

М.Н.Домнич, Е.Б. Шибанов

Морской гидрофизический институт НАН Украины, г.Севастополь

**ИССЛЕДОВАНИЕ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ
В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НАЗЕМНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ 1989-1990 И 2006-2007 ГГ.**

Работа посвящена исследованию поведения атмосферного аэрозоля над Черным морем в прибрежной зоне. Произведен анализ основных характеристик аэрозоля (аэрозольной оптической толщины и параметра Ангстрема) и их взаимосвязи. Выявлена возможность применимости статистического подхода к описанию свойств аэрозоля. Наблюдаемые закономерности могут быть объяснены наличием растворимой фракции аэрозоля.

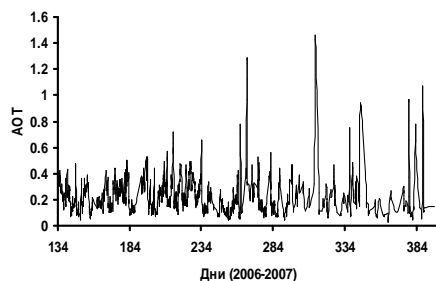
Атмосферный воздух всегда содержит заметное количество частиц разного происхождения, различных по размерам и химическому составу. Оставаясь взвешенными в воздухе в течение неопределенно долгих промежутков времени, они нередко переносятся вертикальными и горизонтальными воздушными потоками на значительные расстояния. Особый интерес представляют такие частицы, которые хорошо рассеивают и поглощают свет. В частности, атмосферный аэрозоль, который вносит существенный вклад в рассеяние и поглощение света атмосферой.

В задачах дистанционного зондирования по измерению яркости поверхности необходимо учитывать влияние рассеяния, обусловленного наличием аэрозоля. Вследствие чего, необходимо проводить подспутниковые измерения для выявления особенностей характера и поведения аэрозоля.

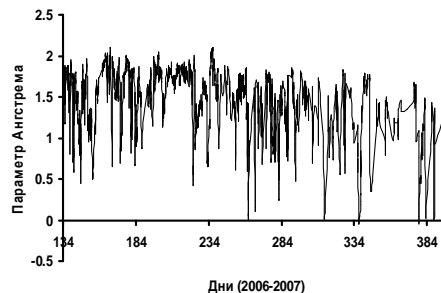
Регулярные наблюдения за свойствами атмосферного аэрозоля над Черным морем проводились в Карадагской астрономической обсерватории с 1972 по 1997 гг. С мая 2006 г. МГИ НАНУ начал работу в рамках программы *AERONET*. Для изучения особенностей характеристик аэрозоля был проведен анализ результатов измерений двух массивов данных.

Наземные измерения в Севастополе проводились с помощью многоканального прибора *Sun Photometer* фирмы *CIMEL* модели *CE-318* по программе *AERONET*; в Карадаге – с помощью солнечного фотометра *M-83* [1]. Данные измерений по аэрозольной оптической толщине (АОТ) и параметру Ангстрема α взяты за период с 14 мая 2006 г. по 5 февраля 2007 г. в районе г.Севастополь и за период 1989 – 1991 гг. в районе Карадага. Данные получены для основных каналов длин волн: 347, 368, 530, 574, 638 нм – для Карадага и 340, 380, 440, 500, 675, 870, 1020 нм – для Севастополя.

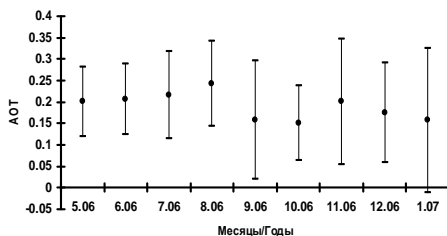
Анализ данных. Исследовалась временная зависимость и сезонная изменчивость АОТ и α по результатам измерений массивов данных для Карадага и Севастополя. На рис.1, 2 приведен график зависимости (по данным для Севастополя) АОТ(500 нм) и α (500 – 870 нм) от времени (в днях от начала года) соответственно. Среднемесячные значения АОТ и α для Севастополя приведены на рис.3, 4. Следует отметить довольно сильные вариации



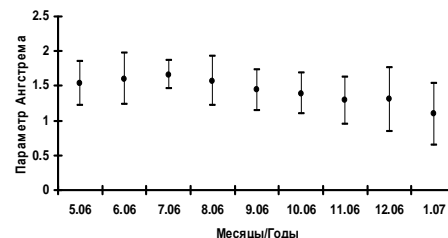
Р и с . 1 . Временная зависимость АОТ (500 нм) по данным измерений *Sun Photometer*.



Р и с . 2 . Временная зависимость α (500 – 870 нм) по данным измерений *Sun Photometer*.



Р и с . 3 . Сезонная изменчивость АОТ(500 нм) по данным измерений *Sun Photometer*.

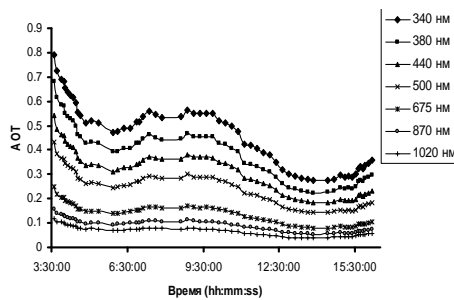


Р и с . 4 . Сезонная изменчивость α (500 – 870 нм) по данным измерений *Sun Photometer*.

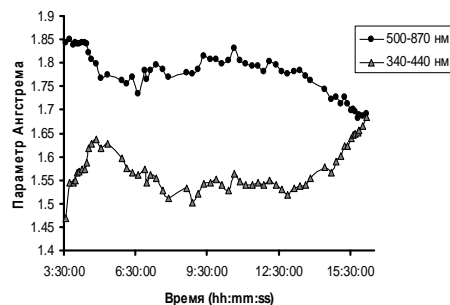
исследуемых параметров, как на протяжении года, так и в течение месяца.

Для более детального анализа вариаций АОТ и α был исследован суточный ход рассматриваемых параметров для каждого дня в отдельности за весь период. На рис.5, 7 приведены примеры суточного временного хода АОТ на разных длинах волн для типичного летнего (20 июля 2006 г.) и зимнего (15 января 2007 г.) дня в Севастополе. На рисунках 6,8 показаны примеры зависимости суточного хода α от времени в эти дни соответственно.

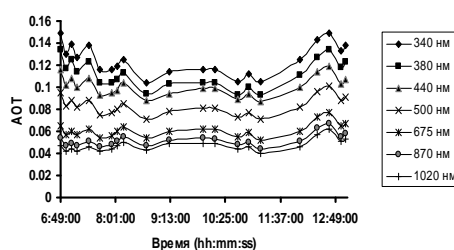
По оси X отложено время проведения измерений соответствующее GMT. Для перехода на местное время, необходимо прибавить 3 часа летом (начиная с последнего воскресенья марта) и 2 часа зимой (начиная с последнего воскресенья октября). Характер суточной изменчивости АОТ можно интерпретировать следующим образом. Прибор располагается таким образом, что начало измерений соответствует ситуации, когда солнце встает над сушей, а по окончанию измерений – солнце садится в море. В летний период поверхность земли прогревается больше, чем поверхность моря. Поэтому, значения АОТ летом (рис.5) утром больше, чем в вечернее время. Зимой (рис.7) – величины АОТ изменяются менее заметно в течение дня, например, в диапазоне 0,10 – 0,16 для УФ области спектра. В дальнейшем происходит просыхание аэрозоля, что соответствует уменьшению величин АОТ. В полдень снова происходит насыщение аэрозоля, следовательно, АОТ возрастает, причем зимой «полуденный максимум» значений АОТ наступает немного раньше и менее выражен. Утром и вечером температура воздуха минимальна, следовательно, относительная влажность – больше, что соответствует большим значениям АОТ в эти периоды. Можно заметить, что подобная



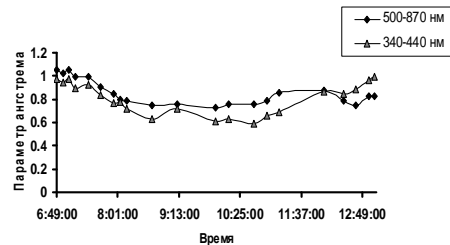
Р и с . 5 . Суточный ход АОТ за 20 июня 2006 г.



Р и с . 6 . Суточный ход α за 20 июня 2006 г.



Р и с . 7 . Суточный ход АОТ за 15 января 2007 г.

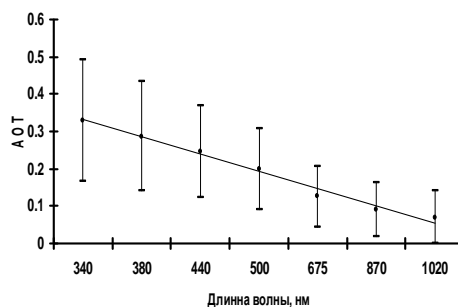


Р и с . 8 . Суточный ход α за 15 января 2007 г.

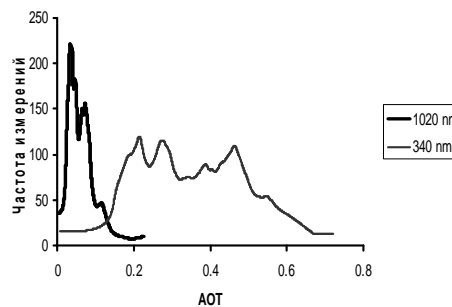
изменчивость АОТ соответствует стандартным представлениям о нормальном ходе относительной влажности в течение дня [2], и, таким образом, может быть обусловлена растворимостью аэрозоля.

Рассматривались значения α на диапазонах длин волн 340 – 440 нм и 500 – 870 нм. При анализе поведения показателя Ангстрема можно выделить следующие особенности. В течение летнего дня (рис.6) $\alpha(340 - 440 \text{ нм})$ изменяется от 1,45 до 1,75, а величины $\alpha(500 - 870 \text{ нм})$ от 1,85 до 1,75. Различия значений параметров Ангстрема в двух спектральных интервалах, как видно из рис.6 изменяющихся в противофазе, свидетельствуют о нестепенном законе распределения АОТ. В сравнение, для зимнего дня (рис.8) характерна близость значений $\alpha(340 - 440 \text{ нм})$ и $\alpha(500 - 870 \text{ нм})$, при отсутствии заметных вариаций суточного хода параметров Ангстрема.

Для статистического анализа данных, их сезонной изменчивости были вычислены среднесуточные спектры АОТ за весь период измерений. На рисунке 9 показаны средние значения и среднеквадратичные отклонения аэрозольной оптической толщины атмосферы за весь исследуемый период для Севастополя; там же приведена аппроксимирующая их кривая. Наблюдается заметная изменчивость спектра АОТ – значения АОТ сравнимы с соответствующими величинами среднеквадратичных отклонений. Такого рода изменчивость может быть следствием влияния многих факторов. Для того чтобы оценить корректность статистического описания поведения аэрозоля, исследовалась гистограмма распределения полученных значений АОТ (рис.10). Известно, что величина, подверженная влиянию большого количества независимых случайных факторов и способная принимать только поло-



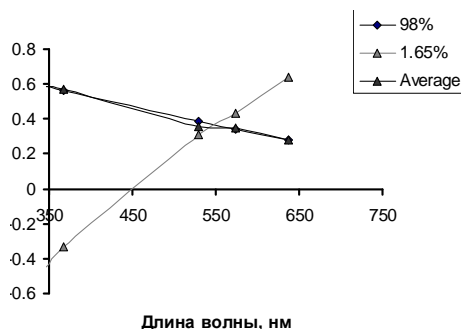
Р и с . 9 . Средние значения и среднеквадратичные отклонения АОТ



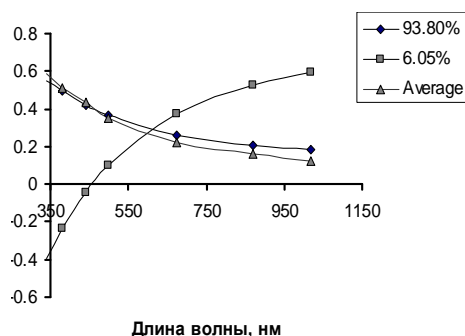
Р и с . 1 0 . Гистограмма распределения значений АОТ.

жительные значения, должна иметь логнормальное распределение. Однако из рисунка 10 видно, что в ИК области спектра распределение АОТ еще можно аппроксимировать логнормальным распределением, но в целом распределение имеет модальный характер, что отчетливо наблюдается в коротковолновом диапазоне длин волн. Таким образом, статистический подход к описанию поведения аэрозоля, используемый в статье, является чисто формальным.

Рассчитаны статистические характеристики спектра АОТ. Первые два собственных вектора и собственные значения приведены на рис.11 для Карадага (1989 г.) и рис.12 для Севастополя (2006 – 2007 гг.). Статистический анализ данных АОТ показал, что 93 – 98 % общей вариации АОТ может быть объяснено первым собственным вектором как для данных по Карадагу, так и по Севастополю. При этом спектральная функция средней величины АОТ пропорциональна первому собственному вектору, что с точки зрения равновесной статистики подразумевает постоянство качественного состава аэрозоля. Небольшое расхождение может быть объяснено различными районами исследования и методами получения информации. Иначе говоря, модель описания характеристик аэрозоля может рассматриваться как однопараметрическая, в которой некоторый параметр модели будет описывать 95 % изменчивости АОТ.



Р и с . 1 1 . Первые два собственных вектора с соответствующими собственными значениями и среднее АОТ для Карадага (1989).



Р и с . 1 2 . Первые два собственных вектора с соответствующими собственными значениями и среднее АОТ для Севастополя (2006 – 2007 г.).

Заключение. 96 – 99 % общей вариации АОТ объясняется первым собственным вектором как для данных по Карадагу, так и по Севастополю, при этом спектральная функция средней величины АОТ пропорциональна первому собственному вектору. Суточный ход АОТ имеет особенности характерные для растворимой фракции. Несмотря на однопараметричность модели при статистическом подходе, наблюдается заметная изменчивость спектральных характеристик аэрозоля. Статистическое описание поведения аэрозоля не является достаточно корректным, вследствие модальности распределения АОТ.

Авторы благодарят В.Н.Нолбен, руководителя проекта *AERONET* (*Project AERONET*), а также директора Карадагской астрономической обсерватории Г.К.Гущина за предоставленные данные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гущин Г.П.* Методы, приборы и результаты измерения спектральной прозрачности атмосферы.– Л.: Гидрометеиздат, 1988.– 423 с.
2. *Мак-Картни Э.* Оптика атмосферы. Рассеяние света молекулами и частицами.– М.: Мир, 1979.– 533 с.

Материал поступил в редакцию 15.05.2008 г.