

ВАРИАЦИИ СЕЗОННОЙ АЭРОЗОЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ТОЛЩИ АТМОСФЕРЫ В ДУШАНБЕ ПО ДАННЫМ AERONET

¹Н.Б. Курбонов, ²С.Ф. Абдуллаев, ²В.А. Маслов

VARIATIONS OF SEASONAL AEROSOL OPTICAL THICKNESS OF THE ATMOSPHERE IN DUSHANBE FROM AERONET DATA

¹N.B. Kurbonov, ²S.F. Abdullayev, ²V.A. Maslov

В статье обсуждаются предварительные результаты исследований оптических и микрофизических характеристик атмосферы в Душанбе, проведенных в период с июля 2010 по март 2011 с использованием солнечного фотометра CE-318 по программе AERONET. Аэрозольная оптическая толщина монотонно уменьшается с увеличением длины волны. Проведен анализ сезонных изменений запыленности, связанных с вторжением пылевой мглы.

This paper discusses the preliminary results of optical and microphysical properties of the atmosphere in Dushanbe, conducted between July 2010 till March 2011 using the sun photometer CE-318 on framework of AERONET program. Aerosol optical thickness decreases monotonically with increasing wavelength. The analysis of seasonal changes in dust associated with the intrusion of dust haze.

Одним из эффективных методов определения характеристик атмосферного аэрозоля является метод фотометрии прямого и рассеянного солнечного излучения. В настоящее время наиболее развитой системой с точки зрения автоматизации измерений, оперативности получения данных и глобального охвата, является сеть аэрозольных наблюдений AERONET (<http://aeronet.gsfc.nasa.gov>) [Holben et al., 1998; Eck et al., 1999; Smirnov et al., 2000; Dubovik, 2000a, b; Holben, 2001]. В городе Душанбе, благодаря проекту МНТЦ Т-1688, выполнявшемуся при поддержке коллабораторов из Франции, США, Португалии, был установлен фотометр CE-318 сети AERONET и с июля 2010 г. начаты систематические исследования АОТ атмосферы в условиях аридной зоны. Целью настоящей работы является анализ результатов первого этапа аэрозольного мониторинга, проводимого по программе AERONET в Душанбе. Основное внимание уделяется обсуждению особенностей оптических характеристик аэрозоля за период июль 2010 – март 2011 г.

Организация регулярных наблюдений в Душанбе

Целью мониторинга характеристик атмосферного аэрозоля в Душанбе на станции AERONET является изучение климатического воздействия аэрозоля, выявление особенностей его временной изменчивости и оценка роли местных, региональных и глобальных факторов. Измерения в Душанбе проводятся в пригородной зоне на востоке города, высота фотометра над уровнем моря ~822 м, над уровнем земли ~16 м. Душанбе расположен в Гиссарской долине Республики Таджикистан. Приведем краткую климатогеографическую характеристику района наблюдений [Бокова, 2012].

Южный Таджикистан включает в себя целый ряд долин, разделяемых почти меридионально расположенными хребтами. Южнее Гиссарского хребта располагается Гиссарская долина, протяженностью 115 км, которую с юга ограничивают невысокие (не выше 1800 м) горы Рангон. Южные склоны Гиссар-

ского хребта на всем его протяжении изрезаны узкими поперечными долинами и ущельями. Склоны имеют значительную крутизну, что способствуют подъему воздуха и формированию мощных облачных систем. Орографическая замкнутость долины, ее безветренность, незначительные осадки летом и большая интенсивность солнечной радиации способствуют повышенному аэрозольному загрязнению этого региона.

Одним из главных факторов, вызывающих застой воздуха, является антициклональная циркуляция, обуславливающая развитие мощных задерживающих слоев – слоя инверсии, когда температура с высотой повышается, или слоя изотермии, когда температура в некотором приземном слое остается постоянной. Инверсии, оказывающие наиболее существенное влияние, образуются в ясные и малооблачные ночи за счет охлаждения приземного слоя воздуха путем излучения поверхностью почвы или из-за наличия снежного покрова.

Рост температуры продолжается десятки и даже сотни метров по высоте. Разница температур на верхней и нижней границах инверсионного слоя в Таджикистане достигает 15–17 °С при летних вечерних инверсиях. В горных районах Таджикистана инверсии довольно часто повторяются над долинами, причем над вершинами гор ясная погода с хорошей горизонтальной видимостью, а долины заполнены застоявшимся загрязненным воздухом (пылью, дымом). Даже с небольших холмов инверсии хорошо видны по загрязненному слою воздуха. Обычно инверсии обнаруживаются путем сравнения температур на метеостанциях, расположенных на предгорьях (высота 1200–1400 м) и в долинах (высота 400–800 м).

В зимнее время роль задерживающего слоя играет также арктический фронт, вклинивающийся в долину, резко охлаждая приземной слой воздуха на высоте до 1–1.5 км. В результате этих факторов в воздухе задерживаются и накапливаются загрязняющие вещества: твердые частицы (пыль, продукты сгорания) и вредные газы (СО, СО₂, приземный озон, NO_x и др.).

Краткая характеристика AERONET

Автоматизированная сеть аэрозольных наблюдений AERONET [Holben et al., 1998; Eck et al., 1999; Smirnov et al., 2000; Dubovik, 2000a, b; Holben, 2001] насчитывает сейчас более 450 станций со Sun-Sky фотометрами CE-318 на всех континентах планеты. В базовом варианте прибора в режиме наибольшей достоверности (level 2), на котором исключено влияние облаков, прямая радиация измеряется (каждые 15 мин) на длинах волн 0.34; 0.44; 0.50; 0.67; 0.87; 0.94; 1.02 мкм. Полученные данные используются для определения АОТ и влагосодержания атмосферы (канал 0.94 мкм). Погрешность определения АОТ атмосферы составляет ± 0.01 – 0.02 . Измерения рассеянной радиации на альмукантарате Солнца и в главной плоскости проводятся на четырех длинах волн – 0.44; 0.50; 0.67 и 0.87 мкм, в среднем один раз в час.

Достоинством сети AERONET является высокая информативность. Благодаря применению современных методов решения обратных задач [Holben et al., 1998; Eck et al., 1999; Smirnov et al., 2000; Dubovik, 2000a, b; Holben, 2001], кроме определения величины АОТ и влагосодержания атмосферы восстанавливаются такие параметры аэрозоля, как микроструктура аэрозоля, комплексный показатель преломления, альbedo однократного рассеяния (АОР) аэрозоля и другие параметры.

Месячная и сезонная изменчивость АОТ

На рис. 1. представлены спутниковые изображения, полученные со спутника AQUA-MODIS для региона, в котором находится станция AERONET Душанбе за 22.08.2010 (а) и 23.08.2010 (б). Общая площадь, покрывавшаяся пылевой мглой 23 августа 2010 года на территории юга Таджикистана, Сурхандарьинской области Узбекистана и северного Афганистана, составляла 110000 км².

Пылевая мгла, появляющаяся над территорией юга Таджикистана на десятки дней в год, создает своеобразную природную лабораторию для изучения влияния аэрозоля на климат. Ранее уже исследовались различные аспекты свойств аридного аэрозоля и влияния запыленности воздуха на климат аридной зоны. Каждое вторжение пыльной мглы на территорию Таджикистана несколько отличается от других.

Систематические исследования АОТ атмосферы начаты в Душанбе с июля 2010 г. Цель настоящей работы – анализ результатов первого этапа аэрозольного мониторинга по программе AERONET. Обсуждаются особенности АОТ, полученные с июля 2010 по март 2011 г. Измерения в Душанбе проводились в пригородной зоне на востоке города, высота фотометра над уровнем моря ~822 м, над уровнем земли ~16 м.

В режиме наибольшей достоверности (level 2 – исключено влияние облаков) прямая радиация измеряется (каждые 15 мин) на длинах волн 0.34; 0.44; 0.50; 0.67; 0.87; 0.94; 1.02 мкм. Погрешность определения АОТ атмосферы составляет ± 0.01 – 0.02 . Из проведенных серий измерений (9824) в 2010 г. репрезентативными являются 5947.

Вычисляя отношение АОТ к оптической толщине, измеренной в ясный день (например, после сильного

дождя), получим значения, характеризующие относительную запыленность воздуха. Для обычных дней с фоновой запыленностью находим $\tau^{\circ}/\tau^{\ddot{y}}=2.4$ – 3.4 , а для дней с пылевыми эпизодами $\tau^{\circ}/\tau^{\ddot{y}}=24$ – 30 , то есть замутненность атмосферы во время пыльной мглы увеличивается на порядок.

В ясной атмосфере оптическая толщина имеет минимум в середине дня. Запыленность совершенно изменяет эту зависимость. Временной ход АОТ, измеренный в условиях пылевой мглы (23.08.2010), при обычной, фоновой запыленности атмосферы, характерной для Душанбе (22.08.2010 и 27.08.2010), и в ясный день (08.03.2011) приведен на рис. 2.

Для контроля степени запыленности воздуха независимо от измерений оптической толщины с помощью аэрозольного счетчика частиц АЗ-6 (ПК.ГТА-0.3-002), производства ООО «Прибор-электро» определялась концентрация приземного аэрозоля. Этот счетчик регистрирует аэрозольные частицы в шести каналах по размерам в диапазоне 0.3–1.0 мкм. Диапазон измерения счетной концентрации аэрозольных частиц от 0 до $3.5 \cdot 10^5$ частиц в литре. Эти данные оказались более удобными для оценки суточной динамики концентрации приземного аэрозоля, чем восстановленные из оптических измерений AERONET, дающие результаты только в светлое время дня, причем усредненные для столба воздуха.

В фоновой атмосфере наблюдаются два максимума в дневном ходе концентрации частиц, утром и вечером (рис. 3). Такое поведение зафиксировано для всех фракций аэрозоля в диапазоне 0.3–1.0 мкм. Концентрация частиц с размерами в диапазоне 0.3–0.4 мкм изменяется от 25 до 300 частиц/см³. Концентрация частиц с размерами в диапазоне 0.5–1.0 мкм изменяется от 1 до 10 частиц/см³. В Душанбе чаще всего высокое значение оптической толщины утром, падение с середины дня и плавный рост к вечеру, то есть атмосфера наиболее ясная днем, к вечеру и ночью количество частиц в приземном слое возрастает.

Можно предложить механизм, объясняющий такое поведение концентрации частиц аэрозоля. В предутренние часы в подынверсионном приземном слое происходит накопление аэрозоля, за счет которого формируется первый максимум дневного хода концентрации частиц. После разрушения температурной инверсии за счет солнечного нагрева, частицы аэрозоля поднимаются выше и распределяются в более толстом слое воздуха, что приводит к уменьшению наблюдаемой у земли концентрации частиц. Турбулентное перемешивание воздуха и конвекция, связанная с сильным прогревом поверхности при высокой дневной температуре, заставляет частицы аэрозоля подниматься, что приводит к формированию второго суточного максимума концентрации частиц аэрозоля. Ночью концентрация аэрозольных частиц несколько понижается (в основном за счет осаждения грубодисперсной фракции аэрозольных частиц), а затем весь цикл повторяется снова. Среднемесячные изменения АОТ для всех длин волн в период июль 2010 – март 2011 г. приведены на рис. 4.

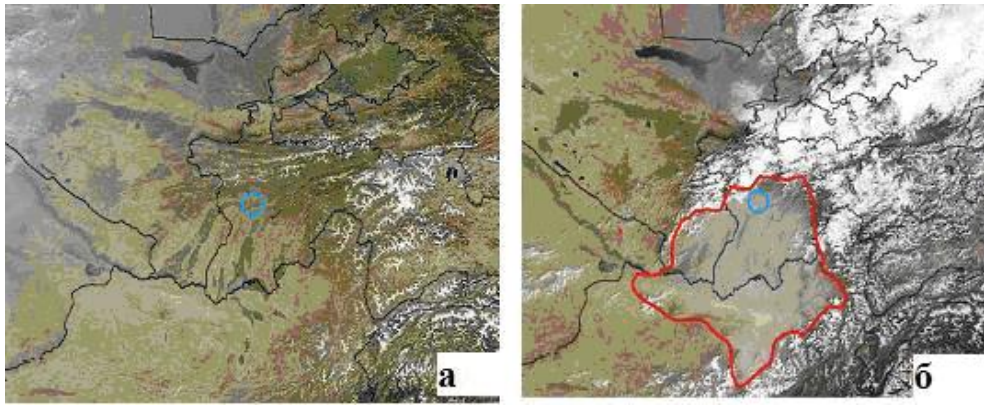


Рис. 1. Изображения окрестностей станции AERONET в Душанбе, сделанные со спутника AQUA-MODIS 22.08.2010 (а) и 23.08.2010 (б).

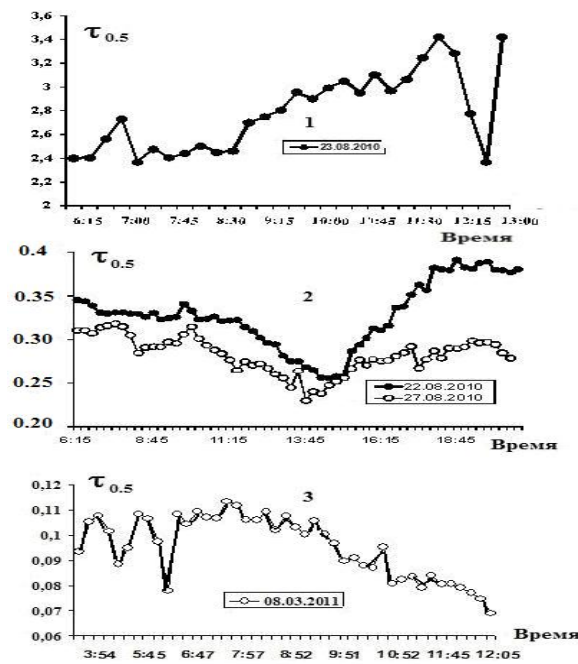


Рис. 2. Временной ход АОТ $\tau(0.5 \text{ мкм})$ в Душанбе: 1 – пылевая мгла; 2 – фоновый день; 3 – ясный день.

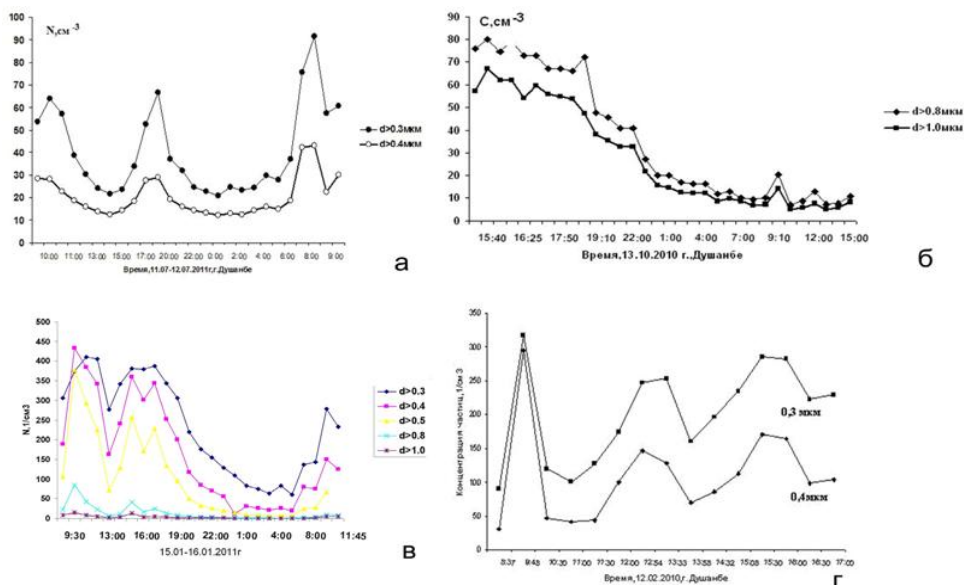


Рис. 3. Изменение концентрации частиц в течение суток.

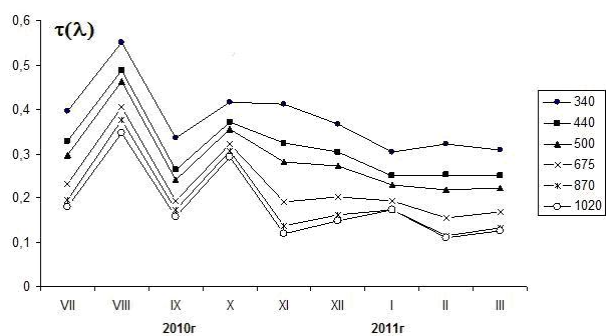


Рис. 4. Среднемесячный ход оптической толщи атмосферы на всех длинах волн.

Рост АОТ в августе связан с частыми вторжениями пыльной мглы в район города Душанбе. В сентябре наблюдается очищение атмосферы от пыли, некоторое загрязнение происходит в октябре, а далее оптическая толщина монотонно падает до марта.

АОТ уменьшается с длиной волны (рис. 4), причем наблюдается монотонное уменьшение АОТ с увеличением длины волны.

Проведенный анализ данных позволяет рационально планировать проведение и развитие исследований по программе AERONET в Таджикистане.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бокова П.А., Махмадалиев Б.У. Краткий курс по общей и синоптической метеорологии (с учетом орographic особенностей Таджикистана). Душанбе, 2012. 119 с.

Dubovik O., M. D. King, 2000: A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosol optical properties from Sun and sky radiance measurements // J. Geophys. Res. 2000a. V. 105. P. 20673–20696.

Dubovik O., Smirnov A., Holben B.N., et.al. Accuracy assessments of aerosol optical properties retrieved from AERONET sun and sky-radiance measurements // J. Geophys. Res. 2000b. V. 105. P. 9791–9806.

Eck T.F., Holben B.N., Reid J.S., et al. The wavelength dependence of the optical depth of biomass burning, urban and desert dust aerosols // J. Geophys. Res. 1999. V. 104. P. 31333–31350.

Holben B.N., Tanre D., Smirnov A., et.al. An emerging ground-based aerosol climatology: Aerosol optical depth from AERONET // J. Geophys. Res. 2001. V. 106. P. 12067–12097.

Holben B.N., Eck T.F., Slutsker I., et al. AERONET – A federated instrument network and data archive for aerosol characterization // Rem. Sens. Environ. 1998. V. 66. P. 1–16.

Smirnov A., Holben B.N., Eck T.F., et.al. Cloud screening and quality control algorithms for the AERONET data base // Rem. Sens. Env. 2000. V. 73. P. 337–349.

¹Таджикский национальный университет, Душанбе, Таджикистан

²Физико-технический институт им. С.У. Умарова АН РТ, Душанбе, Таджикистан