

И.А. Горчакова, П.П. Аникин, Е.В. Ромашова

## Оценки аэрозольного радиационного форсинга по данным измерений на Звенигородской научной станции ИФА РАН в марте 2004 г.

*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва*

Поступила в редакцию 7.02.2006 г.

Рассматривается изменчивость оптической толщины, альbedo однократного рассеяния, фактора асимметрии аэрозоля по результатам измерений при ясном небе в марте 2004 г. на Звенигородской научной станции Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН. Получена оценка средних за март значений аэрозольного радиационного форсинга на границах атмосферы в коротковолновой области спектра в безоблачной атмосфере. Оптические параметры аэрозоля и средние за март значения аэрозольного радиационного форсинга, полученные из измерений 2004 г. и по данным звенигородских аэрозольно-облачно-радиационных экспериментов 2001 и 2002 гг., сравниваются между собой.

На Звенигородской научной станции (ЗНС) Института физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук (ИФА РАН) начиная с 2001 г. проводятся систематические наземные измерения оптических и радиационных параметров атмосферы. В настоящей статье рассматривается изменчивость оптической толщины, альbedo однократного рассеяния, фактора асимметрии аэрозоля в видимом диапазоне солнечного спектра для марта 2004 г. при условии безоблачного неба. Значения указанных аэрозольных характеристик в коротковолновой части спектра, рассчитанные для марта по данным мониторинга 2004 г. и по данным звенигородских аэрозольно-облачно-радиационных экспериментов (ЗАОРЕХ) 2001 и 2002 гг., сравниваются между собой.

Оптические и микрофизические параметры аэрозоля определялись из радиационных и фотометрических измерений. С помощью прибора MFRSR (Multi-Filter Rotating Shadowband Radiometer) измерялись прямые и диффузные потоки солнечного излучения на 5 длинах волн 414,5; 497,3; 613,5; 671,6; 868,8 нм. Данные MFRSR использовались для оценки оптических толщин и альbedo однократного рассеяния аэрозоля. По спектральным оптическим толщинам аэрозоля в видимом диапазоне определялись для каждого момента измерения оптическая толщина аэрозоля в эффективной длине волны 550 нм  $\tau_{550}$  и параметр Ангстрема  $\alpha$ . Измерительные приборы и методы, используемые для восстановления оптических и микрофизических параметров аэрозоля по данным радиационных измерений, достаточно подробно описаны в [1].

Восстановленные параметры аэрозоля использовались для определения коротковолнового аэрозольного радиационного форсинга (АРФ). Нами оценивался АРФ на границах атмосферы как мгно-

венный (измерения проводились каждые 2 мин), так и средний в безоблачные периоды в течение дневного времени суток и всего месяца. Величины АРФ определялись как разность соответствующих эффективных интегральных потоков, рассчитанных с учетом аэрозоля и без него. Интегральные радиационные потоки в коротковолновой части спектра вычислялись с помощью метода  $\delta$ -Эддингтона решения уравнения переноса излучения с использованием интегральной функции пропускания атмосферы [2]. Эта методика учитывает молекулярное рассеяние, молекулярное поглощение атмосферными газами  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $O_3$ ,  $O_2$  и ослабление солнечной радиации аэрозольными и облачными частицами.

Оценки АРФ получены для безоблачной атмосферы. При отсутствии визуальной оценки наличие облаков определялось следующим способом. Оценивалось отношение оптических толщин аэрозоля на длинах волн 868,8 и 497,3 нм (рис. 1). Если значения этого отношения больше 0,7, то предполагалось наличие полупрозрачных облаков на диске солнца. Ясно, что по этому критерию возможно ложное отношение к облачной ситуации с малыми параметрами Ангстрема. Другим критерием наличия облачности могут служить синхронные и одинаковые по величине вариации оптической толщины на пяти длинах волн (рис. 1). Основой такого подхода (в принципе, не бесспорного) является то, что размер облачных частиц, как правило, больше размера аэрозольных частиц и больше длин волн рассматриваемого диапазона (497,3–868,8 нм). Ослабление солнечной радиации облаками в среднем в видимой и ближней ИК-областях спектра близко к нейтральному в отличие от селективного (избирательного) характера ослабления аэрозодем солнечной радиации.

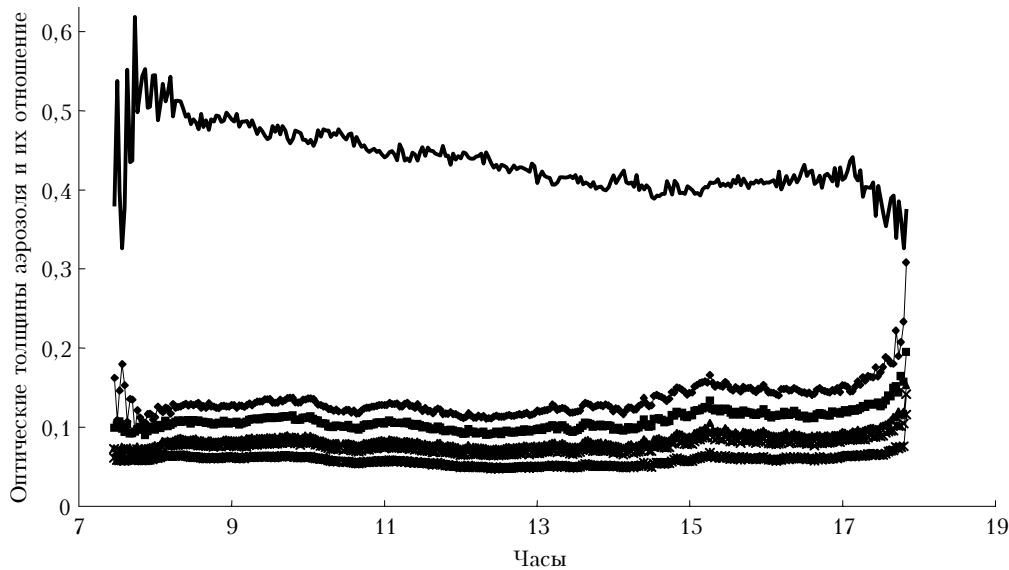


Рис. 1. Оптические толщины аэрозоля в видимом диапазоне 14 марта 2004 г. Отношение оптических толщин аэрозоля на длинах волн 868,8 и 497,3 нм: —◆— 414,5; —■— 497,3; —▲— 613,5; —×— 671,6; —\*— 868,8; — 868,8/497,3

Из рис. 1 видно, насколько стабильным было состояние атмосферы 14 марта 2004 г. Безоблачные условия реализовывались практически в течение всего светового дня.

В табл. 1 представлены строго отобранные временные периоды и дни марта 2004 г., когда наблюдалась безоблачная ситуация. Там же дана информация об оптических параметрах аэрозоля на длине волны 550 нм.

В табл. 1 указаны также значения альbedo поверхности  $A_s$  (по данным MODIS), влагосодержания атмосферы  $w$  (см) и величины аэрозольного радиационного форсинга на поверхности —  $APФ(0)$ , на верхней границе атмосферы —  $APФ(\infty)$  и поглощение атмосферы —  $APФ(\infty) - APФ(0)$ .

В марте 2004 г., по нашим оценкам (табл. 1) величина  $\tau_{550}$  изменялась в пределах от 0,06 до 0,16. Как правило, значение оптической толщины аэрозоля на длине волны 550 нм в течение марта 2004 г. колебалось вблизи 0,10. Пятого марта величина  $\tau_{550}$  изменялась в диапазоне от 0,13 до 0,16 в течение безоблачного периода наблюдения. Эти значения оптической толщины  $\tau_{550}$  характерны для фонового режима аэрозоля, наблюдаемого на ЗНС.

Параметр Ангстрема  $\alpha$  по нашим оценкам в марте 2004 г., исключая 5 марта, был немногим больше единицы. Значение параметра Ангстрема за период наблюдения 5 марта не превышало 1,40.

В марте 2001—2002 гг. минимальное значение  $\alpha$  равнялось 1,36, а максимальное — 1,60. Величины альbedo однократного рассеяния аэрозоля на длине волны 550 нм  $\omega_{550}$  в марте 2004 г. (исключая 5 марта, 0,51—0,81) были заметно меньше, чем величины  $\omega_{550}$ , полученные по данным ЗАОРЕХ-2001 и ЗАОРЕХ-2002 (0,86—0,91). Альbedo однократного рассеяния аэрозоля  $\omega_{550}$  5 марта равнялось 0,87.

Низкие значения альbedo однократного рассеяния аэрозоля, характерные для безоблачных периодов марта 2004 г., частично можно объяснить большими ошибками, возникающими при использовании метода D-D [1] при малых значениях оптических толщин аэрозоля в видимом диапазоне.

Величины фактора асимметрии аэрозоля  $g_{550}$  были заметно больше в марте 2004 г., чем в марте 2001, 2002 гг. Минимальное значение фактора асимметрии в марте 2004 г., по нашим оценкам, равнялось 0,60, тогда как в марте 2001, 2002 гг. — 0,52. Величина интегрального альbedo поверхности  $A_s$  рассчитывалась по значениям спектрального альbedo поверхности с учетом соответствующей солнечной составляющей. Спектральные альbedo поверхности определялись по данным спутниковых радиационных измерений с использованием прибора MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer) и были любезно предоставлены нам коллегой из Канадского центра дистанционного зондирования А.П. Трищенко.

Таблица 1

Оптическая толщина  $\tau_{550}$ , альbedo однократного рассеяния  $\omega_{550}$ , фактор асимметрии  $g_{550}$  аэрозоля на длине волны 550 нм, параметр Ангстрема  $\alpha$ , средние за каждый период наблюдения;  $n$ —количество измерений за период;  $w$  — влагосодержание атмосферы

Дни	Часы	$\tau_{550}$	$\omega_{550}$	$g_{550}$	$\alpha$	$A_s$	$n$	$w$ , см	$APФ(0)$	$APФ(\infty)$	$APФ(\infty) - APФ(0)$
05.03.2004	14:08—15:40	0,138	0,870	0,60	-1,40	0,23	39	1,90	-21,9	-5,5	16,4
11.03.2004	12:58—17:52	0,069	0,805	0,63	-1,03	0,21	133	0,85	-12,4	-3,1	9,3
14.03.2004	9:30—17:00	0,089	0,79	0,63	-1,08	0,20	255	1,06	-34,6	-6,6	28
29.03.2004	15:40—18:00	0,087	0,64	0,62	-1,00	0,11	71	0,07	-40,4	-10,6	29,8
30.03.2004	12:46—17:48	0,085	0,51	0,63	-1,02	0,11	116	0,06	-42,2	-7,7	34,4

На рис. 2 для района Звенигорода показан временной ход спектрального альbedo поверхности в течение первой половины 2004 г.

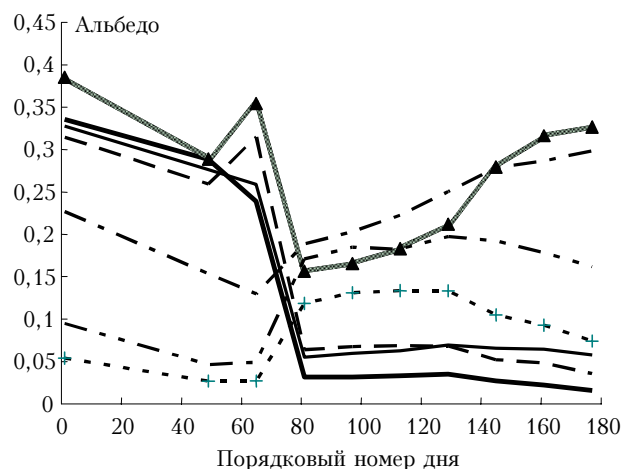


Рис. 2. Спектральное альbedo поверхности в коротковолновом диапазоне спектра: — 469; - - - 555; - · - 645; ···· 858; - - - 1240; - · - 1260; - · - · 2130

Интегральное альbedo поверхности  $A_s$  в марте 2004 г., по нашим оценкам, изменялось от 0,23 (присутствовал снег в начале месяца) до 0,11. При расчете интегральных потоков солнечного излучения по данным измерений в марте 2001 г. использовалось  $A_s$ , равное 0,40, в марте 2002 г.  $A_s$ , равное 0,20 и 0,15 (приведенные ниже оценки АРФ получены при  $A_s = 0,20$ ) [3]. По нашим оценкам (табл. 2) средние за безоблачные дни и периоды марта 2004 г. значения АРФ на поверхности равны  $-30 \text{ Вт/м}^2$ , на верхней границе атмосферы (ВГА)  $-6 \text{ Вт/м}^2$ , поглощение атмосферы  $24 \text{ Вт/м}^2$ .

Для марта 2001 и 2002 гг. средние значения величин аэрозольного радиационного форсинга соответственно равны на поверхности  $-12$ ,  $-32 \text{ Вт/м}^2$ , на верхней границе атмосферы  $1$ ,  $-10 \text{ Вт/м}^2$ . Полученные количественные оценки АРФ на верхней границе атмосферы для марта 2004 г. согласуются с соответствующими оценками, приведенными в [4] для районов с климатом, аналогичным климату средней полосы России. Наши оценки АРФ на поверхности по сравнению с соответствующими оценками из [4] несколько выше. Отметим, что значения АРФ, приведенные в [4], получены на более

Таблица 2

Значения оптических параметров аэрозоля, влагосодержания атмосферы  $w$ , см, альbedo поверхности  $A_s$ , параметра Ангрстрема  $\alpha$ , средние значения величин АРФ( $z$ ),  $\text{Вт/м}^2$  ( $z$  — высота) за март 2001, 2002, 2004 гг. при ясном небе

Параметр	Год		
	2001	2002	2004
$\tau_{550}$	0,12—0,19	0,03—0,32	0,06—0,16
$\omega_{550}$	0,86—0,87	0,87—0,91	0,51—0,87
$g_{550}$	0,53—0,59	0,52—0,59	0,60—0,63
$\alpha$	-1,40—-2,10	-1,95—-2,30	-1,00—-1,40
$A_s$	0,40	0,20	0,11—0,23
$w$ , см	0,28—0,35	0,48—0,65	0,63—1,90
АРФ(0)	-12	-32	-30
АРФ( $\infty$ )	1	-10	-6
АРФ( $\infty$ )-АРФ(0)	13	22	24

широком материале (март—май). К тому же величины интегрального альbedo поверхности, используемые в расчетах по материалам 2004 г., небольшие.

Авторы выражают глубокую признательность М.А. Свириденкову за предоставление оптических параметров аэрозоля и А.П. Трищенко за предоставление спектральных величин альbedo поверхности.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 04-05-64579, 05-05-65038).

1. Тарасова Т.А., Горчакова И.А., Свириденков М.А., Аникин П.П., Ромашова Е.В. Оценка величины коротковолнового радиационного форсинга дымового аэрозоля с использованием данных радиационных измерений на ЗНС ИФА с мая по сентябрь 2002 года // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2004. Т. 40. № 4. С. 514—524.
2. Горчакова И.А. Параметризация интегральных потоков солнечного излучения // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2000. Т. 36. № 3. С. 376—386.
3. Горчакова И.А., Мохов И.И., Рублев А.Н. Влияние аэрозоля на радиационный режим безоблачной атмосферы по данным Звенигородских аэрозольно-облачно-радиационных экспериментов // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2005. Т. 41. № 4. С. 496—510.
4. Yu H., Kaufman Y.J., Chin M., Feingold G., Remer L.A., Anderson T.L., Balkanski Y., Bellouin N., Boucher O., Christopher S., DeCola P., Kahn R., Koch D., Loeb N., Reddy M.S., Schulz M., Takemura T., Zhou M., A review of measurement-based assessment of aerosol direct radiative effect and forcing // Atmos. Chem. and Phys. Discussions. 2005. N 5. 7647—7768.

*I.A. Gorchakova, P.P. Anikin, E.V. Romashova. Estimates of aerosol radiative forcing from measurements at the Zvenigorod station IRA RAS in March, 2004.*

The variability of the optical thickness, single scattering albedo, asymmetry parameter of the aerosol, is examined in the paper based on the measurements in the cloudless atmosphere in March 2004 at the Zvenigorod Scientific Station of the A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS. The monthly mean values of the shortwave aerosol radiative forcing at the boundaries of the atmosphere for clear sky are obtained for March 2004. The aerosol optical parameters and the estimates of aerosol radiative forcing (mean for March) derived from the data of measurements 2004 and with the use of the data of Zvenigorod aerosol-cloud-radiative experiments 2001 and 2002 are compared.