

ЧАСТОТНЫЙ АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ АЭРОЗОЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ СПЕКТРАЛЬНОГО ПРОПУСКАНИЯ СВЕТА В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ В ТОМСКЕ

Веретенников В.В.¹, Меньщикова С.С.¹, Ужегов В.Н.

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск

e-mail: yvv@iao.ru, mss@iao.ru, uzhegov@iao.ru

Представлены результаты исследования временных рядов для коэффициентов аэрозольного ослабления света $\varepsilon(\lambda)$, измеренных в период 2003–2006 гг. в районе Томска, и объемной концентрации аэрозоля, которая была восстановлена в результате обращения $\varepsilon(\lambda)$. Экспериментальные данные получены с помощью измерителя спектральной прозрачности атмосферы на 11 длинах волн в диапазоне 0,45 – 3,91 мкм на горизонтальной трассе. Для решения обратной задачи был использован численный алгоритм на основе метода интегральных распределений. Общий объем обработанных данных составил около 6 тыс. спектров. Выполнен спектральный анализ временных рядов с использованием алгоритма на основе метода Барнинга [1], который разработан для анализа неравномерных рядов.

С целью выявления роли и значимости аэрозолей в атмосферных процессах необходимы длительные наблюдения их характеристик в изменяющихся условиях внешней среды. Одним из источников информации о микроструктурных параметрах аэрозоля в атмосфере являются измерения спектрального пропускания света. В течение длительного периода в районе г. Томска проводились систематические многолетние измерения спектрального пропускания базовым методом на горизонтальной трассе. Для измерений использовался разработанный в ИОА СО РАН автоматизированный фотометр на 11 длинах волн в диапазоне 0,45 – 3,9 мкм. По измеренным сигналам в приземном слое атмосферы определялись коэффициенты аэрозольного ослабления света $\varepsilon(\lambda)$, которые являются исходной информацией для нахождения параметров микроструктуры аэрозоля методами решения обратных задач. В результате обращения данных наблюдений, выполненных в период 2003–2006 гг., были построены временные ряды микроструктурных параметров приземного аэрозоля, таких как объемная концентрация и средний радиус частиц с разделением на субмикронную и грубодисперсную фракции. Общий объем обработанных данных составил около 6 тыс. спектров.

В докладе представлены результаты спектрального анализа полученных временных рядов оптических и микроструктурных характеристик аэрозоля. Специфика задачи состоит в том, что условия проведения экспериментов не позволяли получать ряды на идеальной равномерной сетке дискретных отсчетов. Поэтому для спектрального анализа невозможно применение стандартных методов ДПФ и авторами использован алгоритм метода Барнинга [1], который

разработан для анализа неравномерных рядов. Основная идея данного метода заключается в аппроксимации временного ряда $\{y_k\}$ гармонической функцией

$$f(t_k, \nu, a, b) = a(\nu) \cos(2\pi \nu t_k) + b(\nu) \sin(2\pi \nu t_k) \quad (1)$$

с неизвестными амплитудами a, b . Значения амплитуд при фиксированной частоте ν находятся из условия минимума функционала

$$\Delta(\nu, a, b) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N [f(t_k, \nu, a, b) - y_k]^2. \quad (2)$$

Приравнивая к нулю производные $\Delta(\nu, a, b)$ (2) по a и b , получают систему нормальных уравнений, из решения которой определяются оптимальные амплитуды $a^*(\nu)$, $b^*(\nu)$. Среднеквадратический спектр мощности (LS-спектр) на частоте ν вычисляется по формуле

$$P(\nu) = a^*(\nu)U(\nu) + b^*(\nu)V(\nu), \quad (3)$$

где $U(\nu), V(\nu)$ – известные функции.

Далее значения $f(t_k, \nu, a^*(\nu), b^*(\nu))$ вычитают из наблюдаемого временного ряда $\{y_k\}$ и тем самым получают остаточный ряд. Затем вновь выполняется процедура минимизации $\Delta(\nu, a, b)$ (2) для остаточного ряда с использованием следующей частоты. Итерации повторяются для всех выбранных частот.

Для анализа были выбраны результаты спектральных измерений коэффициентов аэрозольного ослабления $\varepsilon(\lambda)$, полученные период 2003–2006 гг., и значения объемной концентрации аэрозольных частиц, которые были восстановлены в результате решения обратной задачи для $\varepsilon(\lambda)$. Измерения проводились, как правило, круглосуточно с периодичностью измерительных циклов 2 часа. Длительность измерительного цикла составляла около 30 мин. Специфика рядов заключается в том, что периодичность наблюдений частично нарушалась по разным причинам, включая длительное отсутствие измерений в холодные периоды, что, в целом приводило к нерегулярности интервалов наблюдений.

Для примера на рис.1 представлена временная изменчивость среднечасовых значений $\varepsilon(\lambda)$ на двух длинах волн 0,55 и 1,06 мкм в период с мая по октябрь 2003 г.

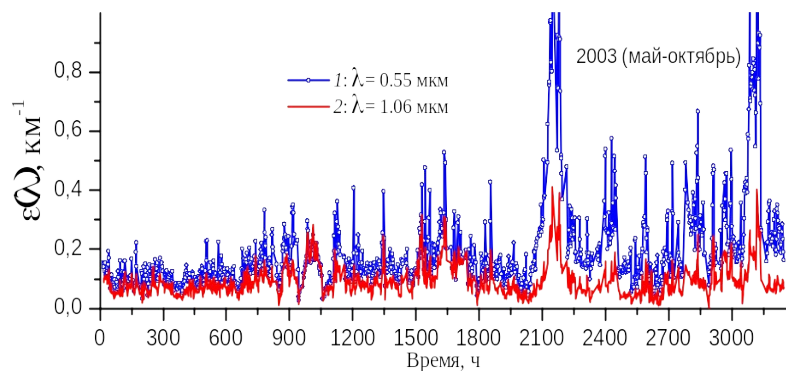


Рис. 1. Временные ряды коэффициентов аэрозольного ослабления $\varepsilon(\lambda)$ на длинах волн 0,55 и 1,06 мкм, полученные в течение 2003 года.

Для того же периода на рис. 2 представлены временные ряды восстановленных объемных концентраций аэрозоля субмикронной $V^{(f)}$ и грубодисперсной $V^{(c)}$ фракций соответствующие экспериментальным данным рисунка 1.

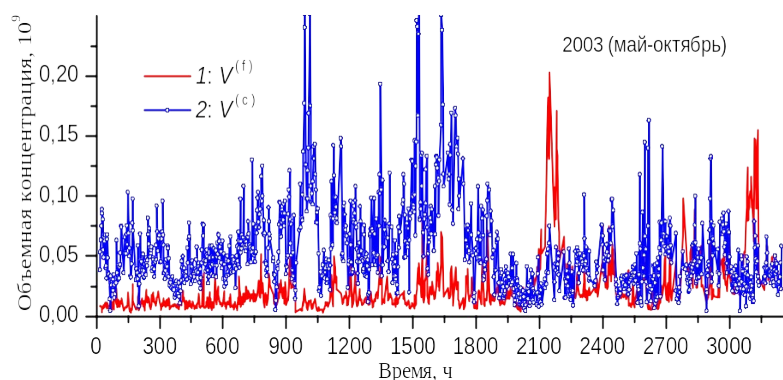


Рис. 2. Временные ряды объемных концентраций субмикронных и грубодисперсных частиц, восстановленные по измерениям $\varepsilon(\lambda)$ в 2003 г.

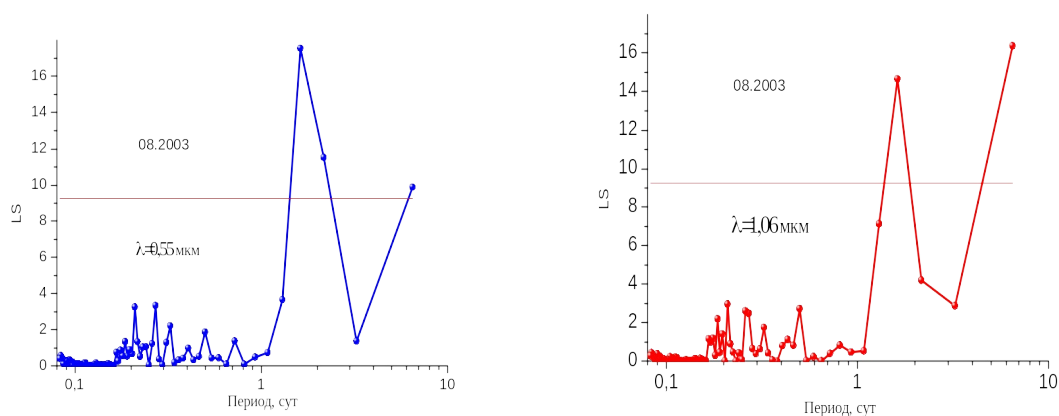


Рис. 3. LS-спектры для рядов $\varepsilon(0,55)$ и $\varepsilon(1,06)$, полученных в августе 2003 г.

На рис. 3 и 4 представлены LS-спектры для рядов $\varepsilon(\lambda)$ на двух длинах волн 0,55 и 1,06 мкм, полученных в течение короткого периода наблюдений (август 2003) и на протяжении более длительного периода с мая по октябрь того же года.

На рис. 5 представлены LS-спектры, полученные для рядов объемных концентраций частиц субмикронной $V^{(f)}$ и грубодисперсной $V^{(c)}$ фракций, которые были восстановлены из данных продолжительных оптических наблюдений в период май-октябрь 2003 г.

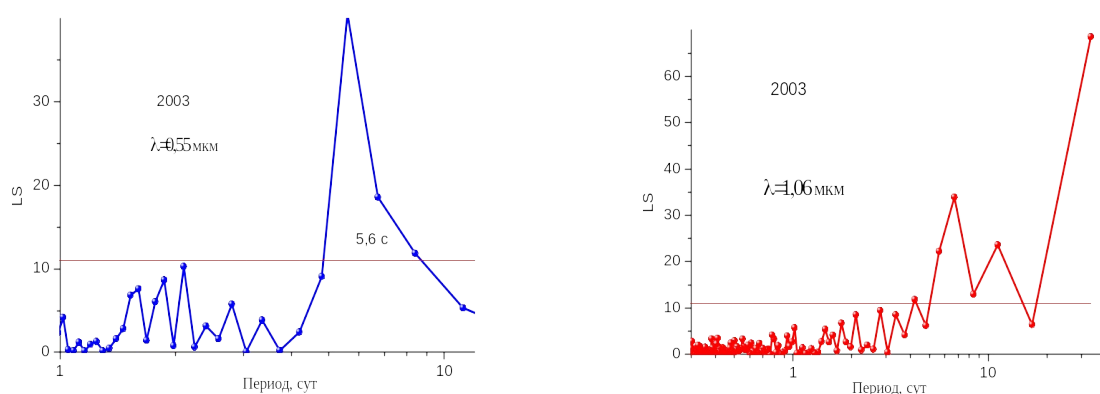


Рис. 4. LS-спектры для рядов $\varepsilon(0,55)$ и $\varepsilon(1,06)$, полученных с мая по октябрь 2003 г.

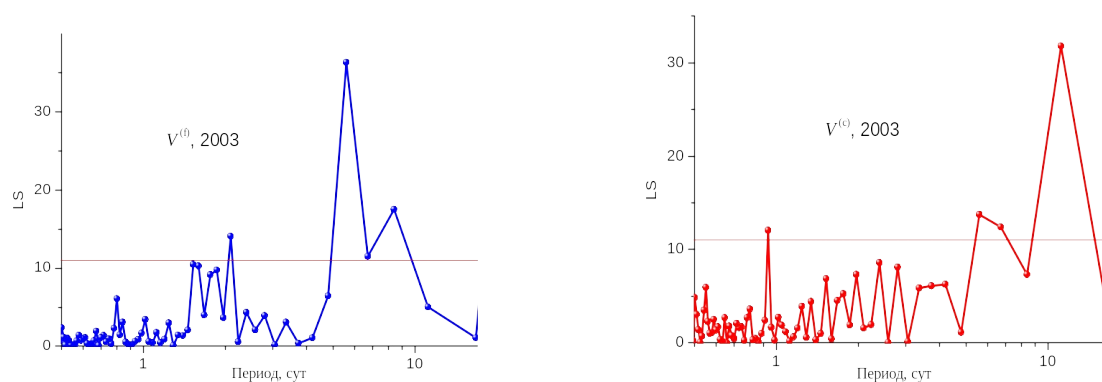


Рис. 5. LS-спектры для рядов $V^{(f)}$ и $V^{(c)}$, восстановленных с мая по октябрь 2003 г.

1. Тербиж И.Ю. Анализ временных рядов в астрофизике. М.: Наука. 1992. 392 с.