

СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ НАЗЕМНЫХ И СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОЗОЛЯ

М.Н.Домнич*, Г.А.Толкаченко*,
В.С.Суетин*, В.В.Суслин*
Б.Холбен**

*Морской гидрофизический институт
НАН Украины

г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: Gorin1983new@mail.ru

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

В работе приводятся результаты сравнения оптических параметров атмосферы, определенных по данным спутниковых и наземных измерений. Совместный анализ полученных данных показал, что значения оптической толщины аэрозоля и показателя Ангстрема, полученные из космоса, отличаются от результатов прямых измерений этих параметров с помощью солнечного фотометра.

Введение. Современные сканеры SeaWiFS и AquaMODIS осуществляют высококачественные измерения цвета океана [1, 2]. В последние годы существенно улучшились также и алгоритмы обработки измерений, в частности, алгоритмы атмосферной коррекции. Однако точность определения концентрации хлорофилла, содержащегося в морском фитопланктоне, по данным спутниковых измерений в ряде случаев остается неудовлетворительной [3, 4]. Для выявления источников погрешностей при обработке данных дистанционных наблюдений были проведены прямые сопоставления результатов наземных и спутниковых измерений основных оптических характеристик атмосферного аэрозоля, которые используются в алгоритмах коррекции влияния атмосферы – аэрозольной оптической толщины в красной области спектра и параметра Ангстрема.

Методика и аппаратура. Наземные измерения проводились по международной программе AERONET с помощью многоканального прибора Sun Photometer фирмы CIMEL модель CE-318 [5]. Спутниковые измерения выполнялись сканерами цвета океана SeaWiFS и AquaMODIS. Подготовлены массивы оптических характеристик

атмосферного аэрозоля по данным спутниковых и наземных наблюдений.

Данные наземных измерений аэрозольной оптической толщины на длине волны 870 нм (AOT(870)) и параметра Ангстрема в диапазоне 500 – 870 нм $\alpha(500 - 870)$ [6] получены в районе Севастополя (44,6°N; 33,5°E) за период с 14.05.06 по 5.09.06, и в районе греческой станции Forth Crete (35,3°N; 25,7°E) – с 2003 по 2005 год.

Спутниковые данные по AOT(865) и $\alpha(510)$ (SeaWiFS), а также AOT(869) и $\alpha(531)$ (AquaMODIS) [7] для Севастополя были усреднены по акватории, ограниченной координатами 44,5° – 44,6°N и 33,2° – 33,3°E. При этом мы вынуждены предполагать приблизительную однородность атмосферы на таких расстояниях.

Для Восточного Средиземноморья (станция Forth Crete) данные собирались по акватории, ограниченной координатами 35,3° – 35,4°N и 25,6° – 25,7°E, за период с 2003 по 2005 годы.

Проведена фильтрация, отбраковка и совмещение результатов спутниковых и наземных измерений. При сопоставлении данных производился жесткий отбор по соответствию временных рамок проведения измерений – разница во времени не превышала 9 минут.

Анализ полученных результатов. На рисунках 1, 2, 3 и 4 предоставлены графики временной зависимости AOT(870) и α наземных наблюдений и спутниковых данных для акватории вблизи Севастополя. По оси абсцисс на этих рисунках отложено количество дней от начала текущего года.

Сравнение результатов наземных и спутниковых измерений аэрозольной оптической толщины показало, что величины AOT(870) за весь период совместных измерений изменялись синхронно и находились одной области значений $\sim 0,02 - 0,38$ (рис. 1, 2). Однако значения AOT по спутниковым данным несколько превышают величины наземных наблюдений AERONET, особенно это заметно для данных SeaWiFS.

При сравнении оценок параметра Ангстрема были обнаружены существенные различия между результатами спутниковых и наземных определений. Из рисунков 3 и 4 видно, что как для AquaMODIS так и для SeaWiFS значения показателя Ангстрема ниже значений, полученных по результатам



Рисунок 1 – Результаты сравнения АОТ(870) сети AERONET с данными AquaMODIS

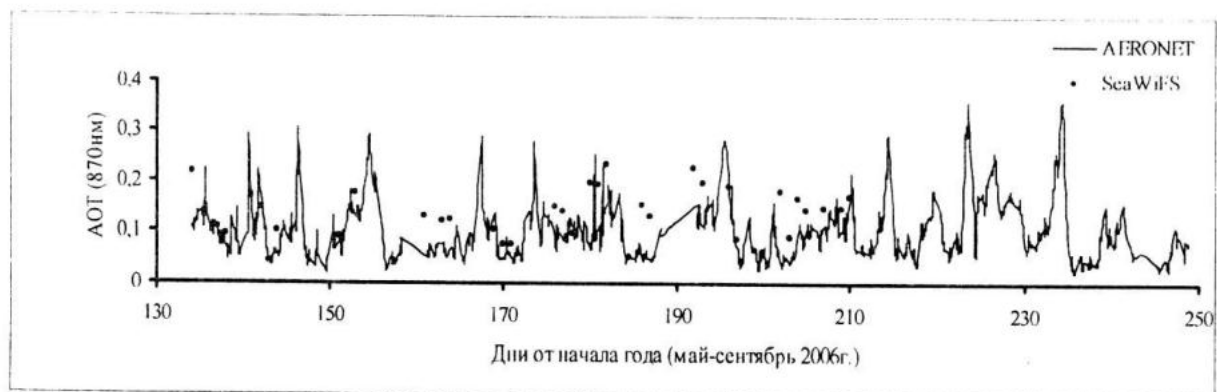


Рисунок 2 – Результаты сравнения АОТ(870) сети AERONET с данными SeaWiFS



Рисунок 3 – Результаты сравнения значений $\alpha(500 - 870)$ сети AERONET с данными AquaMODIS

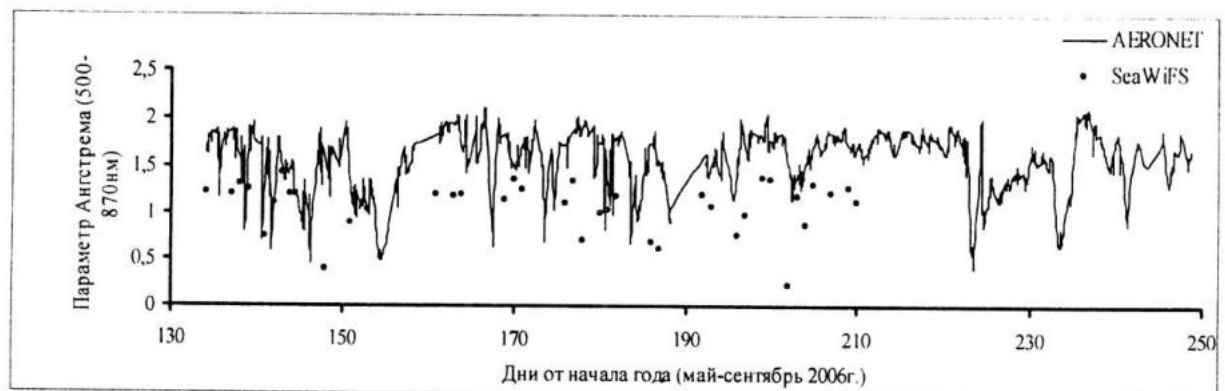


Рисунок 4 – Результаты сравнения значений $\alpha(500 - 870)$ сети AERONET с данными SeaWiFS

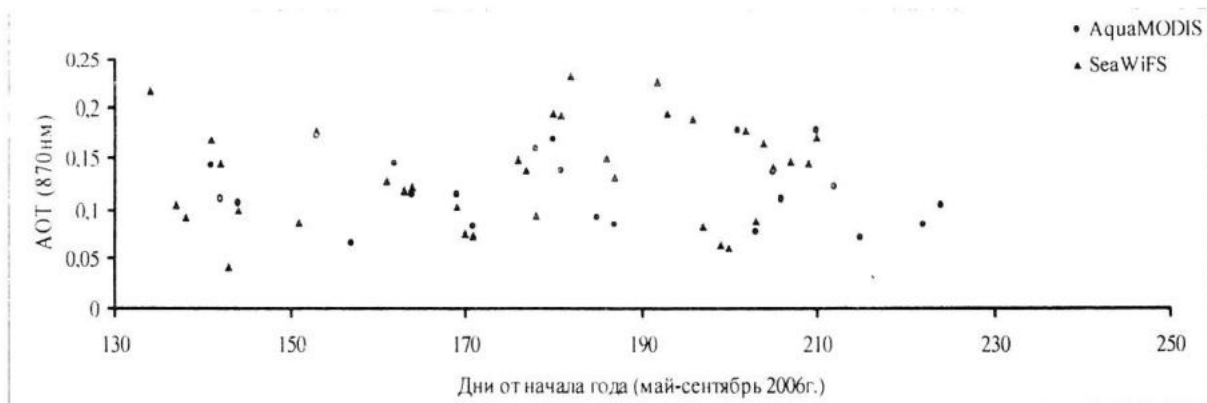


Рисунок 5 – Результаты сравнения AOT по данным AquaMODIS и SeaWiFS

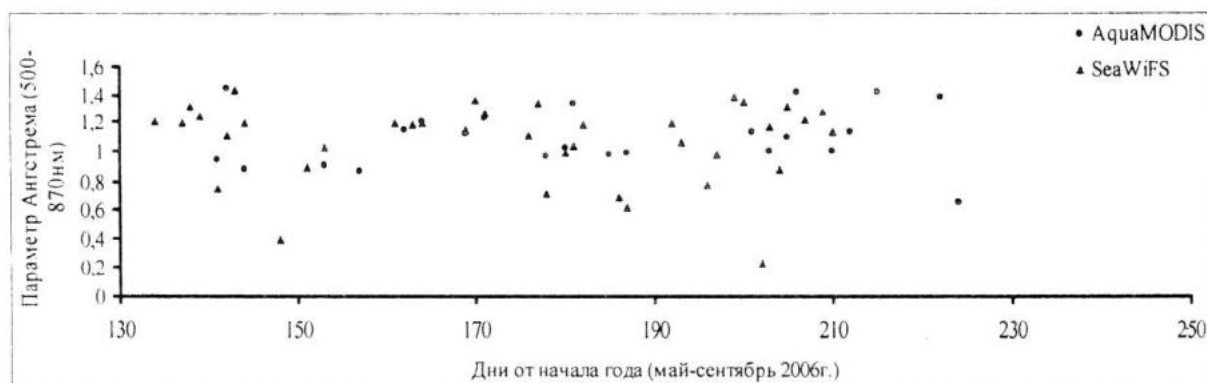


Рисунок 6 – Результаты сравнения параметра Ангрстрема по данным AquaMODIS и SeaWiFS

наземных наблюдений. Так, значения параметра Ангрстрема, рассчитанные по данным измерений Sun Photometer, имеют значения примерно в полтора раза больше таковых, вычисленных по спутниковым данным.

Была выполнена проверка сопоставимости параметров, полученных по данным обоих космических сканеров. Сравнение показало, что различие между спутниковыми данными минимально (рис 5, 6). Так, например, значения AOT(870) и $\alpha(500 - 870)$ по данным SeaWiFS и AquaMODIS изменяются в одинаковых пределах 0,04 – 0,23 и 0,2 – 1,5 соответственно. Возможными причинами расхождений, могут быть различные углы визирования сканеров и значительные сдвиги во времени пролетов спутников. В целом графики сравнения этих данных имеют схожую структуру. Таким образом, при изучении оптических характеристик аэрозоля можно использовать данные как AquaMODIS так и SeaWiFS.

Сопоставление результатов спутниковых и наземных измерений удобнее проводить с использованием графиков, где по оси абсцисс отложены значения параметра по данным прямых измерений наземного фо-

тометра, а по оси ординат – вычисленные значения того же параметра по результатам сканирования системы океан-атмосфера из космоса. Если значения параметра совпадают или имеют близкие значения, точки на графике будут группироваться вдоль линии равных значений параметра, проведенной под углом 45°.

Из рисунка 7 видно, что при таком сопоставлении данных аэрозольные оптические толщины по спутниковым наблюдениям отличаются от данных наземных измерений в сторону больших значений и превышают последние на 20 – 30%, особенно для данных SeaWiFS. Эти различия не столь велики и могут быть объяснены, например, асинхронностью измерений, неоднородностями атмосферы или различными углами распространения падающего и восходящего потоков излучения. Однако значения параметра Ангрстрема при спутниковых измерениях имеют существенно заниженные значения по отношению к данным наземных измерений (рис. 8). Так для наземных измерений значения $\alpha(500 - 870)$ лежат в пределах 1,05 – 2,10; а для AquaMODIS и для SeaWiFS – 0,25 – 1,48.

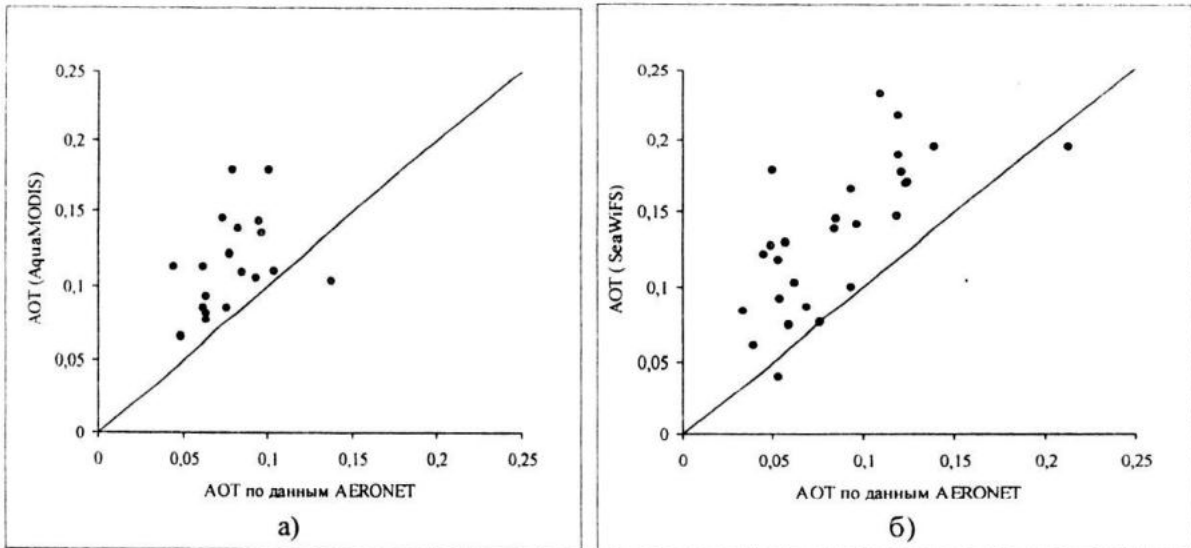


Рисунок 7 – Сопоставление данных наземных (AERONET) и спутниковых измерений AOT(870), а) для AquaMODIS, б) для SeaWiFS (точки – значения AOT, прямая – линия равных значений AOT)

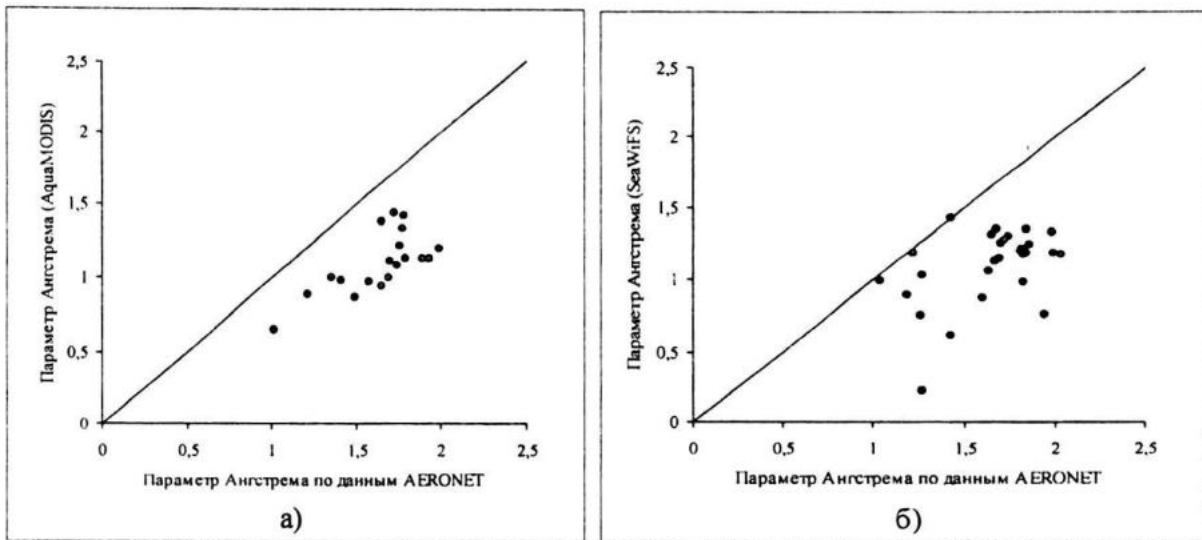


Рисунок 8 – Сопоставление данных наземных (AERONET) и спутниковых измерений $\alpha(500 - 870)$, а) для AquaMODIS, б) для SeaWiFS (точки – значения α , прямая – линия равных значений α)

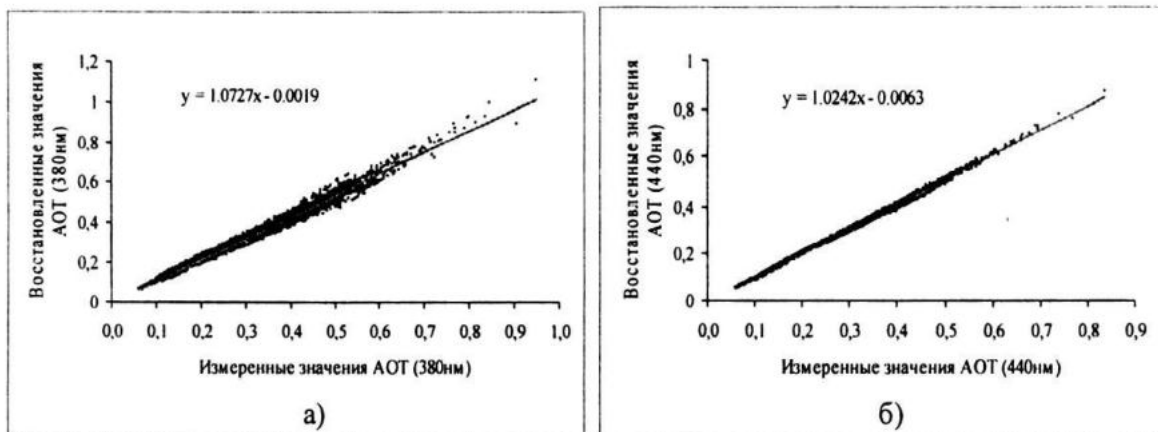


Рисунок 9 – Результаты восстановления AOT: а) на длине волны 380 нм, б) на длине волны 440 нм

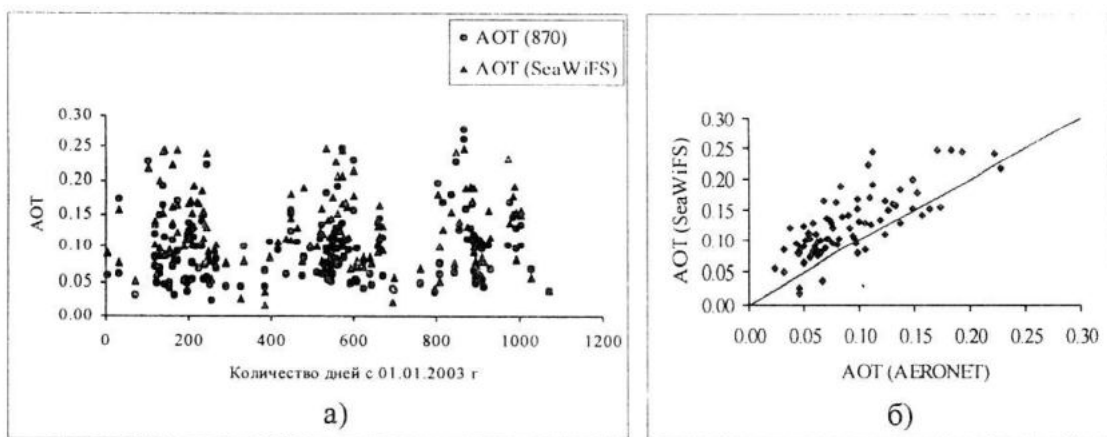


Рисунок 10 – Сопоставление данных наземных (AERONET) и спутниковых (SeaWiFS) измерений AOT(870) за период с 2003 по 2005 год (станция FORTH CRETE, Греция): а) временная зависимость AOT(870), б) сравнение данных AOT(870)

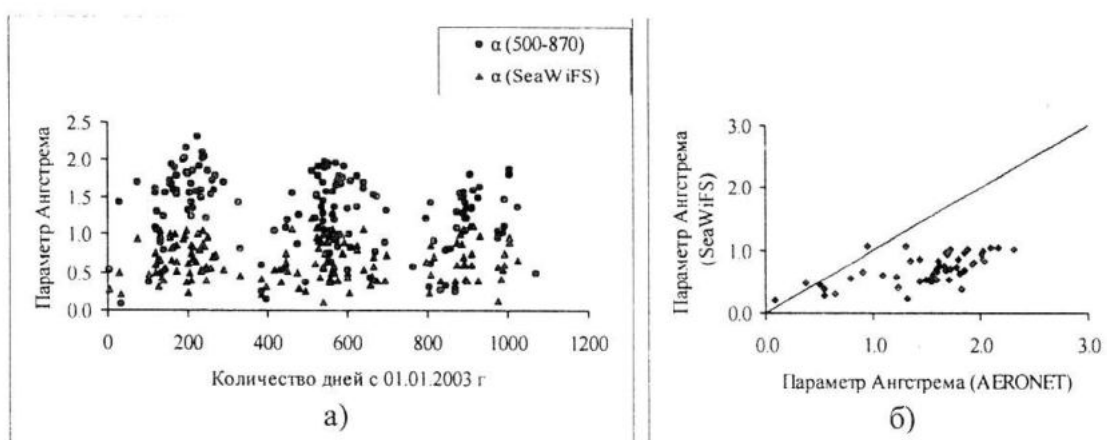


Рисунок 11 – Сопоставление данных наземных (AERONET) и спутниковых (SeaWiFS) измерений $\alpha(500 - 870)$ за период с 2003 по 2005 год (станция FORTH CRETE, Греция): а) временная зависимость $\alpha(500 - 870)$, б) сравнение данных $\alpha(500 - 870)$

Можно предположить, что недостаточная адекватность алгоритмов оценки параметра Ангстрема по спутниковым данным с использованием существующих методов коррекции влияния атмосферы может быть одной из причин значительных погрешностей определения спектрального хода аэрозольной оптической толщины, а, следовательно, и спектрального состава выходящего из моря излучения.

Чтобы удостовериться в правильности описания спектров AOT с помощью параметра Ангстрема был использован массив данных AERONET по Севастополю. Проверялась возможность восстановления спектров AOT с использованием лишь двух параметров: $\alpha(500 - 870)$ и AOT(870).

Значения AOT для всех спектральных участков прибора Sun Photometer в диапазоне длин волн 340 – 1020 нм восстанавливались по формуле:

$$\tau(\lambda) = \tau(\lambda_0) \cdot (\lambda_0/\lambda)^\alpha,$$

где $\tau(\lambda)$ – AOT на произвольной длине волны; $\tau(\lambda_0)$ – AOT на фиксированной длине волны; λ и λ_0 – соответствующие длины волн; α – параметр Ангстрема.

Параметр Ангстрема для результатов наземных измерений рассчитывался для длин волн в диапазоне 500 – 870 нм, что соответствует значениям α , полученных по спутниковым данным. При таких значениях параметра Ангстрема для наземных измерений были восстановлены AOT на длинах волн: 340, 380, 440, 675 и 1020 нм. На рисунке 9 показаны результаты восстановления AOT в участках спектра на 380 и 440 нм, наиболее удаленных от полосы 870 нм. Из рисунка видно, что исходные и восстановленные данные довольно хорошо согласуются (коэффициент корреляции превышает 0,98). Таким образом, параметр

Ангстрема, определяемый по массиву данных AERONET для Севастополя, достаточно хорошо описывает спектральные особенности аэрозольной оптической толщины. Следовательно, использование параметра Ангстрема и АОТ в ближней ИК-области спектра вполне применимо при оценке спектрального хода АОТ в алгоритмах коррекции влияния атмосферы.

Предоставленные выше расчеты проделаны для сравнительно небольшого отрезка времени (4 месяца), в связи с чем, сопоставления данных по АОТ и α были проведены для Средиземного моря по данным за 1999-2006 года. На рисунках 10 и 11 показаны результаты сопоставления данных наземных (AERONET) и спутниковых (SeaWiFS) измерений АОТ(870) за период с 2003 по 2005 год (станция Forth Crete, Греция). По этому региону полученные результаты полностью подтвердили наши выводы – для регионов Черного и Средиземного морей значения параметра Ангстрема по данным спутниковых измерений существенно занижены по сравнению с данными наземных измерений.

Заключение. В результате проделанной работы было выяснено, что значения АОТ вблизи длины волны 870 нм по спутниковым данным в целом определяется удовлетворительно и лишь несколько завышены по сравнению с данными наземных наблюдений. Указанное различие может быть объяснено асинхронностью измерений и различными углами визирования. Значения параметра Ангстрема по данным спутниковых и наземных измерений значительно различаются – значения α для спутниковых измерений во всех случаях существенно занижены.

Авторы благодарят проект SeaWiFS

(SeaWiFS Project), Годдардский центр данных (the Goddard Earth Sciences Data and Information Services/Distributed Active Archive Center at the Goddard Space Flight Center) и проект AERONET (Project AERONET) за предоставленные данные.

ЛИТЕРАТУРА

1. McClain C.R., Feldman G.C., Hooker S.B. An overview of the SeaWiFS project and strategies for producing a climate research quality global ocean bio-optical time series//Deep-Sea Research, Part II. – 2004. – Vol. 51. – P. 5–42.
2. Esaias, W.E., Abbott, M.R., Barton, I., et al. An overview of MODIS capabilities for Ocean Science observations // IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing. –1998. – vol. 36. – P. 1250–1265.
3. Schollaert S.E. et al. Influence of dust and sulfate aerosols on ocean color spectra and chlorophyll a concentrations derived from SeaWiFS off the U.S. east coast // Journal of Geophys. Res. – 2003. – Vol. 108, No. C6.
4. Суетин В.С., Суслин В.В., Кучерявый А.А. и др. Особенности интерпретации данных дистанционных оптических наблюдений Черного моря с помощью прибора SeaWiFS // Морской гидрофиз. журнал. – 2001. – № 2. – С. 71–80.
5. B. Holben, T. Eck, I. Slutsker, D. Tanre et al. AERONET – A Federated Instrument Network and Data Archive for Aerosol Characterization. Remote Sens. Environ. 66. – 1998. – P. 1–16.
6. B. Holben.: <http://aeronet.gsfc.nasa.gov/>
7. Feldman, G. C., C. R. McClain, Ocean Color Web, SeaWiFS / AquaMODIS, NASA Goddard Space Flight Center. Eds. Kuring, N., Bailey, S. W.: <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>