуктуаций показателя преломления  $C_n^2$  и внутренний масштаб турбулентности ( $l_0$ ) [17, 18]. В снегопадах к ним естественно добавить оптическую толщину и максимальный размер частиц.

На рис. 4 приведены результаты измерения флуктуаций потока  $\sigma_p$ . Вертикальный масштаб на рис. 4, в два раза больше, чем на рис. 4, а, б. Характерно, что при  $D_{пр} = 0,8$  и 3,1 мм флуктуации насыщаются с ростом  $\tau$  и имеется разброс  $\sigma_p$  при близких  $\tau$  (рис. 4). По-прежнему для  $\sigma_p$  нет явной зависимости от  $L$ . При анализе рис. 4 обнаруживается общая тенденция уменьшения  $\sigma_p$  с ростом  $D_{пр}$ , которая наиболее очевидна из сравнения между собой рис. 4, а, в.

На рис. 5 приведены средние значения  $\bar{\sigma}_I$  и  $\bar{\sigma}_p$  для разных  $D_{пр}$  при  $D_m = 1 \div 3$  мм, а на рис. 6 показаны такие же данные для  $D_m > 5$  мм и в хлопьях. Из рис. 5, 6 хорошо видно, что  $\bar{\sigma}_{I,p}$  существенно зависит от диаметра приемника, максимального размера частиц и оптической толщины. Важно и то, что с увеличением  $\tau$  при  $D_m = 1 \div 3$  мм насыщение флуктуаций происходит при меньших значениях оптической толщины, когда увеличивается  $D_{пр}$ . Вместе с тем с более крупными частицами снегопада насыщение, по имеющимся данным, наступает при близких значениях оптической толщины. Важно и то, что уровень флуктуаций потока может даже уменьшаться с ростом оптической толщины (рис. 5, кривая 3 и рис. 6, кривая 4). Еще раз отметим, что уменьшение флуктуаций интенсивности ( $\sigma_I$ ) с ростом  $\tau$  было впервые установлено в одном из сильных снегопадов на трассе 964 м [2]. Значения  $\bar{\sigma}$  для разных  $D_m$ ,  $L$  и  $\tau$ , по которым были по-

строены рисунки, даны в полном объеме в таблицах и графиках в [19]. Частично данные о  $\sigma_p$  опубликованы в [20] и тезисах докладов на конференциях [21, 22].

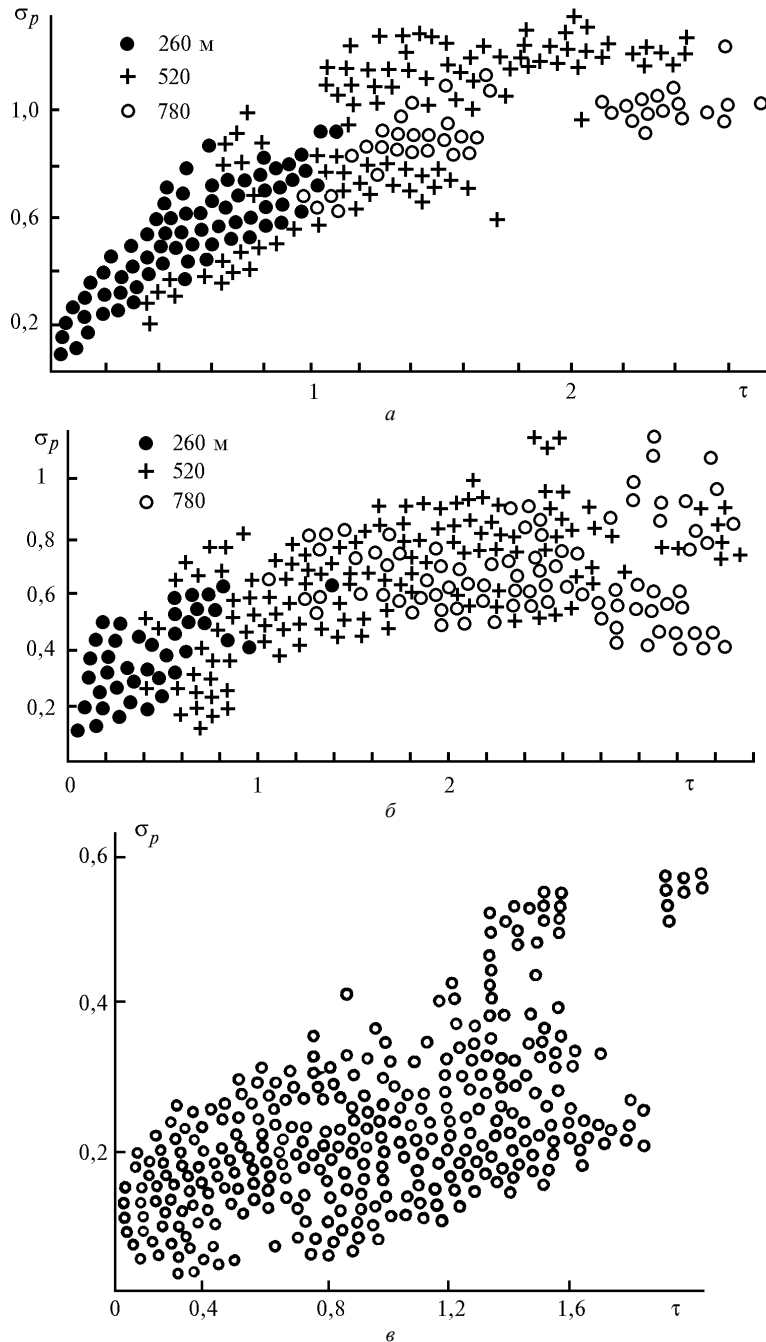


Рис. 4. Уровень флуктуаций потока ( $\sigma_p$ ) при диаметре приемника  $D_{пр} = 0,8$  мм (а) и 3,1 мм (б) на трассах длиной 260, 520 и 780 м;  $D_{пр} = 25$  мм (в) на трассе длиной 520 м

Далее обсудим результаты измерения уровня флуктуаций потока лазерного излучения с ростом диаметра приемника в отдельных снегопадах. Надо отметить, что для проведения таких экспериментов необходимо по меньшей мере около 30 мин. Но, к сожалению, в течение этого времени  $\tau$  и  $D_m$  редко остаются стабильными. Поэтому маловероятно спрогнозировать условия распространения пучка в будущем по имеющимся данным и провести большое количество измерений зависимостей  $\sigma_p = f(D_{пр})$ . Несмотря на многочисленные попытки, удалось провести всего 14 измерений.

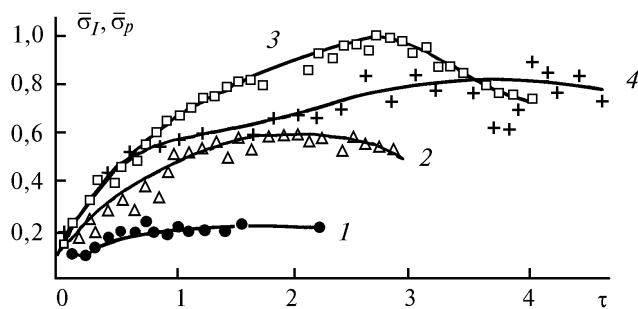


Рис. 5. Средний уровень ( $\bar{\sigma}_I, \bar{\sigma}_p$ ) флуктуаций принимаемого излучения в снегопаде в зависимости от оптической толщи при  $D_M = 1 \div 3$  мм и различных диаметрах приемника: 1 –  $D_{пр} = 25$  мм; 2 – 3,1; 3 – 0,8; 4 – 0,1 мм. Данные для кривой 4 взяты из рис. 3

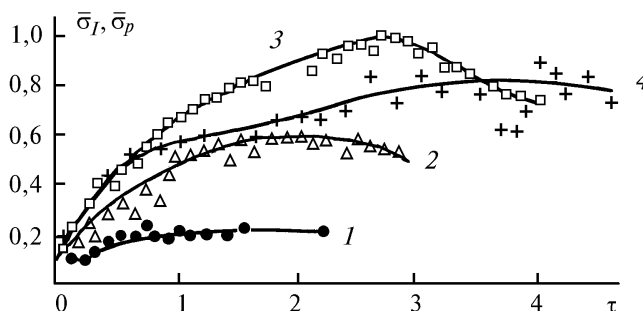


Рис. 6. Средний уровень ( $\bar{\sigma}_I, \bar{\sigma}_p$ ) флуктуаций принимаемого излучения в снегопаде в зависимости от оптической толщи при различных диаметрах приемника: 1, 2, 3 –  $D_{пр} = 25; 3,1; 0,8$  мм и  $D_M = 5 \div 10$  мм; 4 –  $D_{пр} = 0,1$  мм и  $D_M = 5 \div 30$  мм

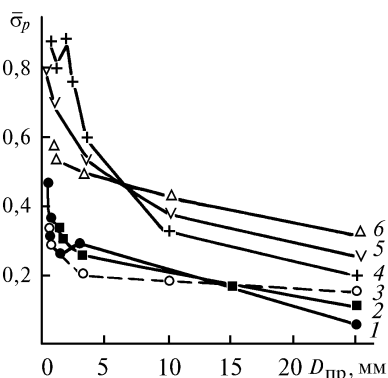


Рис. 7. Зависимость уровня флуктуаций  $\sigma_p$  от диаметра приемника:

кривая	1	2	3	4	5	6
$D_M, \text{мм}$	1	2–5	1–3	1–3	1–3	2–20
$L, \text{м}$	260	520	520	780	520	520
$\tau$	$0,36 \div 0,41$	$0,27 \div 0,29$	$0,85 \div 1,2$	$1,4 \div 2,6$	$0,75 \div 0,85$	$0,46 \div 0,57$

На рис. 7 представлены результаты шести измерений. Средние значения  $\sigma_p$  рассчитывались по десяти измерениям  $\sigma_p$ . Видно, что при малых  $D_M = 1 \div 3$  мм с ростом  $D_{пр}$  флуктуации явно уменьшаются (кривые 1, 3, 4, 5), но они заметно меньше ослабевают при больших частицах (кривые 2, 6). Уровень флуктуаций при близких  $D_M$  и равных  $D_{пр}$  увеличивается с уменьшением  $\tau$  (кривые 1, 3), т.е. измерения были проведены в условиях, близких к однократному рассеянию. Эти факты означают, что пространственный радиус корреляции интенсивности в УРП в условиях, близких к однократному рассеянию, увеличивается с ростом  $D_M$ , что не противоречит выводу о главной роли во флуктуациях теней от частиц в прилегающем к приемнику участке трассы [4, 5].



#### 4. Заключение

Обобщая сказанное, можно сделать несколько выводов.

1. Уровень флуктуаций принимаемого сигнала в снегопаде вначале растёт, а затем насыщается с ростом  $\tau$  на уровне, зависящем от диаметра приемника и максимального размера частиц.

2. Флуктуации уменьшаются с ростом диаметра приемника и уменьшением максимального размера частиц.

3. В мелкодисперсных снегопадах ( $D_m = 1 \div 3$  мм) с ростом диаметра приемника насыщение наступает при меньших значениях оптической толщины.

Таким образом, флуктуациям потока, как и флуктуациям интенсивности лазерного излучения УРП соответствуют две области – слабых и сильных флуктуаций. Причем в обоих случаях флуктуации увеличиваются с уменьшением диаметра приемника и ростом максимального размера частиц снегопада.

Авторы благодарят А. Г. Борового и Р. Ш. Цвыка за внимание к работе.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект N 96-02-16388).

1. Жуков А.Ф., Кабанов М.В., Цвык Р.Ш., Вострецов Н.А., Кривопапов Н.П. // Оптика атмосферы. 1991. Т. 4. N 4. С. 347–352.
2. Жуков А.Ф. // Оптика атмосферы и океана. 1993. Т. 6. N 1. С. 33–36.
3. Voronov A.G., Patrushev G.Ya. and Zhukov A.F. // Proc. SPIE. 1993. V. 1968. P. 282–292.
4. Боровой А.Г., Жуков А.Ф., Вострецов Н.А. // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. N 1. С. 109–111.
5. Voronov A.G., Zhukov A.F., Vostretsov N.A. // JOSA A. 1995. V. 12. N 5. P. 964–969.
6. Жуков А.Ф., Цвык Р.Ш. // Изв. АН СССР. Сер. ФАО. 1980. Т. 16. N 2. С. 164–171.
7. Вострецов Н.А., Жуков А.Ф., Кабанов М.В., Цвык Р.Ш. // Статистические характеристики флуктуаций интенсивности лазерного пучка в снегопаде. Томск, 1982. 50 с. (Препринт / Институт оптики атмосферы, N 13).
8. Жуков А.Ф., Цвык Р.Ш., Вострецов Н.А. // Оптика атмосферы. 1988. Т. 1. N 5. С. 114–115.
9. Лукин И.П. // Изв. вузов. Физика. 1980. N 8. С. 51–55.
10. Миронов В.Л., Тузова С.И. // Изв. вузов. Радиофизика. 1980. Т. 23. N 12. С. 1453–1463.
11. Патрушев Г.Я., Рубцова О.А. // Оптика атмосферы и океана. 1993. Т. 6. N 11. С. 1390–1395.
12. Churnside J.H. // Appl. Optics. 1991. V. 30. N 15. P. 1982–1994.
13. Татарский В.И. Распространение волн в турбулентной атмосфере. М.: Наука, 1967. 548 с.
14. Галахов В.Н., Цвык Р.Ш. // ПТЭ. 1980. N 3. С. 140–141.
15. Литвинов И.В. Структура атмосферных осадков. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 154 с.
16. Жуков А.Ф. // Флуктуации интенсивности лазерного пучка при распространении в атмосферных осадках: Дис. ... канд. ф.-м. наук. Томск: ИОА СО РАН, 1992. 224 с.
17. Stanley M. Flatte, Guang Yu Wang // JOSA A. 1993. V. 10. N 11. P. 2363–2370.
18. Consortini A., Corhetti F., Churnside S.H. // JOSA A. 1993. V. 10. N 11. P. 2354–2362.
19. Вострецов Н.А., Жуков А.Ф. Уровень флуктуации лазерного излучения при распространении узкого расходящегося пучка в снегопаде. М., 1995. 52 с. Деп. в ВИНТИ. 3270-В 95.
20. Вострецов Н.А., Жуков А.Ф. // Оптика атмосферы и океана. 1995. Т. 8. N 5. С. 1790–1798.
21. Вострецов Н.А., Жуков А.Ф. // 1-й Межреспубл. симп. «Оптика атмосферы и океана». (Тезисы докл.) Томск, 1994. Ч. 1. С. 94–95.
22. Вострецов Н.А., Жуков А.Ф. // 2-й Межреспубл. симп. «Оптика атмосферы и океана». (Тезисы докл.) Томск, 1995. Ч. 1. С. 131–132.

Институт оптики атмосферы СО РАН,  
г. Томск

Поступила в редакцию  
15 февраля 1996 г.

#### A.F. Zhukov, N.A. Vostretsov. Influence of Receiver Diameter on Light Flux Fluctuations under Narrow Broadening Lazer Beam Propagation in Snowfall. 1. The Fluctuation Level.

The measurements of the fluctuation level of a narrow broadening lazer beam in the snowfall were performed 122 times on ten atmospheric paths from 37 to 2000 m length at the receiver diameters of 0,1; 0,8; 3,1, and 25 mm.

The fluctuation level was shown to be a function of the receiver diameter, optical thickness, and particles maximum size. When the optical thickness grew, the flux fluctuation at first grew too to some saturation level depending of the receiver diameter and maximum size of particles. If the size of snow particles was no more than 3 mm, the fluctuation saturation occurred at lesser values of the optical thickness under the receiver diameter increasing. The flux fluctuation decreased under the receiver diameter increasing and the particles maximum size decreasing.