

О ГИДРОМЕТЕОРНОМ ОСЛАБЛЕНИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ВОЛНАХ 10,6 и 0,63 мкм В ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ

В. П. БИСЯРИН, А. С. ВАРДАНЯН, Г. К. ТРЕТЬЯКОВ

Показано, что коэффициент ослабления на волне 0,63 мкм в горных условиях при наличии на трассе облаков и туманов, как правило, в 2—3 раза превышает коэффициент ослабления на волне 10,6 мкм, хотя имеется цикл измерений, где наблюдается почти одинаковое ослабление на обеих волнах. Различие в ослаблении обусловлено характеристиками микроструктуры облачности. Получена экспериментальная зависимость между коэффициентом ослабления на волне 10,6 мкм и метеорологической дальностью видимости.

В последнее время уделяется большое внимание изучению влияния чистой и замутненной атмосферы на передачу лазерного излучения. В горных условиях на трассе распространения могут присутствовать большие концентрации атмосферных гидрометеоров, например, туманы и облака, которые, согласно теоретическим оценкам, вызывают сильное ослабление сигнала [1]. Теоретические оценки ослабления обычно базируются на данных о микроструктуре гидрометеоров, полученных с помощью поточных ловушек, надежно регистрирующих лишь капли радиусом более 2 мкм. В то же время в литературе содержатся сведения о том, что в облаках существует очень большое количество капель с радиусом менее 2 мкм [2]. Поэтому расчетные величины ослабления могут заметно отличаться от измеряемых значений, особенно в инфракрасном диапазоне волн, где фактор эффективности ослабления сильно зависит от размера капли. Данные о микроструктуре облаков и туманов с учетом субмикронной фракции пока крайне малочисленны.

С этой точки зрения представляется важным для практических целей получение величин ослабления лазерных пучков непосредственно из экспериментов по передаче лазерного излучения в среде, содержащей гидрометеоры. При определенном выборе длин волн лазеров можно решить и обратную задачу: по ослаблению оценить такие характеристики гидрометеоров, как средний радиус и концентрацию капель.

В настоящей работе приводятся некоторые результаты экспериментального исследования ослабления лазерного излучения на волнах 0,63 и 10,6 мкм в горных условиях при наличии на трассе облачности.

Аппаратура и методика измерений

Измерения ослабления лазерного излучения на волнах 0,63 и 10,6 мкм проводились на трассах протяженностью 72 и 3200 м вблизи г. Гориса в Армянской ССР. Трасса 3200 м была наклонной с абсолютными высотами приемно-передающего пункта и призмического уголкового отражателя соответственно 1500 и 2000 м над уровнем моря. Короткая трасса была горизонтальной и располагалась на высоте 2000 м над уровнем моря. Схема эк-

сперимента была традиционной для такого рода измерений и мало отличалась от приведенной, например, в [3].

Измерение ослабления на трассе 3200 м проводилось только на волне 0,63 мкм. Источником излучения в этом случае служил лазер ЛГ-38, динамический диапазон измерительной аппаратуры составлял 90 дБ. На трассе 72 м одновременно проводились измерения ослабления на волнах 0,63 и 10,6 мкм (лазеры ОКГ-11 и ЛГ-23 соответственно). Динамический диапазон составлял 30 дБ для аппаратуры на волне 10,6 мкм и 50 дБ — на волне 0,63 мкм. Видимое излучение принималось на фотодиод типа ФД-7К, инфракрасное — на охлаждаемое фотосопротивление на основе германия, легированного золотом. Уровень выходной мощности лазеров непрерывно контролировался с помощью таких же приемников. Абсолютная погрешность в определении оптической толщи, вычисленная на основе измерений пропускания калиброванных ослабителей, составляла 0,067 для волны 0,63 мкм и 0,12 для волны 10,6 мкм. Одновременно с измерением ослабления регистрировались метеопараметры атмосферы с помощью серийной метеостанции М-49.

Измерения ослабления проводились относительным методом, что исключало вклад молекулярного поглощения в газах в измеряемое ослабление на волне 10,6 мкм. Коэффициенты ослабления γ_λ рассчитывались по закону Бугера с учетом изменения выходной мощности:

$$\gamma_\lambda = \frac{4,34}{L} \ln \frac{J_0}{J}, \quad (1)$$

где J_0 — интенсивность принятого излучения в отсутствие облака, J — интенсивность излучения, ослабленного облаком, L измеряется в м, γ — в дБ/м.

Результаты измерений

На короткой трассе оптическая толщина облака (τ) испытывала сильные флуктуации. Максимальное значение ее на длине 72 м для $\lambda = 10,6$ мкм составляло $\tau = 2,5$; на волне 0,63 мкм оно достигало $\tau = 7$. Поскольку принято считать, что слой облака средней плотности толщиной 1 км имеет $\tau = 20$ в видимом диапазоне, то указанные выше толщи соответствуют облачным зонам очень высокой плотности. Флуктуации τ обусловлены неоднородностью движущегося облака. Характер флуктуаций иллюстрируется на рис. 1, где приведен временной ход изменения коэффициентов ослабления на волнах 10,6 и 0,63 мкм, усредненных на трассе 72 м. Как видно из рис. 1, временные изменения коэффициентов ослабления на обеих волнах имеют практически одинаковый характер, хотя значения коэффициентов сильно различаются по величине. Это указывает на то, что закон распределения капель по размерам и его численные параметры менялись мало в данной части облака, так как изменение этих характеристик привело бы к тому, что в одно и то же время ослабления на этих волнах менялись бы по-разному. Можно сделать вывод, что флуктуации τ определяются в основном изменением концентрации, а не размеров капель, на пути луча.

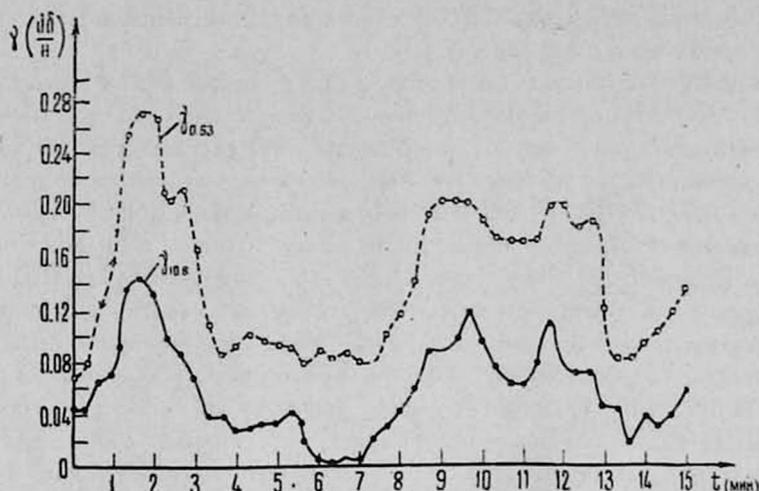


Рис. 1. Характер временных флуктуаций ослабления на волнах 0,63 и 10,6 мкм в облаке на трассе 72 м.

Большую часть времени измерений $\gamma_{0,63}$ превышало $\gamma_{10,6}$ в 2—3 раза. Усредненная зависимость $\gamma_{10,6}$ от $\gamma_{0,63}$ для всего периода измерений продолжительностью около 14 часов с учетом среднеквадратичного отклонения может быть представлена следующей формулой:

$$\gamma_{10,6} = (0,37 \pm 0,08) \gamma_{0,63}. \quad (2)$$

Средняя скорость ветра в облаках составила около 5 м/с, поэтому указанная продолжительность измерений соответствует пространственной зоне облачности протяженностью более 250 км. Это указывает на статистическую надежность полученных данных. Облака относились к виду слоистых (st).

Вид экспериментальной зависимости $\gamma_{10,6} = f(\gamma_{0,63})$ приведен на рис. 2, где сплошной линией изображена зависимость (2). На этом же рисунке приведены экспериментальные точки для случая, когда в течение 20 мин наблюдалось почти одинаковое ослабление на обеих волнах. Усредненная зависимость $\gamma_{10,6}$ от $\gamma_{0,63}$ для этого участка аппроксимируется формулой:

$$\gamma_{10,6} = (0,9 \pm 0,1) \gamma_{0,63}. \quad (3)$$

Различие зависимостей (2) и (3) связано с разной микроструктурой гидрометеоров. Как показано в [3, 4], среднеквадратичный радиус гидрометеоров (радиусы капель от 1 до 15 мкм) можно определить путем измерения отношения $\gamma_{10,6}/\gamma_{0,63}$ в одной и той же зоне облака. Оценки показали, что зависимость (2) соответствует величине среднеквадратичного радиуса $\Gamma_2 = 3$ мкм, а (3) — $\Gamma_2 = 8$ мкм. Однако следует указать, что в течение более чем 97% времени измерений слоистые облака характеризовались довольно мелкокапельной микроструктурой.

Оптическая плотность облаков характеризуется также метеорологической дальностью видимости S_m , которая может быть определена по из-

меренным величинам $\gamma_{0,63}$. На основе этого установлена связь между $\gamma_{10,6}$ и S_m в виде

$$\gamma_{10,6} = \frac{6,3 \pm 1,3}{S_m}, \quad (4)$$

где $\gamma_{10,6}$ выражено в дБ/м, а S_m — в м. Это соотношение проверено в диапазоне значений дальности видимости $25 \div 150$ м и близко к результату, полученному в [3] для искусственных туманов.

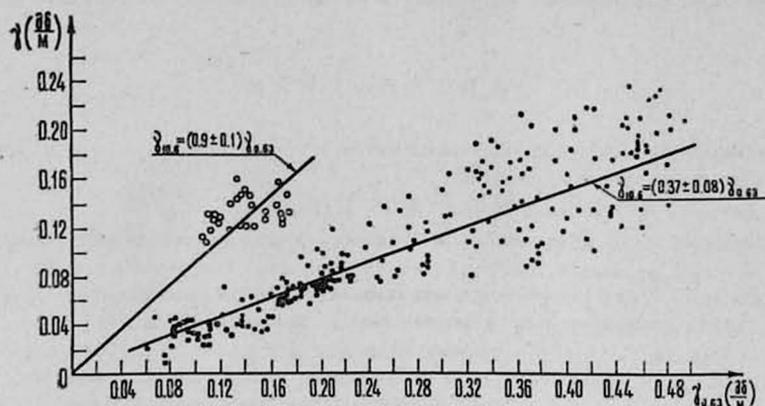


Рис. 2. Экспериментальная зависимость коэффициента ослабления на волне 10,6 мкм от коэффициента ослабления на волне 0,63 мкм для слоистых облаков.

Ослабление на волне 0,63 мкм на трассе 3200 м при наличии облачности, занимающей даже менее одной трети трассы, большую часть времени превышало 90 дБ, причем если облако занимало значительную часть трассы, то регистрировалось рассеянное назад излучение, которое не превышало $5 \cdot 10^{-8}$ от падающей интенсивности. Измерение ослабления в этом случае не представляется возможным из-за недостаточного динамического диапазона аппаратуры, а также из-за трудности разделения принимаемого сигнала от отражателя и отражения от облака.

Таким образом, из полученных результатов следует, что сильное ослабление в облаках может привести к тому, что в горных условиях передача информации с помощью видимых волн будет трудно осуществимой даже на расстояниях порядка 1 км. Но поскольку по времени наиболее продолжительными являются слоистые облака, обладающие мелкокапельной структурой, то системы передачи информации, содержащие в качестве источников излучения СО₂-лазеры, будут работать более надежно, чем с видимым излучением.

Аналогичная картина имеет место и в туманах малой интенсивности: ослабление на волне 10,6 мкм в течение 98% времени ниже, чем на волне 0,63 мкм [3]. Надежные данные об ослаблении этих волн в плотных туманах пока не получены, микроструктура их также исследована слабо, что не позволяет сравнить полученные в настоящей работе результаты с данными для плотных туманов.

