

РАДИОЗОНДОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАТУХАНИЯ СОЛНЕЧНОГО СВЕТА

А. В. Кочин¹

¹ *Центральная аэрологическая обсерватория, Долгопрудный, e-mail:
amarl@mail.ru*

Аннотация: *интегральное значение коэффициента затухания оптического излучения в атмосфере измеряется актинометрической сетью, но для ряда задач важны особенности вертикального распределения коэффициента затухания. В работы приведено описание прибора и метода для измерения вертикального профиля затухания света с помощью обычного радиозонда, оснащенного фотодиодом в качестве оптического датчика. Результаты измерений демонстрируют резкое скачок величины ослабления света вблизи границы между тропосферой и стратосферой.*

Ключевые слова: *коэффициента ослабления, фотодатчик для радиозонда, граница между тропосферой и стратосферой.*

Актуальность. Измерение коэффициента ослабления света в атмосфере проводится специализированными радиозондами [1, 2, 3, 4, 6] с высокоточными приемниками излучения в различных диапазонах. Для обеспечения высококачественных измерений радиозонды оснащаются системой стабилизации угла наклона оптического датчика радиозонда. Использование системы стабилизации приводит к значительному увеличению стоимости радиозонда. Чтобы снизить стоимость конструкции, оптический датчик был реализован на обычном коммерческом фотодиоде видимого диапазона с углом обзора 60 градусов.

Методы и оборудование. Эксперименты проводились с использованием двух типов оптических датчиков и двух типов радиозондов. Внешний вид радиозондов с установленными датчиками приведен ниже.

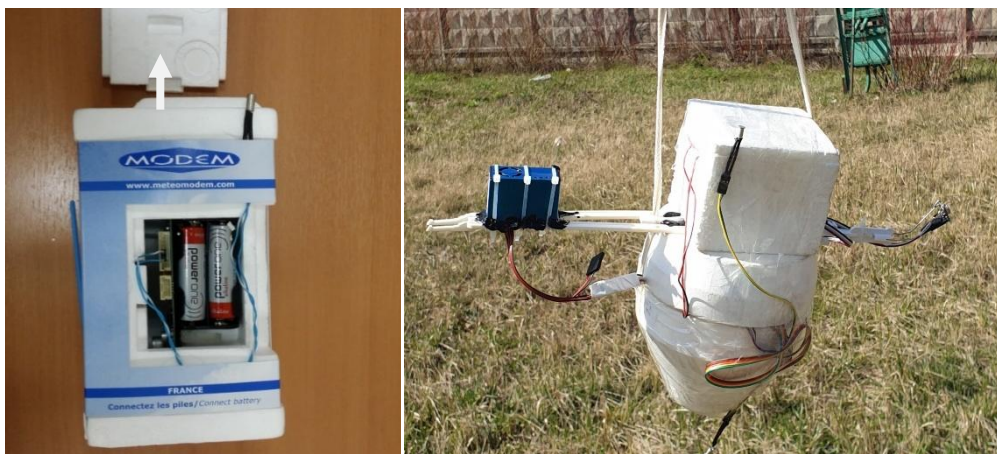


Рис. 1. Внешний вид радиозондов с оптическими датчиками (слева Modem, Франция, справа MP3-3, Россия). Белые стрелки показывают направление максимума диаграммы направленности датчиков

На радиозонд устанавливался обычный фотодиод ФД-256 производства РФ с рабочим диапазоном 0,4...1,1 мкм. Ширина диаграммы направленности (ДН) не менее ± 60 градусов. Фотодиоды проверялись в термокамере с возможностью охлаждения до температуры -70°C . Для использования в экспериментах были выбраны экземпляры, у которых выходной сигнал практически не зависел от температуры в диапазоне от 40 до -70°C . При пересечении облачности интенсивность прямого света, падающего на фотодатчик, уменьшается, а интенсивность света частиц облаков увеличивается. Это приводит к уменьшению дисперсии оптического сигнала и применялось для обнаружения облаков.

Обсуждение результатов. Эксперименты по исследованию оптических характеристик атмосферы выполнялись на аэрологической станции Долгопрудная (индекс 27713, координаты 55,93 N, 37,52 E) в стандартный срок 12 GMT. Так как время запуска по местному времени соответствует 15-ти часам, то высота Солнца менялась от 30 до 50 градусов. Для получения статистически значимых результатов выпущено более 20 радиозондов [5]. Пример экспериментальных данных приведен на рисунке 2.

Экспериментальные данные радиозонда с двумя датчиками разного диапазона представлены на Рис. 2. В соответствии с энергетическим спектром солнечного излучения сигнал больше в видимом диапазоне, но характер его изменения не определяется длиной волны. До определенной высоты интенсивность падающего излучения растет как в видимом диапазоне, так и в ближнем ИК диапазоне. а затем падает. Рост интенсивность падающего излучения связано с уменьшением оптической толщины, что сокращает величину затухания. Затем интенсивность падает ввиду смещения Солнца к

горизонту из-за проведения пусков в 15 часов по местному времени. Целью запуска радиозондов с оптическими датчиками было измерение высоты ВГО.

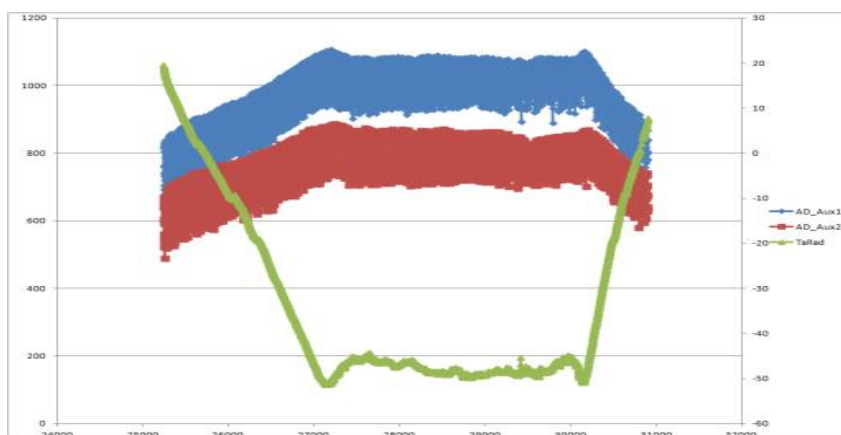


Рис. 2. Экспериментальные данные радиозонда с двумя датчиками разного диапазона. Синим цветом представлены данные датчика видимого диапазона, а красным цветом отображены данные датчика в ближнем ИК диапазоне порядка 1 мкм. Температура отображены зеленой линией

Однако характер изменения сырого сигнала на рисунке 2 указывает на возможность получения информации о затухании света. Для этого нужно продифференцировать усредненный сигнала датчика. Необработанный сигнал представляет собой случайный процесс с заметными флуктуациями. Требуется разработка специального алгоритма обработки информации, чтобы не терять подробности при использовании простого усреднение, как в [4]. Кроме того, требуется учесть изменение угла подъема Солнца, чтобы сигнал не изменялся. Подбор вариантов привел к алгоритму построения сигнала по максимумам в скользящем окне из 30 значений. Полученный файл дифференцировался по высоте. Результаты приведены на рисунке 3.

Производная среднего уровня сигнала соответствует коэффициенту затухания света с точностью до постоянного множителя. Ее уменьшение на высотах 2, 5 и 5 км соответствует слоям с инверсией температуры. Уменьшение в инверсионном слое концентрации аэрозолей и увеличении их концентрации под ним является известным эффектом, который дает изменения в коэффициенте затухания света. Разница в затухании света в стратосфере, где оно практически отсутствует [4] по сравнению с тропосферой известна. Однако наличие резкого изменения величины ослабления света вблизи границы между тропосферой и стратосферой ранее никем не отмечалось.

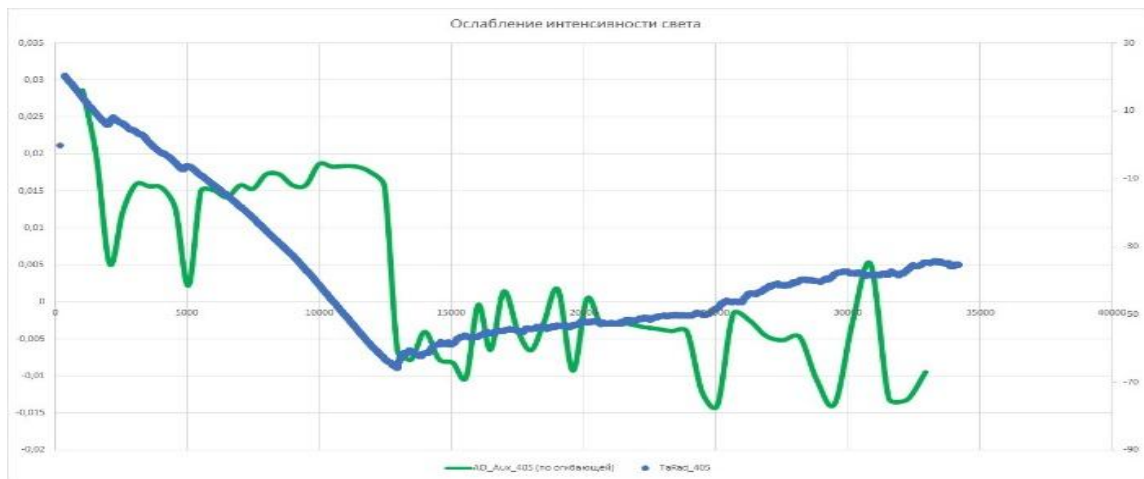


Рис. 3. График производной среднего уровня сигнала (зеленая линия) и температуры (синяя линия).

Заключение. Стандартный радиозонд, оборудованный простейшим оптическим датчиком на базе фотодиода, позволяет оценивать оптические характеристики атмосферы, в частности, вертикальный профиль коэффициента ослабления света. Эффект резкого изменения величины ослабления света позволяет измерить высоту границы между воздушными массами тропосферы и стратосферы. Результаты измерений могут быть использованы в прогностических и климатических моделях.

Автор выражает благодарность коллегам из Центральной аэрологической обсерватории, в особенности Ф. Загуменнову и В. Фоменко, за разработку и изготовление фотодатчиков и проведение экспериментальных исследований.

Библиографический список

1. Asano S & al, Radiative Properties of Midlatitude Frontal Ice-Clouds Observed by the Shortwave and Longwave Radiometer-Sondes, *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, 2004 82, doi: [10.2151/jmsj.2004.639](https://doi.org/10.2151/jmsj.2004.639).
2. Кондратьев К.Я. Актинометрия // 1965, Л., Гидрометеиздат. 357 с.
3. Костяной Г.Н. Актинометрический радиозонд // *Метеорология и гидрология*, 1963, № 7..
4. Philipona R & al, Balloon-borne radiation measurements demonstrate radiative forcing by water vapor and clouds, *Meteorologische Zeitschrift*. 2020, N 29(6), DOI: [10.1127/metz/2020/1044](https://doi.org/10.1127/metz/2020/1044)
5. Kochin A. V. Examination of Optical Processes in The Atmosphere During Upper Air Soundings. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. 2021, DOI: [10.1175/JTECH-D-20-0158.1](https://doi.org/10.1175/JTECH-D-20-0158.1)

6. K. A. Nicoll, and R. G. Harrison Balloon-borne disposable radiometer for cloud detection. *Rev. Sci. Instrum.* 2012, 83, 025111; <https://doi.org/10.1063/1.3685252>

RADIOSONDE MEASUREMENTS OF THE ATTENUATION OF SUNLIGHT

Kochin A.V.

Central Aerological Observatory, Dolgoprudny, amar1@mail.ru

Summary: The integral value of the attenuation of optical radiation in the atmosphere is measured by an actinometric network, but for a number of tasks, the features of the vertical distribution of the attenuation coefficient are important. The paper describes a device and a method for evaluating the vertical profile of light attenuation using a conventional radiosonde equipped with a simple sensor based on a photodiode. The measurement data indicates a sharp change in the attenuation near the boundary between the troposphere and stratosphere.

Keywords: light attenuation coefficient, radiosonde, optical sensor, tropopause.