

Влияние диаметра приемника на распределение плотности вероятностей значений принимаемого излучения расходящегося лазерного пучка в приземной атмосфере в снегопадах

Н.А. Вострецов, А.Ф. Жуков*

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

Поступила в редакцию 25.05.2012 г.

Анализируются 200 распределений плотности вероятностей значений принимаемого излучения расходящегося лазерного пучка He–Ne-лазера ($\lambda = 0,63$ мкм), распространяющегося на трассах длиной 260 и 520 м при трех диаметрах приемника (0,1; 0,8 и 3,1 мм). Измерения проведены во время снегопадов. Установлено, что чаще всего измеренные распределения аппроксимируются гамма-распределением при всех диаметрах приемника. Увеличение диаметра приемника в 30 раз вызывает уменьшение флуктуаций и изменение симметрии при изменении оптической толщи на трассе.

Ключевые слова: лазерный пучок в атмосфере, диаметр приемника, вероятность, распределение, снегопад; laser beam in atmosphere, probability, distribution, diameter of the receiver, snowfall.

Введение

В настоящем сообщении анализируются результаты экспериментов, являющихся продолжением исследований, описанных в [1]. В ней подробно приведены схема, методика измерений и последовательность анализа полученных результатов. Для исследования флуктуаций принимаемого излучения расходящегося лазерного пучка использовался один диаметр приемника $D_{пр}$, равный 0,1 мм, на горизонтальных трассах с отражением длиной L , равной 260 (2×130) м, и без отражения длиной 964 м. В отличие от [1] здесь мы исследовали флуктуации, используя приемник с тремя диафрагмами диаметром $D_{пр} = 0,1; 0,8$ и 3,1 мм на горизонтальных трассах с отражением длиной 260 (2×130) и 520 (4×130) м. Для аппроксимации экспериментальных распределений плотности вероятностей (РПВ) значений принимаемого излучения расходящегося лазерного пучка в приземной атмосфере в снегопадах взяты логнормальное, нормальное, гамма-, бета- и Грамма–Шарлье распределения. Для того чтобы определить симметрию РПВ, по результатам измерений на анализаторе импульсов рассчитывался третий нормированный момент ($\mu_{3н}$).

Измерения распределения плотности вероятностей проведены при различных значениях максимального размера снежинок l_m , оптической толщи τ_L на трассе длиной L и скорости ветра V , м/с.

Значения максимального размера снежинок изменялись от 1 до 20 мм, оптической толщи от 0,1 до 1,1, скорости ветра от 1 до 7 м/с.

В результате анализа 200 распределений плотности вероятностей для всех диаметров приемника была обнаружена та же тенденция в изменении нормированной дисперсии флуктуаций принимаемого сигнала (σ^2), которая была выявлена нами ранее в [2]: дисперсия уменьшается с ростом $D_{пр}$ и увеличивается с ростом l_m .

Зависимость РПВ от $D_{пр}$ рассматривалась при близких условиях распространения, когда оптическая толщина на трассе изменялась на $\pm 15\%$, размер снежинок был не более 3 мм, скорость ветра изменялась на $\pm 0,5$ м/с, а турбулентный вклад во флуктуации был значительно меньше (в 10 раз и более), чем вклад снегопадов, что следовало из спектров флуктуаций принимаемого излучения.

Из расчетов $\mu_{3н}$ по всем РПВ, проведенных без учета вида распределения, следует изменение симметрии [4].

Было принято, что число РПВ при близких условиях должно быть не менее пяти. Это могло быть на трассе 260 м при изменении τ_L в двух интервалах: от 0,17 до 0,23 и от 0,25 до 0,35. Число РПВ, удовлетворяющих вышеперечисленным условиям на трассе длиной 260 м в первом интервале, при $D_{пр} = 0,1$ мм равно 7, при 0,8 мм – 7 и при 3,1 мм – 5. Во втором интервале при $D_{пр} = 0,1$ мм число РПВ равно 10, при 0,8 мм – 5 и при 3,1 мм – 5.

На трассе длиной 260 м симметрия РПВ определяется диаметром приемника и оптической тол-

* Николай Арсеньевич Вострецов; Анатолий Фомич Жуков (tsvyk@iao.ru).

шей. Весь диапазон изменения τ_L разделен на три части: в первой части только симметричные РПВ, во второй – симметричные и правосимметричные, в третьей – только правосимметричные. Нижние и верхние границы всех частей определяются оптической толщей. Нижняя граница третьей части на этой трассе при $D_{пр} = 0,1$ мм соответствует $\tau_L \approx 0,3$, при $0,8$ мм – $\tau_L \approx 0,4$ и при $3,1$ мм – $\tau_L \approx 0,5$, т.е. нижняя граница увеличивается с ростом $D_{пр}$. На этой же трассе верхняя граница первой части при $D_{пр} = 0,1$; $0,8$ и $3,1$ мм соответствует $\tau_L \approx 0,1$, т.е. граница остается постоянной с увеличением $D_{пр}$.

При всех диаметрах приемника на трассе длиной 260 м большинство (75%) РПВ описывается гамма-распределением. Это имеет место как для правосимметричных, так и для симметричных РПВ. Число правосимметричных РПВ было больше, чем симметричных. Известно из [3], что гамма-распределение при достаточно большом значении параметра формы η переходит в нормальное (симметричное), так что логична пригодность гамма-распределения для описания нормальных (симметричных) распределений. Нами показано, что для симметричности гамма-распределения достаточно, чтобы его параметр формы η был более девяти.

Отметим, что при всех диаметрах приемника: 1) логнормальное распределение не подходит для аппроксимации экспериментальных распределений;

2) изменение скорости ветра при ее вариациях от 1 до 7 м/с не влияет на РПВ.

На трассе длиной 520 м наблюдается та же тенденция в изменении РПВ, что и на трассе длиной 260 м.

Таким образом, установлено, что при всех диаметрах приемника экспериментальные РПВ чаще всего аппроксимируются гамма-распределением. С увеличением диаметра приемника происходят не только уменьшение флуктуаций, но и изменения в симметрии РПВ. Симметрия РПВ определяется диаметром приемника и оптической толщей.

1. *Вострецов Н.А., Жуков А.Ф.* Распределение вероятностей флуктуаций интенсивности расходящегося лазерного пучка в приземной атмосфере при снегопадах (0,63 мкм) // Оптика атмосф. и океана. 2011. Т. 24, № 8. С. 706–710.
2. *Вострецов Н.А., Жуков А.Ф.* Эмпирические соотношения для оценки дисперсии флуктуаций излучения расходящихся лазерных пучков в снегопадах // Оптика атмосф. и океана. 2005. Т. 18, № 3. С. 219–222.
3. *Хан Г., Шапиро С.* Статистические модели в инженерных задачах. М.: Мир, 1969. 395 с.
4. *Вострецов Н.А., Жуков А.Ф.* Распределение плотности вероятностей флуктуаций светового потока при распространении узкого расходящегося лазерного пучка в снегопаде // Изв. вузов. Физ. 2010. Т. 53, № 9/3. С. 110–111.

N.A. Vostretsov, A.F. Zhukov. Influence of the receiver diameter on the probability density distribution of the values of received radiation of the divergent laser beam in the surface air in the snowfalls.

200 probability density values of the received radiation of diverging laser beam from the He–Ne laser ($\lambda = 0,63 \mu\text{m}$), extending to a length of routes of 260 and 520 m at three receiver diameters (0,1, 0,8, and 3,1 mm) are analyzed. Measurements were carried out during the snowfall. It was found that the most commonly measured distributions are approximated by gamma-distribution for all diameters of the receiver. The increase of the receiver's diameter by 30 times causes the decrease of fluctuations and a change of symmetry when varying the optical thickness along the path.