

В.С. Максимюк, С.В. Татьяна

**АНАЛИЗ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ДАННЫХ ПОКАЗАТЕЛЯ АЭРОЗОЛЬНОГО ОСЛАБЛЕНИЯ ТРОПОСФЕРЫ И СТРАТОСФЕРЫ В ПОДСПУТНИКОВОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ**

В работе рассматриваются результаты спектрофелометрических измерений показателя аэрозольного ослабления  $\mu_a(\lambda)$  с борта самолета-лаборатории в нижней и средней тропосфере. Эти результаты сравниваются с отдельными данными, совпадающими по времени и пространству, полученными независимым образом по спутниковым оптическим измерениям SAGE, выполненным за рубежом методом фотометрирования горизонта на восходе и заходе солнца. Делаются выводы, что вертикальные профили  $\mu_a(\lambda, H)$  и значения показателя Ангстрема, измеренные различными методами удовлетворительно совпадают дополняя друг друга по высоте. Это свидетельствует о технически достижимой возможности проведения современных комплексных оптических исследований всей толщи атмосферы с необходимой степенью пространственного разрешения, достоверности и точности.

Измерительные приборы, установленные на космических аппаратах (КА), позволяют в настоящее время получить разнообразную и систематическую информацию о характеристиках атмосферы и подстилающей поверхности. Разработанные методы решения соответствующих обратных задач дают возможность восстановить ряд параметров и получить информацию об атмосферных процессах стратосферы и верхней тропосферы в глобальных масштабах [1, 2]. Одним из возможных вариантов получения с борта КА недостающей информации о количественных характеристиках нижележащих слоев атмосферы является использование в подспутниковом эксперименте специальной методики самолетного зондирования для заранее выбранных реперных географических районов, характеризующих фоновые условия измерений.

В настоящей работе рассматриваются результаты прямых спектрофелометрических измерений показателя аэрозольного ослабления  $\mu_a$  в области спектра  $\lambda = 0,38...1,02$  мкм с борта самолета-лаборатории на высотах от нуля до 5 км для фоновых условий центральной части Европейской Территории Союза [3–6]. Полученные результаты сравниваются с данными синхронного зондирования с КА по программе SAGE, в соответствии с которой проводятся регулярные исследования стратосферного и тропосферного аэрозоля (за исключением аэрозоля водных облаков) с применением методики восстановления вертикального профиля показателя ослабления  $\beta_a$  ( $\lambda_1 = 0,45$  мкм,  $\lambda_2 = 1,00$  мкм) на основе измерений прозрачности атмосферы на «затменных» трассах [7]. Вертикальное распределение солнечной радиации измерялось в течение суток для 15 восходов и заходов Солнца. Количественное осреднение массива вертикальных профилей  $\beta_a$  производится по двух- или пятидневным временным интервалам и географической зоне внутри полосы  $10^\circ$  по широте и  $20^\circ$  по долготе. Важно отметить, что нами проводится сравнение указанных выше средних значений  $\beta_a$  с единичными результатами самолетного нефелометрического зондирования  $\mu_a$ , которое дает более точную, но только «мгновенную фотографию» вертикального разреза атмосферы без учета вариаций в многодневном ходе. Сравнение результатов измерений проводится для двух различных методов зондирования, различающихся по пространственному осреднению, совпадающих по времени, по географической зоне, а также по высоте  $H_0 = 5$  км, которая одновременно является нижним пределом спутниковых измерений  $\beta_a(\lambda_2)$  и верхним пределом самолетных измерений  $\mu_a$ . Из двух массивов экспериментальных данных в случайно реализованном подспутниковом эксперименте было отобрано 11 совместных серий наблюдений, в которых получено 18 профилей  $\mu_a(\lambda_3, H)$  на длине волны  $\lambda_3 = 0,54$  мкм. Результаты спутникового зондирования  $\beta_a$  на длине волны  $\lambda_2 = 1,00$  мкм пересчитывались на длину волны  $\lambda_3$  с использованием формулы Ангстрема  $\beta_a \sim \lambda^{-n}$ . Показатель Ангстрема  $n$  определялся на основе исходных экспериментальных данных  $\beta_a(\lambda_1)/\beta_a(\lambda_2)$  с предположением о линейной связи между  $\lg\beta_a$  и  $\lg\lambda$ .

С целью сравнения результатов измерений, полученных по двум методам зондирования, на рис. 1 показана взаимосвязь синхронной пары значений  $\mu_a(\lambda_3)$  и  $\beta_a(\lambda_3)$ , которые удовлетворительно совпадают с учетом инструментальных и методических погрешностей измерений. Систематическое расхождение экспериментальных данных составляет в среднем +31% для группы из 7 серий наблюдений, и +72% для группы из 4 серий наблюдений. На рис. 1 вертикальными и горизонтальными отрезками показаны погрешности измерений в виде одного среднеквадратического отклонения (СКО) от среднего значения.

Для исследования не только количественных характеристик аэрозоля, но и динамики его качественного состава по высоте проводится сравнение результатов соответствующих спектральных измерений. Вертикальный профиль показателя Ангстрема, приведенный на рис. 2, относится к спутниковым измерениям  $n_1$  для высот более 10 км, и самолетным измерениям  $n_2$  для высот ниже 5 км. Примеры

высотного распределения величины  $\bar{n}_1$  показывают незначительную изменчивость со средним значением  $\bar{n}_1 = 1,7 \pm 0,5$ , что является типичным для измерений по программе SAGE [8]. Среднее значение величины  $\bar{n}_2 = 2 \pm 1$ , и ее высотная изменчивость [5, 6] находится в количественном и качественном соответствии со значениями  $\bar{n}_1$ , с учетом зоны пространственной неопределенности в интервале высот 5...10 км, а также вероятным различием химического и дисперсного состава тропосферного и стратосферного аэрозоля.

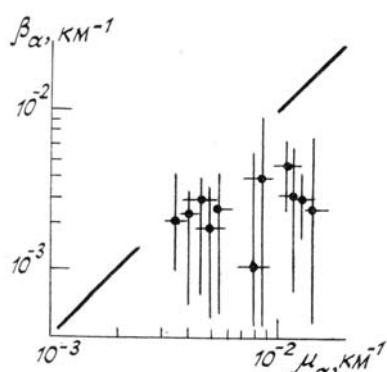


Рис. 1. Сопоставление результатов самолетных  $\mu_a$  и спутниковых  $\beta_a$  измерений показателя аэрозольного ослабления на высоте  $H_0 = 5$  км  $\lambda_3 = 0,54$  мкм

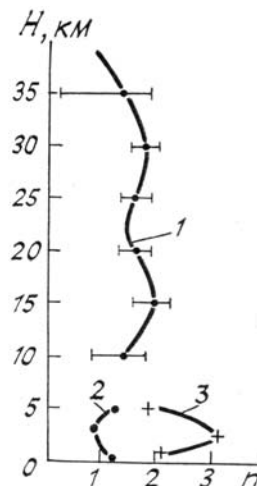


Рис. 2. Пример вертикального распределения показателя Ангстрема. 1 — значение  $\bar{n}_1$  и СКО; 2, 3 — изменчивость соответствующих значений  $n_2$ , полученных с интервалом в три дня

Таким образом, количественные характеристики  $\mu_a$  и  $\beta_a$ , а также значения  $\bar{n}_1$  и  $\bar{n}_2$ , полученные в подспутниковом эксперименте, хорошо согласуются, дополняя друг друга по высоте, и указывают на возможность проведения совместных спутниковых и самолетных исследований всей толщи атмосферы с удовлетворительной степенью достоверности и точности для фоновых условий измерений.

Авторы признательны т. В.А. Иванову за проявленный интерес к данной работе и выражают благодарность за предоставленные материалы зарубежных исследований.

1. Малкевич М.С. Оптические исследования атмосферы со спутников. М.: Наука, 1973. 303 с.
2. Кабанов М.В., Кабанов Д.М., Сакерин С.М. //Оптика атмосферы. 1988. Т. 1. № 1. С. 107.
3. Максимюк В.С., Танташев М.В., Семенов Л.С. //Оптико-механическая промышленность. 1987. № 6. С. 20.
4. Герасимов А.В., Максимюк В.С., Татьяна С.В. //Метеорология и гидрология. 1988. № 2. С. 25.
5. Максимюк В.С., Татьяна С.В., Царевская Р.А. //Тезисы докл. III Всес. совещания по распространению лазерного излучения в дисперсной среде. Обнинск. 1985. Ч. 1. С. 79.
6. Максимюк В.С., Танташев М.В., Татьяна С.В. //VIII Всес. симпозиум по распространению лазерного излучения в атмосфере. (Тезисы докл.). Томск. 1986. Ч. I. С. 67.
7. Mc Cormick M. P. SAGE Aerosol Measurements V. III—NASA RP-1173, 1987. P. 269.
8. Lenoble J., Pruvost P. //J. of Climate and Appl. Meteorol. 1983. V. 22. № 10. P. 1717.

Поступило в редакцию  
3 февраля 1989 г.

V. S. Maksimyuk, S. V. Tat'yantin. **Quantitative Analysis of Troposphere and Stratosphere Aerosol Attenuation Coefficients in a Sub-Satellite Experiment.**

Results of spectronephelometric aircraft-laboratory measurements of an aerosol attenuation coefficient  $\mu_a(\lambda)$  in the lower and middle troposphere are presented. The results are compared with some data, coincident in time and space and independently obtained on the basis of satellite optical measurements (SAGE) made abroad by horizon photometry at the sunrise and sunset. The conclusions about satisfactory coincidence of differently measured vertical profiles  $\mu_a(\lambda, H)$  and Angström coefficient values, supplementing each other in height, are made. This evidences the technical possibility of modern complex optical investigations of the atmosphere all-depth with the desired degree of spatial resolution, reliability and accuracy.