

Д.В.Калинская¹, С.М.Сакерин², Д.М.Кабанов²¹*Морской гидрофизический институт РАН, г.Севастополь*²*Институт оптики атмосферы им. В.Е.Зуева СО РАН, г.Томск***АНАЛИЗ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ
ЗА ЭКСПЕДИЦИОННЫЙ ПЕРИОД С 24 МАЯ ПО 5 ИЮНЯ 2016 Г.**

Выделены периоды высоких значений аэрозольной оптической толщины (АОТ) за экспедиционный период 24 мая – 5 июня 2016 г. Для этих дат был проведен сравнительный анализ основных оптических характеристик для черноморских станций *Eforie*, *Galata Platform* и *Gloria* международной сети *AERONET*, были построены графики спектрального распределения АОТ на 7 длинах волн. По данным измерений солнечным фотометром *SPM* был выявлен летний перенос со стороны пустыни Сахара. Для типизации аэрозоля для дней с экстремальными значениями основных оптических характеристик аэрозоля были проанализированы данные моделирования *Hysplit* и *Calypso*. Проанализированы спутниковые изображения *AQUA* и *TERRA MODIS*, представлен анализ динамики пространственной изменчивости, распределения частиц пыли по размерам за период исследований.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *Черное море, AERONET, солнечный фотометр SPM, пылевой аэрозоль, параметр Ангстрема, распределение частиц по размерам, Hysplit, Calypso*

Исследование оптических свойств аэрозоля важны для решения задач атмосферной коррекции, а также различных оценок радиационного воздействия, так как аэрозоль играет важную роль в процессе рассеяния и поглощения света [1]. При обработке данных спутниковых наблюдений учет аэрозоля имеет критически важное значение, так как его вклад в измеряемую яркость составляет (в видимой области спектра) около 90 % [2]. Существенная изменчивость, свойственная аэрозолю, обусловлена многообразием типов аэрозольных частиц (химического состава, размеров) и процессов их трансформации в атмосфере под влиянием многочисленных факторов – метеоусловий, атмосферной циркуляции, солнечной инсоляции, а также вида подстилающей поверхности как одного из важных источников аэрозоля. Значительные изменения аэрозольной оптической толщины (АОТ) во время вторжения в атмосферу большого количества пылевого аэрозоля существенно изменяют прозрачность атмосферы [2, 3], а также влияют на безопасность работы авиации [4]. Различные вещества, включая токсичные, могут переноситься с пылью на значительные расстояния, включая акваторию Черного моря, что является особо актуальным вследствие военного конфликта на территории Ближнего Востока. Поднятие большого количества аэрозоля аридного типа сильными восходящими потоками может способствовать переносу микробиоты на значительные расстояния, приводя также к распространению микроорганизмов, негативно влияющих как на растения, так и на человека [5]. Осаждение частиц аэрозоля на обширные водные поверхности может вносить вклад в формирование микрофлоры поверхностных вод. Поэтому, в связи с важностью роли пыли в экосистеме

© Д.В.Калинская, С.М.Сакерин, Д.М.Кабанов, 2017

океан – атмосфера, исследование ее оптических, микрофизических и пространственно-временных характеристик представляется весьма актуальным. Актуальность исследований атмосферных аэрозолей также обусловлена тем, что в приземном слое аэрозольные частицы являются загрязнителями атмосферы, а в глобальном масштабе – это один из важных факторов, который влияет на климат [1]. Комплексность подхода к изучению аэрозолей в нашем случае включает использование дистанционных методов измерений оптических характеристик аэрозоля, а также анализ источников аэрозольных частиц с использованием синоптического метода и вычислением обратных траекторий перемещения воздушных масс при помощи модели *Hysplit*.

Цель и задачи исследования:

1) исследовать основные оптические характеристики аэрозоля за период с 24 мая по 5 июня 2016 г посредством данных измерений солнечного фотометра *SPM*;

2) для дней с нетипичными значениями АОТ проанализировать данные модели *Hysplit* и *Calipso*, чтобы определить источник аэрозольной активности.

Аппаратура, сбор данных и методика их обработки. Портативный солнечный фотометр *SPM* [6] предназначен для измерений спектральной прозрачности атмосферы в экспедиционных и мобильных условиях (рис.1). Основные характеристики прибора приведены в таблице.

По данным измерений прозрачности атмосферы с помощью программных модулей информационной системы [7] рассчитываются спектральные АОТ и влагосодержание атмосферы. При нормальных условиях эксплуатации и калибровочных данных, погрешность определения АОТ составляет 0,01 – 0,02, а влагосодержания ~ 0,1 г/см².

Результаты. С 24 мая по 5 июня 2016 г. на территории океанографической платформы, расположенной на территории Черноморского гидрофизического полигона (пгт.Кацивели) с помощью фотометра *SPM* проводились измерения характеристик спектральной прозрачности атмосферы. Особый интерес представляют собой случаи аномальной изменчивости свойств аэрозоля, обусловленные дальним переносом замутненного воздуха из других регионов. Одним из примеров являются выносы аридного аэрозоля,

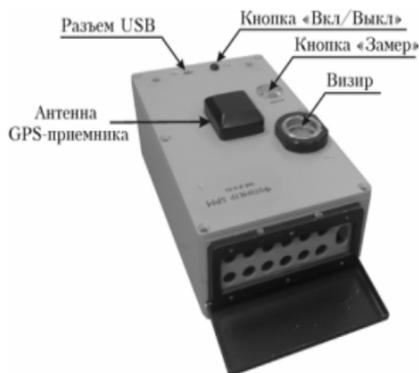
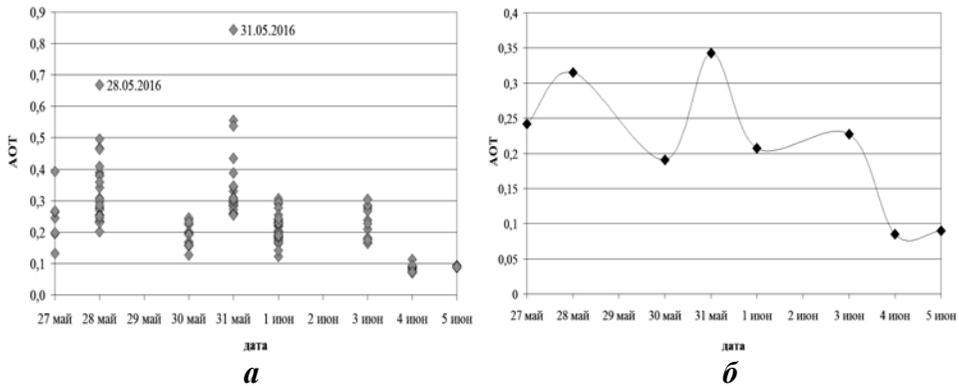


Рис.1. Внешний вид портативного солнечного фотометра *SPM*.

Т а б л и ц а . Основные характеристики солнечного фотометра *SPM*.

диапазон спектра, мкм	0,34 – 2,14
полуширина фильтров, мкм	0,006 – 0,015
количество каналов (свето-фильтров)	12
угол поля зрения, градусов	2 – 3
погрешность измерений сигналов, %	0,5
объем внутренней памяти, дней измерений	до 80
температура термостата, °С	25

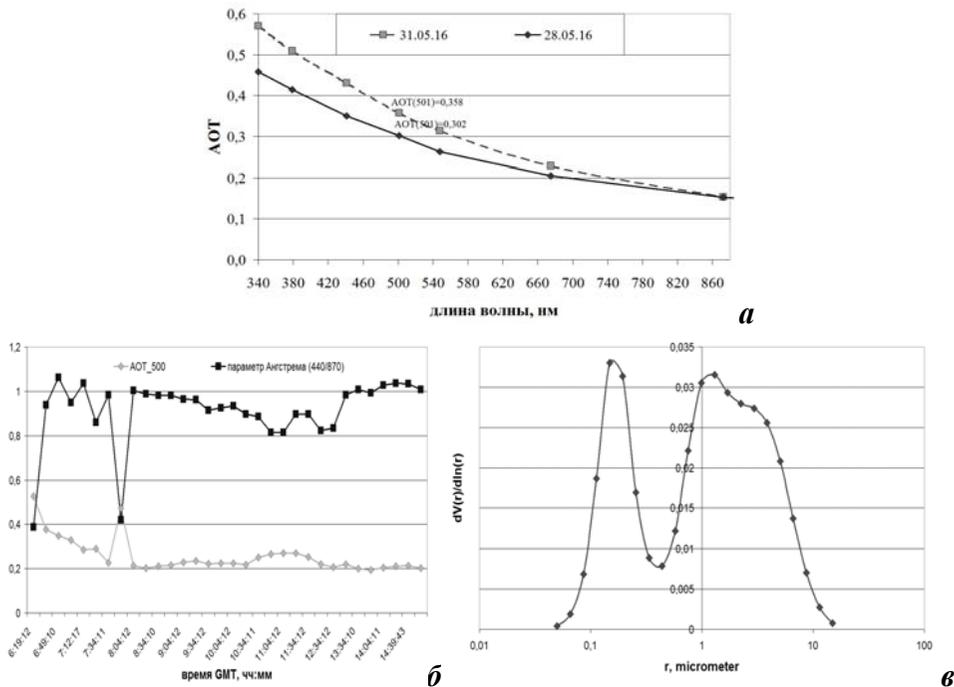


Р и с . 2 . Дневные (а) и межсуточные (б) вариации АОТ атмосферы на длине волны 501 нм в исследуемый период.

нетипичного для района наших исследований. Именно такая ситуация наблюдалась в конце мая 2016 г.

С 24 по 26 мая на территории океанографической платформы преобладала пасмурная погода, которая не позволила провести фотометрические наблюдения в начальный период роста замутнения. По этой причине данные измерений АОТ представлены лишь с 27 мая.

Результаты измерений (рис.2) выявили помутнение атмосферы 28 мая в середине дня ближе к полудню, а 31 мая с 11.00 над горизонтом наблюда-



Р и с . 3 . Спектральная зависимость АОТ за 28 и 31 мая 2016 г. для Качивели (а); изменение АОТ(500) и параметра Ангрстрема за 31 мая 2016 г. (б); распределение частиц по размерам за 31 мая 2016 г. для станции Eforie (в).

лась коричнево-красная дымка, которая распространялась пульсациями и постепенно окрасила в этот оттенок всю видимую часть небосвода. Анализ изменчивости значений AOT(501) показал завышенные относительно фоновых (AOT(500) = 0,22) значения за 28 и 31 мая 2016 г. (рис.2). Максимальные значения: за 28 мая 2016 г. AOT(501) = 0,67; за 31 мая 2016 г. AOT(501) = 0,84. Для данных дат были построены графики спектрального распределения AOT на 7 длинах волн (рис.3, а). Проведенный анализ значений AOT (500), параметра Ангстрема и распределения частиц по размерам за 31 мая 2016 г. (рис.3, б, в) для черноморской станции Eforie сети AERONET (<http://aeronet.gsfc.nasa.gov/>) подтвердил наличие крупных аэрозольных частиц и в этой части побережья Черного моря.

Для выяснения возможных причин повышенного замутнения атмосферы (коричнево-красной дымки) была рассмотрена дополнительная информация – не является ли это следствием присутствия в атмосфере аэрозоля аридного происхождения. Для этого типа аэрозоля не редки аномалии в спектральном распределении AOT в виде загибов в УФ или ИК областях. Для исследуемых дат такой аномалии обнаружено не было (рис.3).

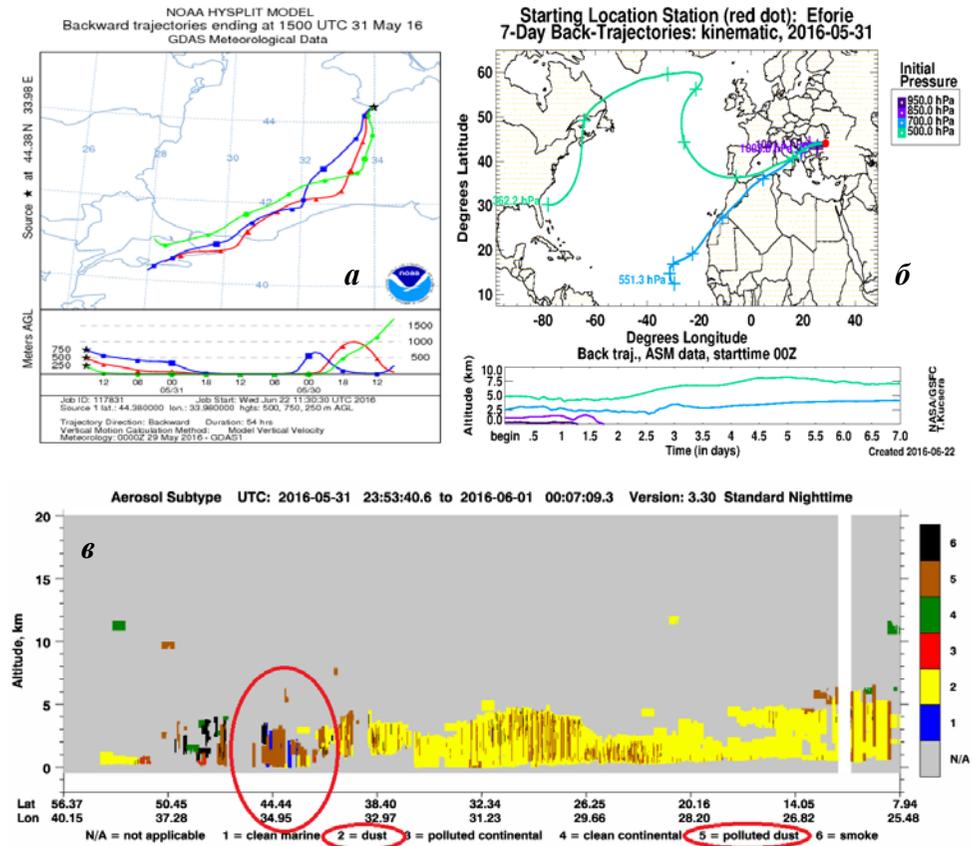


Рис. 4. Обратные траектории перемещения воздушных масс, полученные при помощи модели Hysplit (а); семидневные обратные траектории по данным AERONET (б); результаты моделирования типа аэрозоля Calipso за 31 мая 2016 г. (в).

На рис.4 для 31 мая 2016 г. представлены обратные траектории перемещения воздушных масс, полученные при помощи модели *Hysplit* и *AERONET* (рис.4, а, б). Как видно из рисунка по результатам моделирования семидневных обратных траекторий *AERONET* за 31 мая был зарегистрирован перенос воздушной массы со стороны пустыни Сахара на двух высотах: 700 и 500 гПа. Моделирование обратных траекторий *Hysplit* представлено не для 7 суток (как в *AERONET*), а за последние двое суток, т.е. с 29 по 31 мая, где также прослеживается юго-западный перенос.

Для 31 мая также был проведен анализ аэрозольной загрузки над регионом Черного моря по результатам моделирования *Calipso*. Разделение на типы аэрозоля по данным моделирования *Calipso* подтвердило наличие над выбранным регионом сильной загрузки пылевым аэрозолем, коагулирующим другие загрязняющие вещества, находящиеся 31 мая 2016 г. в атмосфере (рис.4, в).

Как 28 мая, так и 31 мая 2016 г. отмечено также явное преобладание западного переноса в приземном слое атмосферы (уровни 250, 500 и 750 м).

Выводы.

1. За период исследований с 24 мая по 5 июня 2016 г. были выявлены аномальные ситуации (28 и 31 мая) повышенных значений АОТ относительно фонового уровня, типичного для региона.

2. Основываясь на результатах измерений АОТ и вспомогательных данных (обратных траекторий движения воздушных масс, моделей *Hysplit*, аэрозольной загрузки по модели *Calipso* и визуальных наблюдений) можно сделать вывод, что аномальные ситуации были обусловлены вторжением аэрозоля аридного происхождения.

Работа выполнена при поддержке темы госзадания № 0827-2014-0011, комплексной программы фундаментальных исследований СО РАН (проект № IX.133-3).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kaufman Y.J., Holben B.N., Tanre D., et al.* Will aerosol measurements from Terra and Aqua polar orbiting satellites represent the daily aerosol abundance and properties // *Geophys. Res. Lett.*– 2000.– v.27.– P.3861-3864.
2. *Сакерин С.М., Козлович В.И.* О влиянии типа воздушных масс на аэрозольную оптическую толщину атмосферы Северной Атлантики // *Оптика атмосферы и океана.*– 2007.– т.20, № 8.– С.687-690.
3. *Christopher S.A., Wang J., Ji Q., Tsay S.-C.* Estimation of diurnal shortwave dust aerosol radiative forcing during PRIDE // *J. Geophys. Res.*– 2003.– v.108, D19, 8596. doi:10.1029/2002JD002787
4. *Dubovik O., King M.D.* A flexible inversion algorithm for the retrieval of aerosol optical properties from Sun and sky radiance measurements // *J. Geophys. Res.*– 2000.– v.105, D16.– P.20673-20696.
5. *Pope C.A.* Air pollution and health – Good news and bad // *N. Engl. J. Med.*– 2004.– 351.– P.1132-1134.
6. *Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Ростов А.П., Турчинович С.А., Князев В.В.* Солнечные фотометры для измерений спектральной прозрачности атмосферы в стационарных и мобильных условиях // *Оптика атмосферы и океана.*– 2012.– т.25, № 12.– С.1112-1117.

7. *Кабанов Д.М., Веретенников В.В., Воронина Ю.В., Сакерин С.М., Турчинович Ю.С.* Информационная система для сетевых солнечных фотометров // *Оптика атмосферы и океана.*– 2009.– т.22, № 1.– С.61-67.

Материал поступил в редакцию 01.12.2016 г.

D.V.Kalinskaya, S.M.Sakerin, D.M.Kabanov

ANALYSIS OF OPTICAL CHARACTERISTICS OF ATMOSPHERIC AEROSOL
FOR THE EXPEDITION PERIOD FROM MAY 24 TO 5 JUNE 2016

The periods of high aerosol optical thickness (AOT) were singled out from May 24 to June 5, 2016 when the expedition was conducted. For this period, a comparative analysis of the main optical parameters for the Black Sea stations Eforie, Galata Platform and Gloria of the international AERONET network was carried out; the spectral distributions of AOT at seven wavelengths were demonstrated. According to solar photometer SPM measurements, summer migration from the Sahara Desert was identified. To characterize the aerosol for days with extreme basic optical parameters of the aerosol, the modeling data of Hysplit and Calypso were analyzed. The satellite images AQUA and TERRA MODIS and the dynamics of spatial variability are analyzed, the distribution of dust particles by size for the research period is presented.

KEYWORDS: Black Sea, AERONET, solar photometer SPM, dust aerosol, Angstrom parameter, particle size distribution, Hysplit, Calypso