

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРЫ

Г.А. Толкаченко*, В. N. Holben**,
М.Е. Ли*, Г.К. Коротаев*

*Морской гидрофизический институт
НАН Украины

г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: tga@alpha.mhi.iuf.net

**NASA/Goddard Space Flight Center,
Greenbelt Code 923, Greenbelt, MD 20771

В статье приведено краткое описание сети спектрофотометров AERONET, изложена концепция построения сети автоматизированных приборов, приведены технические и метрологические характеристики спектрофотометра и методика измерений. Обсуждаются результаты исследований оптических характеристик аэрозоля над Черным морем, выполненных в МГИ НАН Украины (Севастополь) летом 2006 г.

Введение. Погрешности определения био-оптических характеристик морской воды по результатам спутниковых измерений спектральной яркости поверхности моря определяются, главным образом, точностью учета влияния атмосферы на трансформацию спектрального состава восходящих над морем потоков излучения. Качество атмосферной коррекции цвета морской поверхности в значительной мере определяется уровнем знаний оптических характеристик аэрозоля и их пространственно-временной изменчивости [6].

В настоящей работе приведено краткое описание сети автоматизированных спектрофотометров AERONET (AErosol RObotic NETwork), созданной Национальным Аэрокосмическим Агентством США (NASA) для исследований оптических характеристик атмосферного аэрозоля. Концепция построения сети AERONET и подробное описание конструкции спектрофотометра приведены в работе [2].

С середины мая 2006 г один из многочисленных спектрофотометров сети AERONET установлен в Севастополе. Полученные из сети данные используются для изучения оптических и микрофизических параметров аэрозоля и их региональных особенностей в атмосфере над Севастополем.

Программа AERONET обеспечивает квази непрерывные измерения оптических и микрофизических параметров атмосферных аэрозолей, свободный доступ к обширной и непрерывно пополняемой базе данных о микрофизических и оптических характеристиках аэрозоля и синергизм с другими глобальными базами данных. Работа в Сети налагает жесткие требования к стандартизации приборов, их калибровке, обработке данных и их распространению [1].

Концепция построения сети основана на использовании автоматических, всепогодных, надежных и недорогих фотометров, стандартных процедурах измерений, сбора и обработки данных, архивировании результатов измерений и открытом доступе к базе данных. Это содействует росту международного сотрудничества и позволяет изучать изменчивость оптических характеристик аэрозоля в широком диапазоне пространственных и временных масштабов.

Работы по программе AERONET в МГИ НАН Украины начались с мая 2006 г. Получены и проанализированы результаты изучения оптических характеристик аэрозолей за летний период. Проведено также сопоставление основных параметров аэрозоля над Черным и Средиземным морями с данными спутниковых измерений оптических характеристик атмосферы [2].

Измерительная система сети AERONET построена на основе спектральных радиометров серии CE-318 производства фирмы CIMEL Electronique (Франция). Прибор CE-318 является всепогодным программируемым спектральным спектрофотометром, который может продолжительное время работать в автономном режиме с питанием от штатной электросети либо от солнечных батарей, и предназначен для автоматического сканирования Солнца и небосвода, накопления и передачи на Платформу Сбора Данных (DCP) результатов измерений по каналам спутниковой связи или через Интернет.

Фотометр состоит из трех основных частей: фотометрической головки, системы поворота головки по зенитному углу и по азимуту и блока управления (рисунок 1). Прибор выполняет измерения яркости солнечного диска и яркости небосвода. Соответственно, головка оснащена двумя кремниевыми фотоприемниками и двумя коллиматорами. Измерения проводятся в

широком спектральном диапазоне от 340 до 1020 нм. Угол поля зрения фотометра формируется двумя коллиматорами с углом поля зрения $1,2^\circ$, которые служат для защиты фотоприемников от постороннего света.



Рисунок 1 – Спектральный фотометр SE-318, установленный на здании лабораторного корпуса МГИ НАН Украины

Измерения яркости солнечного диска и ореола при угловых расстояниях от Солнца в пределах $2^\circ \div 6^\circ$ производятся через коллиматор с малой апертурой. Для расширения динамического диапазона прибора при измерениях яркости небосвода (угловые расстояния от Солнца $6^\circ \div 180^\circ$), апертура второго коллиматора увеличена дополнительной линзовой системой.

Стандартная модель прибора SE-318 оснащена интерференционными светофильтрами с полосами пропускания: 340, 380, 440, 500, 870, 940 и 1020 нм. Ширина полосы пропускания фильтров на уровне половины максимума для видимого и ИК-диапазонов составляет приблизительно 10 нм. В участках 340 и 380 нм ширина полосы уменьшена до 4 и 2 нм, соответственно. Контроль температуры фотоприемников осуществляется с помощью термистора. Фильтры расположены в обойме и пооче-

редно устанавливаются перед фотоприемниками с помощью шагового двигателя.

Фотометрическая головка по заданной программе наводится на Солнце с помощью азимутального и зенитного шаговых двигателей с точностью $0,05^\circ$. Микропроцессор вычисляет положение Солнца на основании времени измерений и географических координат места установки прибора. Азимутальный и зенитный двигатели наводят фотометрическую головку на Солнце с точностью приблизительно 1° , после чего более точная наводка производится под управлением четырехквadrантного детектора.

Для предотвращения загрязнений оптической системы от осадков и посторонних частиц, после каждой серии измерений прибор паркуется (опускает фотометрическую головку в надир). Защиту от влаги обеспечивает датчик осадков, который во время дождя или снегопада отменяет любую последовательность измерений и возвращает прибор в положение «парковка». Все режимы работы спектрофотометра (определение последовательности измерений, время и частота опроса датчиков, сбор телеметрической информации, хранение и передача данных) полностью автоматизированы и осуществляются под программным управлением микропроцессоров, расположенных в фотометрической головке и в пульте контроля и управления.

Пульт контроля и управления прибором, батареи питания и оборудование для спутниковой связи расположены в защищенном от непогоды корпусе. Общий вес фотометра составляет приблизительно 15 кг, вес пульта управления с батареями, передатчиком, кабелями и разъемами не превышает 22 кг.

Функционирование фотометра. Основным способом измерения оптических характеристик атмосферы и ее переменных компонент (аэрозоля, водяного пара, озона и других газовых примесей) являются измерения ослабления в атмосфере спектрального состава прямой солнечной радиации. Заданную последовательность измерений фотометр выполняет утром, начиная с массы атмосферы равной семи, и заканчивая вечером при таком же значении массы атмосферы. Каждая последовательность состоит из трех измерений в каждом спектральном участке. Интервал между триплетными измерениями определяется изменением массы

атмосферы на 25% и в дневное время обычно составляет 15 минут. Оптическая толщина атмосферы вычисляется согласно закону Бугера по спектральному ослаблению прямого солнечного излучения. Для определения аэрозольной оптической толщины, рассчитывается ослабление света за счет молекулярного рассеяния Рэлея и поглощения газообразными составляющими атмосферы, которые затем вычитаются из общей оптической толщины атмосферы.

Измерения спектральной яркости небосвода выполняются на фиксированных угловых расстояниях от Солнца и позволяют получить информацию о микрофизических характеристиках аэрозоля (распределение

частиц по размерам в диапазоне от 0,1 до 15,0 мкм, комплексный показатель преломления и альбедо однократного рассеяния) и спектральных характеристиках углового распределения рассеянного света (индикатрисы рассеяния). Такие измерения производятся в четырех спектральных участках (440, 670, 870 и 1020 нм) при массах атмосферы, равных 4, 3, 2 и 1,7. Программой задаются два вида сканирования небосвода: в плоскости солнечного вертикала (при постоянном азимутальном угле) и вдоль альмукантарата Солнца (при постоянном зенитном угле) с различными фиксированными азимутальными углами. Угловые расстояния от Солнца во время сканирования приведены таблице 1.

Таблица 1 – Последовательность изменений угловых расстояний от Солнца при сканировании небосвода в плоскости солнечного вертикала (от горизонта к зениту) и в альмукантарате Солнца (по часовой стрелке)

Вид сканирования	Угловые расстояния (°)	
	Солнце	Небосвод
Альмукантарат	0	6,0; 5,0; 4,5; 4,0; 3,5; 3,0; 2,5; 2,0; -2,0; -2,5; -3,0; -3,5; -4,0; -4,5; -5,0; -6,0; -8,0; -10,0; -12,0; -14,0; -16,0; -18,0; -20,0; -25,0; -30,0; -35,0; -40,0; -45,0; -50,0; -60,0; -70,0; -80,0; -90,0; -100,0; -110,0; -120,0; -130,0; -140,0; -160,0; -180,0
Плоскость солнечного вертикала	0	-6,0; -5,0; -4,5; -4,0; -3,5; -3,0; -2,5; -2,0; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 12,0; 14,0; 16,0; 18,0; 20,0; 25,0; 30,0; 35,0; 40,0; 45,0; 50,0; 60,0; 70,0; 80,0; 90,0; 100,0; 110,0; 120,0; 130,0; 140,0; 160,0; 180,0

Во время сканирования в альмукантарате Солнца измерения выполняются в одном из спектральных участков, после чего этот процесс повторяется для каждого из остальных каналов до полного завершения запрограммированной последовательности.

Измерения в плоскости солнечного вертикала выполняются почти так же, как и альмукантарате Солнца. Эта последовательность начинается с измерений яркости солнечного диска, затем точка визирования перемещается на 6° ниже, после чего прибор сканирует небосвод в вертикальной плоскости на фиксированных углах (таблица 2). При этом для каждого спектрального участка выполняются прямые измерения яркости Солнца. Методика и алгоритмы обработки результатов сканирования для получения функции распределения частиц по размерам и индикатрис рассеяния приведены в работах [3, 4].

Метрологические характеристики прибора. Точность измерений спектральных каналов фотометров контролируется тремя методами:

1) в процессе калибровок на интегральной сфере, установленной в NASA (Greenbelt), – по изменчивости цифровых отсчетов измерительных каналов фотометра;

2) при калибровке каналов яркости солнечного диска в высокогорной обсерватории Mauna Loa, в условиях прозрачной и стабильной атмосферы [2] – по вариациям отсчетов в триплетах;

3) в полевых условиях – по вариациям темновых токов фотоприемников в процессе сканирования небосвода.

Многолетние наблюдения показали, что коэффициенты вариации при калибровках каналов на интегральной сфере редко превышали 1% и в большинстве случаев находились в пределах 0,1 ÷ 0,3%. Коэффициенты

вариации триплетов при измерениях яркости Солнца для каналов 440 – 1020 нм находились в пределах $0,1 \div 0,4\%$, для канала 380 нм – $0,5 \div 0,7\%$ и для канала 340 нм, – $0,7 \div 1,0\%$. Изменчивость показаний приборов за счет изменения темновых токов не превышала 1%.

Калибровка приборов производится для определения коэффициентов, связывающих цифровые отсчеты измерительных каналов с искомой величиной, например, с аэрозольной оптической толщиной или яркостью небосвода ($\text{Вт/м}^2 \cdot \text{стер} \cdot \text{мкм}$). Погрешность калибровочных коэффициентов [2] определяется точностью прибора, точностью методики калибровки и точностью используемых алгоритмов.

Погрешности измерений яркости на интегральной сфере не превышают 5,5%. Точность определения внеатмосферной яркости Солнца по измерениям в обсерватории Мауна Лоа зависит от спектрального диапазона. Для видимого и ближнего ИК-участков спектра коэффициенты вариации изменялись в пределах $\sim 0,25 \div 0,5\%$, для УФ-диапазона – $0,5 \div 2,0\%$ и для канала поглощения паров воды 936 нм – $1 \div 3\%$.

Временная изменчивость коэффициентов калибровки в основном состоит в плавном уменьшении показаний прибора от 1 до 5% в год за счет изменения характеристик интерференционных фильтров. Поэтому все фотометры после полугодовой работы в полевых условиях возвращались в NASA для обязательной калибровки по принятой в NASA методике. В последние годы качество интерференционных фильтров существенно улучшилось и межкалибровочный период в настоящее время составляет один год. Для большинства полевых фотометров калибровка выполняется на интегральной сфере, а значения внеатмосферной спектральной яркости Солнца с погрешностью не хуже 1% определяются после взаимной калибровки с эталонными фотометрами в обсерватории Мауна Лоа. Измерения температурной чувствительности фотоприемников проводятся в управляемой температурной камере, что при обработке

гарантирует коррекцию полученных данных по температуре.

Точность данных определяется различными инструментальными, калибровочными атмосферными и методологическими погрешностями, которые влияют на точность определения аэрозольной оптической толщины. Как показано выше, инструментальные погрешности исправного полевого фотометра для практических целей незначительны. Изменчивость атмосферы определяется изменчивостью оптической толщины за время триплетных измерений, которая иногда может быть искажена облаками. Эта погрешность может быть вычислена и использована как средство блокировки искаженных облачностью результатов измерений. Обычно общая погрешность определения АОТ для вновь откалиброванного фотометра при свободных от облаков условиях измерений не превышает 1% для длин волн ≥ 440 нм и 2% - для более коротких длин волн.

Точность определения концентрации паров воды в столбе атмосферы ограничена значительной погрешностью определения внеатмосферной яркости Солнца для канала 936 нм и погрешностью взаимной калибровки с радиозондом, которая обычно не превышает 12%.

Наиболее трудно оценить точность определения яркости небосвода, поскольку в процессе сканирования полученные данные являются результатами одноразовых наблюдений. Поэтому погрешность определения яркости небосвода на момент калибровки принята $\sim 25\%$ для всех четырех каналов.

Обработка данных производится на основе общепринятых либо модифицированных алгоритмов расчета оптических характеристик аэрозоля. Процесс обработки состоит в анализе состояния прибора (напряжения батареи питания, температуры фотометрической головки и показания датчика осадков), блокировке искаженных облачностью данных [5], определении оптических параметров по измерениям яркости Солнца (например, аэрозольной оптической толщины АОТ, показателя Ангстрема и др.) и расчете спектральных яркостей небосвода. Последние используются для определения дополнительных оптических характеристик: спектральных индикатрис рассеяния, функции распределения частиц по

размерам в диапазоне $0,1 \div 15$ мкм, комплексного показателя преломления и спектрального альbedo однократного рассеяния.

Система архивирования и хранения данных позволяет пользователям получать через Интернет доступ к сырым или обработанным данным для исследований, анализа, и, если потребуется, их пересчета. В архиве хранятся данные трех качественных уровней обработки: уровень 1,0 обеспечивает расчет оптических характеристик аэрозоля по результатам предварительной калибровки в NASA; уровень 1,5 – базируется на данных уровня 1,0, но дополнительно используется процедура блокировки данных с помехами от облаков. Данные уровня 2,0 получают после вторичной калибровки в NASA путем коррекции тренда калибровочных коэффициентов за период между двумя калибровками [1].

Результаты измерений. Для демонстрации возможностей сети AERONET и автоматизированной системы контроля параметров атмосферы ниже приведены конкретные результаты исследований параметров аэрозоля в районе Севастополя летом 2006 г. В изучении оптических характеристик аэрозоля нас, прежде всего, интересовали задачи, связанные с интерпретацией спутниковых изображений Черного моря. Проблема связана с тем, что в отдельных акваториях Мирового океана качество определения био-оптических характеристик

морской воды спутниковыми методами все еще неудовлетворительно. Возможной причиной этого могут быть региональные отличия параметров преобладающих в регионе типов аэрозоля от хорошо изученных параметров морского аэрозоля. Сравнение судовых измерений аэрозольной оптической толщины с результатами спутниковых определений в Атлантическом океане показали, что спутниковые измерения обычно показывают более высокие оптические толщины [8]. Прямые сопоставления спутниковых данных с результатами измерений приборами сети AERONET в Черном и Средиземном морях также обнаружили в спутниковых определениях оптической толщины систематическое смещение в сторону увеличения (на ~ 20%) и очень существенное уменьшение значений параметра Ангстрема (примерно в 1,5 раза) [2].

Для оценки оптических и микрофизических характеристик аэрозоля за период с 1 июня по 31 августа 2006 г нами определялись спектральные оптические толщины аэрозолей $\tau(\lambda)$ на длине волны λ , показатели Ангстрема α и общее содержание водяных паров W (в сантиметрах осажденной воды). Статистические данные по этим параметрам приведены в таблице 2. Изменения $\tau(440)$, $\tau(500)$ и $\tau(870)$ во времени за указанный период показаны на рисунке 2.

Таблица 2 – Статистические данные параметров по выборке за период с 1.06.06 по 31.08.06 г (n = 3064).

Параметр	Аэрозольная оптическая толщина							Осажденная вода, см	Показатель Ангстрема, 440-870 нм
	1020	870	675	500	440	380	340		
Максимум	0,341	0,361	0,461	0,715	0,839	0,955	1,043	3,830	2,141
Минимум	0,015	0,022	0,030	0,056	0,070	0,082	0,096	1,117	0,457
Среднее значение	0,078	0,095	0,137	0,227	0,277	0,329	0,383	2,382	1,663
Станд.отклонение	0,050	0,054	0,068	0,098	0,114	0,136	0,153	0,527	0,301

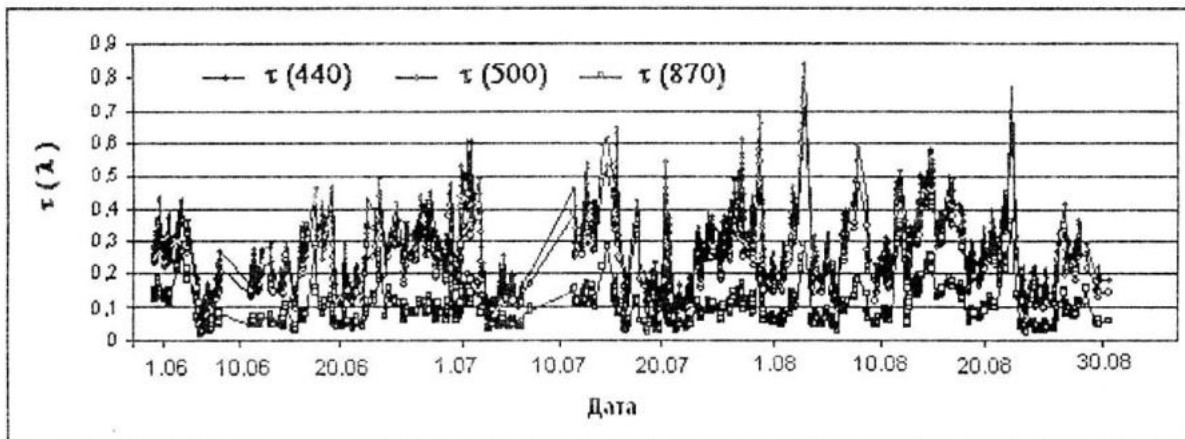


Рисунок 2 – Временная изменчивость аэрозольной оптической толщины в летний период 2006 г.

Рисунок 2 иллюстрирует текущие значения оптической толщины аэрозоля в трех спектральных участках за период июнь – август 2006 г в Севастополе. Отмечена значительная дневная изменчивость оптической глубины. Средние за летний период значения оптической толщины аэрозоля и стандартные отклонения уменьшаются с ростом длины волны. Максимальные значения $\tau(\lambda)$ наблюдались во второй половине июля и в первой половине августа. Спектральные зависимости аэрозольной оптической толщины по осредненным за летний период данным показаны на рисунке 3а. По среднемесячным данным, как показано на рисунке 3б, наиболее чистая и устойчивая атмосфера наблюдалась в июне. В июле значения $\tau(\lambda)$ в синей области спектра несколько увеличились, а в августе сохранился тот же спектральный ход, что и июне, но аэрозольная оптическая толщина по всему спектру увеличилась на ~20%.

Для параметризации спектрального хода оптической толщины аэрозолей обычно используют параметр Ангрестема α , определяющий спектральную зависимость аэрозольной оптической толщины в виде $\tau(\lambda) \sim \lambda^{-\alpha}$. Временная изменчивость показателя Ангрестема и содержания паров воды в июне показаны на рисунке 4. На этом рисунке обращают внимание экстремальные значения параметров α и W , измеренных 3 июня.

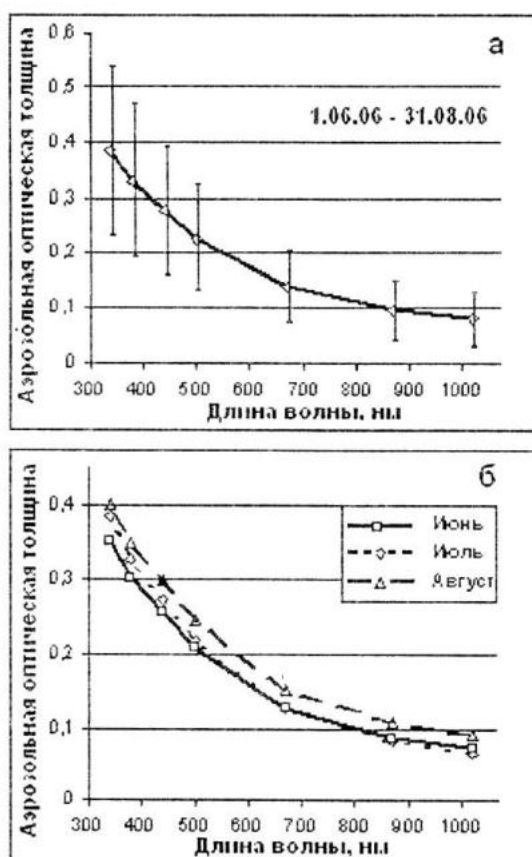


Рисунок 3 – Спектральная зависимость аэрозольной оптической толщины по осредненным данным: а – летний период, $N = 3064$; $\tau(500) = 0,227$; $\sigma = 0,098$; б – июнь ($N = 828$; $\tau(500) = 0,209$; $\sigma = 0,082$); июль ($N = 1109$; $\tau(500) = 0,219$; $\sigma = 0,102$); август – ($N = 1127$; $\tau(500) = 0,246$; $\sigma = 0,099$)

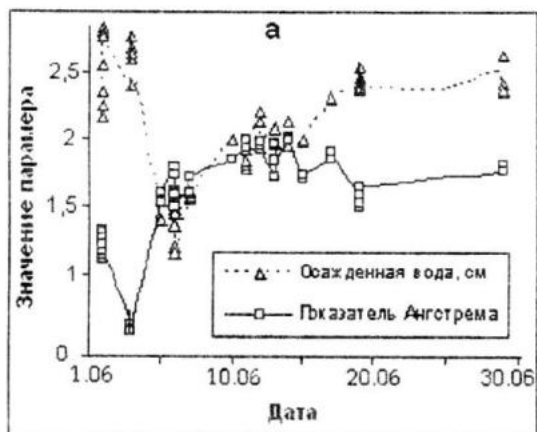


Рисунок 4 – Временной ход показателя Ангретрема и содержания паров воды в столбе атмосферы (осажденная вода, см) в июне 2006г

Результаты этих измерений сравнивались с параметрами аэрозоля, полученными 19 июня, когда параметры были близки к среднемесячным. Результаты сравнения сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Значения осредненных параметров за июнь, за 3 июня и за 19 июня.

Параметр	Период осреднения		
	Июнь (месяц)	3 июня (день)	19 июня (день)
$\langle \alpha \rangle$	1,66	0,59	1,65
σ_{α}	0,36	0,03	0,05
$\langle W \rangle$	2,44	2,53	2,50
σ_w	0,57	0,17	0,12
N	828	42	63

Анализ обратных семидневных траекторий переноса воздушных масс [10] показал, что воздушные массы формировались: 3 июня – на высотах 2 ÷ 5 км – в пустыне Сахара, 1 км – в Атлантике; 19 июня – на высоте 5 км – в Сахаре, на высотах 0,5 ÷ 2,5 км – в Атлантике.

На рисунке 5 показаны диаграммы рассеяния точек, представляющих положения текущих значений α , τ (440) и W за летний период.

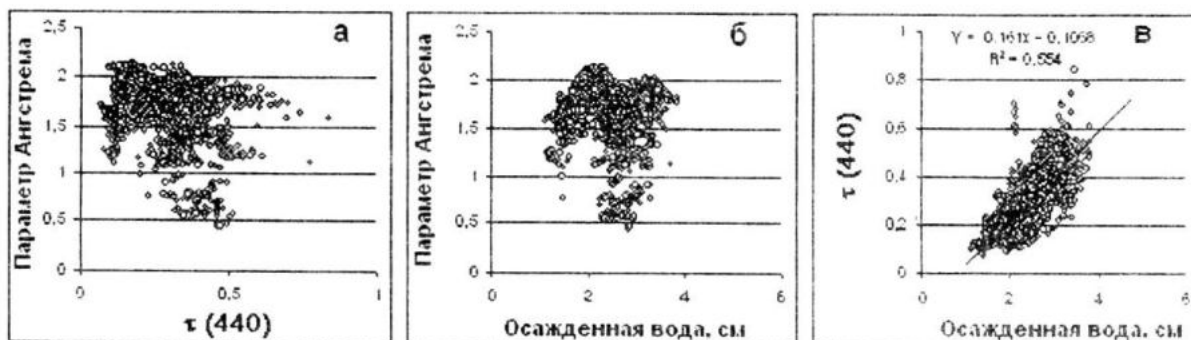


Рисунок 5 – Диаграммы рассеяния текущих значений параметра Ангретрема, аэрозольной оптической толщины и влагосодержания столба атмосферы в летний период 2006 г (N = 3064).

На диаграммах а и б (рисунок 5) явно выраженные корреляционные связи α с $\tau(440)$ и с W не обнаруживаются. В то же время диаграмма в показывает значимую регрессионную зависимость $\tau(440)$ от W. Эта зависимость с различной достоверностью аппроксимации R^2 хорошо известна из литературы.

Размеры частиц. Оптические параметры аэрозоля определяются размерами частиц, их структурой и формой. Алго-

ритмы расчетов (инверсий) для оценки этих параметров (распределение размеров частиц, комплексный показатель преломления и коэффициент отличия формы частиц от сферической) приведены в работах [3, 4]. Для изучения микрофизических параметров аэрозоля использовались результаты сканирования неба вдоль альмукантарата Солнца.

На рисунке 6 приведены среднемесячные спектры объемного распределения частиц аэрозолей за июнь, июль и август 2006 г. Объемное распределение определяется как

объем частиц аэрозолей в столбе атмосферы, отнесенный к поперечному сечению столба (размерность – $\text{мкм}^3/\text{мкм}^2$). К тонкой и грубой фракциям аэрозоля, согласно алгоритму обработки, относят частицы с радиусами $0,05 < r < 0,5$ мкм и $0,5 < r < 15$ мкм , соответственно. В среднемесячных бимодальных распределениях размеров частиц в летний период концентрация частиц тонкой фракции практически не изменялась, в то время как доля грубой фракции испытывала значительные вариации. Изменения в распределениях размеров частиц приводят к изменениям спектральной зависимости и амплитуды оптических глубин.

Для анализа изменчивости параметров аэрозоля в течение дня и сравнения микрофизических характеристик аэрозоля в экстремальной ситуации (3 июня) с характеристиками, близкими к среднемесячным (19 июня), на рисунке 7 показаны текущие распределения размеров частиц за эти числа. Преобладание в распределениях 3 июня грубой фракции привело к существенному уменьшению параметра Ангстрема до $\alpha \sim 0,6$.

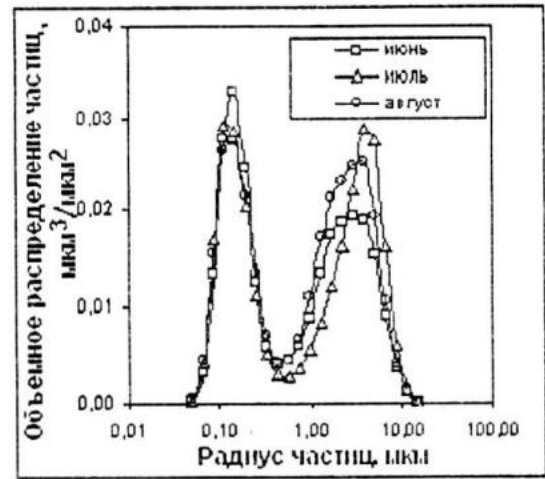


Рисунок 6 – Среднемесячные объемные распределения размеров частиц

В тонкой фракции доминировали частицы радиусом $0,09 \pm 0,11$ мкм , а в грубой – от 1,7 до 5,1 мкм . 19 июня наблюдались значительные вариации тонкой и грубой фракций. В первой – преобладали частицы радиусом $0,09 \pm 0,11$ мкм , а во второй – от 1,7 до 6,6 мкм . Очень сильно изменялось и соотношение фракций в распределении размеров частиц, что привело к существенным изменениям α .

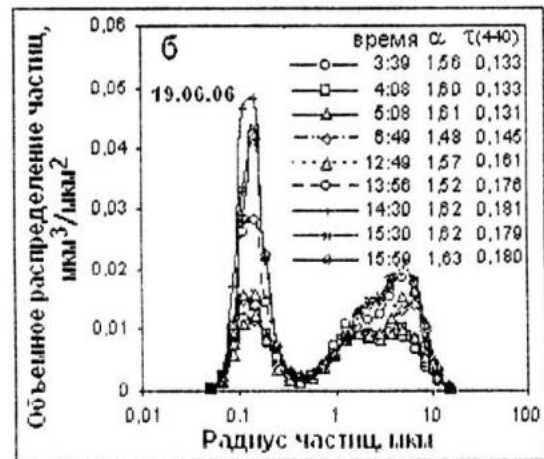
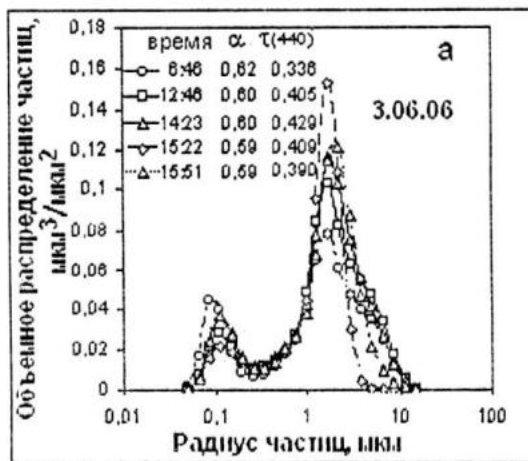


Рисунок 7 – Распределения объемных размеров частиц по измерениям 3 и 19 июня 2006 г. На графиках показаны: время измерений (по Гринвичу), параметр Ангстрема α и оптическая толщина в полосе $\lambda = 440$ нм

Заключение. Реализация концепции глобального изучения оптических характеристик атмосферы в сети AERONET от-

крывает новые перспективы для широкомасштабных исследований оптических и микрофизических параметров аэрозоля.

Автоматизированный автономный спектрофотометр CE-318 является надежным и высокоточным прибором для практически непрерывного мониторинга оптических параметров атмосферы. Стандартизованная обработка, хранение и передача данных пользователям в сети AERONET позволяет оперативно получать высококачественную и сопоставимую информацию об атмосфере.

Исследования параметров аэрозолей, выполненные в Севастополе летом 2006 г показали сильную изменчивость оптических характеристик атмосферы. Анализ полученных данных показал, что изменения оптических параметров атмосферы определяются концентрацией и составом аэрозоля, что в значительной мере влияет на оптическую толщину и изменчивость параметра Ангстрема. Регрессионная связь между оптической глубиной аэрозоля и влагосодержанием столба атмосферы, может быть использована для предсказаний оптической толщины по количеству осаждаемой воды. Инверсии яркости небосвода указывают, что изменения оптической толщины аэрозоля над Севастополем были вызваны, в основном, изменениями в концентрации грубой фракции аэрозоля. Ограниченный размер массива данных (5 месяцев), не позволяет выполнить более подробный анализ изменчивости параметров аэрозоля и определить их значения, типичные для региона Севастополя.

Признательность. Авторы благодарят коллег из Goddard Space Flight Center (NASA) за помощь в получении и установке прибора и дружественную поддержку наших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. B.N.Holben, T.F.Eck, I.Slutsker, D.Tanre, J.P.Buis, A.Setzer, E.Vermote, J.A.Reagan, Y.Kaufman, T.Nakajima, F.Lavenu, I.Jankowiak, and A.Smirnov. AERONET - A federated instrument network and data archive for aerosol characterization. - *Rem. Sens. Environ.*, vol.66, 1998. - P. 1-16.
2. М.Н.Домнич, Г.А.Толкаченко, С.Суетин, В.В.Суслин, Б.Н. Холбен. Сопоставление результатов наземных и спутниковых измерений оптических характеристик аэрозоля. - Настоящий сборник, С.....
3. O.Dubovik, and M.D.King. A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosol optical properties from Sun and sky radiance measurements. *J. Geophys. Res.*, vol.105, D16, 2000. - P. 20673-20696.
4. T.Nakajima, M.Tanaka, and T.Yamauchi. Retrieval of the optical properties of aerosols from aureole and extinction data. *Appl. Opt.* vol. 22, 1983. - P. 2951-2959.
5. A.Smirnov, B.N.Holben, T.F.Eck, O.Dubovik and I.Slutsker. Cloud screening and quality control algorithms for the AERONET data base. *Remote Sens. Environ.*, vol. 73, 2000. - P. 337 - 349.
6. V.V.Badaev, V.S.Malkevich, B.Pizi and G.Zimmernann. Determination of the optical parameter of the Earth's surface, of the atmosphere and of the ocean, from Interkosmos 20 and 21 satellites. *Sov. J. Remote Sens*, vol. 5(5), 1989. - P. 812 - 834.
7. A.Ångström. The parameters of atmospheric turbidity. *Tellus*, vol.16, No.1, 1964. - P. 64 - 75.
8. A.Smirnov, B.N.Holben, S.M.Sakerin, D.M.Kabanov, I.Slutsker, M.Chin, T.L.Diehl, L.A.Remer, R.Kahn, A.Ignatov, L.Liu, M.Mishchenko, T.F.Eck, T.L.Kuscera, D.Giles and O.V. Kopelevich. Ship-based aerosol optical depth measurements in the Atlantic Ocean: Comparison with satellite retrievals and GOCART model. *Geophys. Res. Lett.*, vol. 33, L14817, 2006. - P. 1 - 4.
9. A.Smirnov, B.N.Holben, O.Dubovik, R.Frouin, T.F.Eck and I.Slutsker. Maritime component in aerosol optical models derived from Aerosol Robotic Network data. *J. Geophys. Res.*, vol. 108 (D1), 2003. - P. 14-1 - 14-11.
10. M. R.Schoeberl, and P.A.Newman. A multiple-level trajectory analysis of vortex filaments. *J. Geophys. Res.*, vol. 100, 1995. - P. 25,801-25,815.