

Аэрозольная оптическая толща атмосферы и ее вариации в регионе Восточной Сибири (Тункинская долина) в 2004–2008 гг.

А.В. Михалев, М.А. Тащилин*

*Институт солнечно-земной физики СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 126а, а/я 291*

Поступила в редакцию 4.02.2009 г.

Анализируются результаты измерений аэрозольной оптической толщи (АОТ) атмосферы в регионе Восточной Сибири (Тункинская долина), полученных с помощью солнечного фотометра SE-318, входящего в международную сеть «Аэронет». Рассчитаны фоновые, средние и экстремальные значения АОТ, сезонные и суточные вариации АОТ для периода 2004–2008 гг. Отмечается, что Тункинская долина относится к группе регионов, для которых характерен сезонный ход прозрачности атмосферы с максимумом в осенне-зимний и минимумом в весенне-летний периоды. Для каждого сезона существуют особенности динамики суточного хода АОТ, но в общем случае, для рассматриваемого региона, наблюдается тенденция увеличения прозрачности атмосферы в послеполуденные часы.

Ключевые слова: аэрозольная оптическая толща, атмосфера, суточный ход, солнечный фотометр.

В рамках проекта «AEROSIBNET» в Геофизической обсерватории (ГО) ИСЗФ СО РАН в Тункинской долине проводились фотометрические измерения некоторых параметров атмосферы, таких как аэрозольная оптическая толща (АОТ), влагосодержание, микроструктура аэрозоля и т.д. Для этого использовался автоматизированный солнечный фотометр SE-318, входящий в состав мировой наземной сети станций «Аэронет», в 8 спектральных каналах (длины волн 340, 380, 440, 500, 670, 870, 940 и 1020 нм). В обсерватории, помимо солнечного фотометра, установлен ряд приборов, осуществляющих оптические измерения состояния атмосферы, в частности собственное свечение атмосферы. Поэтому задачи исследования региональных вре-

менных особенностей вариаций АОТ, фоновых значений прозрачности атмосферы на территории Тункинской долины представляют интерес для астрономических и атмосферных оптических наблюдений, знание которых позволит внести определенные поправки в получаемые результаты и повысить качество и надежность оптических измерений.

В табл. 1 представлены средние месячные (средн.), минимальные (мин. ср.) и максимальные (макс. ср.) средние дневные значения для каждого месяца года, экстремальные минимальные (мин.) и максимальные (макс.), зарегистрированные в течение суток для каждого месяца значения АОТ для спектральных каналов 380, 500 и 1020 нм, и влагосодержание атмосферы за период 2004–2008 гг.

Таблица 1

Средние значения АОТ в Тункинской долине за период 2004–2008 гг.

Месяц	АОТ (380 нм)					АОТ (500 нм)				
	Средн.	Мин. ср.	Макс. ср.	Мин.	Макс.	Средн.	Мин. ср.	Макс. ср.	Мин.	Макс.
Январь	0,09	0,07	0,13	0,06	0,20	0,07	0,05	0,11	0,04	0,18
Февраль	0,15	0,05	0,26	0,04	0,35	0,11	0,03	0,21	0,02	0,29
Март	0,13	0,04	0,24	0,03	0,36	0,10	0,03	0,20	0,03	0,30
Апрель	0,24	0,13	0,53	0,11	0,87	0,17	0,09	0,39	0,07	0,67
Май	0,22	0,08	1,10	0,06	1,80	0,15	0,05	0,73	0,04	1,15
Июнь	0,25	0,07	0,87	0,05	1,69	0,13	0,05	0,71	0,04	1,12
Июль	0,28	0,10	0,55	0,07	2,11	0,15	0,06	0,43	0,04	2,01
Август	0,29	0,06	0,61	0,05	0,70	0,23	0,04	0,46	0,03	0,63
Сентябрь	0,32	0,09	0,66	0,08	1,38	0,16	0,06	0,55	0,06	1,35
Октябрь	0,17	0,05	0,54	0,04	0,61	0,12	0,03	0,39	0,03	0,45
Ноябрь	0,13	0,05	0,25	0,04	0,30	0,10	0,03	0,21	0,02	0,26

* Александр Васильевич Михалев; Михаил Анатольевич Тащилин (miketash@iszf.irk.ru).

Месяц	АОТ (1020 нм)					Влагосодержание, см				
	Средн.	Мин. ср.	Макс. ср.	Мин.	Макс.	Средн.	Мин. ср.	Макс. ср.	Мин.	Макс.
Январь	0,06	0,04	0,10	0,03	0,17	0,24	0,18	0,29	0,16	0,32
Февраль	0,07	0,03	0,14	0,02	0,21	0,31	0,19	0,55	0,18	0,55
Март	0,06	0,03	0,15	0,02	0,27	0,37	0,21	0,95	0,15	0,97
Апрель	0,09	0,04	0,20	0,03	0,32	0,41	0,15	0,83	0,11	0,85
Май	0,05	0,02	0,32	0,02	0,75	0,85	0,35	1,95	0,23	2,21
Июнь	0,06	0,02	0,42	0,02	0,98	1,70	0,72	3,13	0,57	3,15
Июль	0,08	0,02	0,32	0,01	2,02	2,18	1,51	3,60	1,36	3,80
Август	0,09	0,03	0,36	0,02	0,52	1,45	0,03	2,77	0,70	3,06
Сентябрь	0,09	0,04	0,42	0,03	1,38	1,48	0,71	2,60	0,70	2,76
Октябрь	0,07	0,03	0,16	0,02	0,28	0,68	0,25	1,19	0,22	1,20
Ноябрь	0,07	0,03	0,15	0,02	0,23	0,50	0,25	0,68	0,20	0,76

Сезонные вариации среднемесячных значений АОТ

Оценка сезонных вариаций АОТ в районе ГО ИСЗФ СО РАН была получена путем сопоставления данных среднемесячных значений АОТ по уровню 1,5 (уровень 1,0 – исходные данные, 1,5 – данные с автоматической фильтрацией облачности, 2,0 – ручная корректировка данных уровня 1,5). На рис. 1 приведен средний годовой ход среднемесячных значений АОТ за период 2004–2008 гг. для длин волн 380, 500 и 1020 нм.

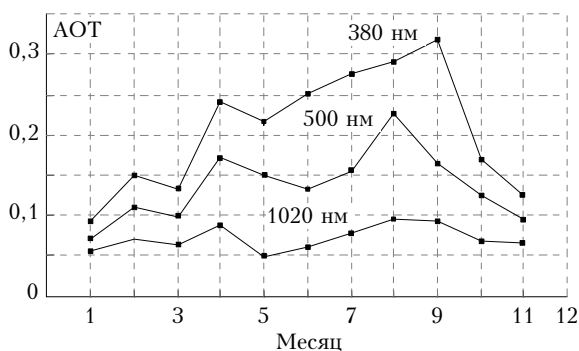


Рис. 1. Сезонные вариации значений АОТ

Наиболее прозрачной атмосфера является в зимние и осенние месяцы, что соответствует данным [1] для г. Томска и данным [2, 3] для рассматриваемого региона. Наименее прозрачна атмосфера в весенне-летний период, что также согласуется с данными [1, 2]. Весенне-летнее увеличение АОТ может быть связано с сезонным увеличением температуры, влажности и изменениями характеристик подстилающей поверхности, а также с более интенсивным фотохимическим и конденсационным образованием аэрозоля и с поступлением почвенного аэрозоля в атмосферу.

Аналогичный сезонный ход получен в работе [4], в которой исследовался средний многолетний годовой ход среднемесячных значений АОТ за период 1976–2003 гг. для 44 станций, расположенных в различных регионах России. В [4] указыва-

ется, что для большинства станций увеличение АОТ в весенне-летний период относительно минимальных значений в осенне-зимний период может достигать 60–80%, что согласуется с полученными результатами.

Таким образом, Тункинская долина относится к группе регионов, для которых отмечается сезонный ход прозрачности атмосферы с максимумом в осенне-зимний и минимумом весенне-летний периоды.

Вариации суточного хода АОТ

Для оценки суточного хода АОТ были использованы данные уровня 1,5 для 12 мес (январь – март 2004 г., июль, октябрь–ноябрь 2005 г., март–июнь, август, октябрь, ноябрь 2006 г., май–сентябрь 2007 г., апрель–декабрь 2008 г.) путем усреднения по получасовым интервалам значений АОТ для длин волн 380, 500 и 1020 нм для каждого рассматриваемого месяца. Далее данные для каждого месяца внутри каждого сезона усреднялись. График суточного хода АОТ для длины волны 500 нм изображен на рис. 2. На графике для значений АОТ приведены стандартные ошибки среднего, вычисленные как корень отношения дисперсии к количеству измеренных значений.

Из рис. 2 следует, что особенностью суточного хода в осенние, зимние и весенние месяцы является более низкая прозрачность атмосферы в утренние и вечерние часы по сравнению с полуденными и послеполуденными часами, когда прозрачность атмосферы максимальна. В летние же месяцы прозрачность, наоборот, ухудшается к послеполуденным часам, в утренние и вечерние часы прозрачность атмосферы максимальна. Предположительно, полученный суточный ход для различных сезонов можно объяснить особенностью горно-долинной циркуляции исследуемого региона, возникающей из-за различного термического прогрева долины и горных склонов.

Таким образом, для большинства сезонов, кроме летнего, существует схожая особенность динамики суточного хода АОТ, заключающаяся в увеличении прозрачности атмосферы в послеполуденные часы.

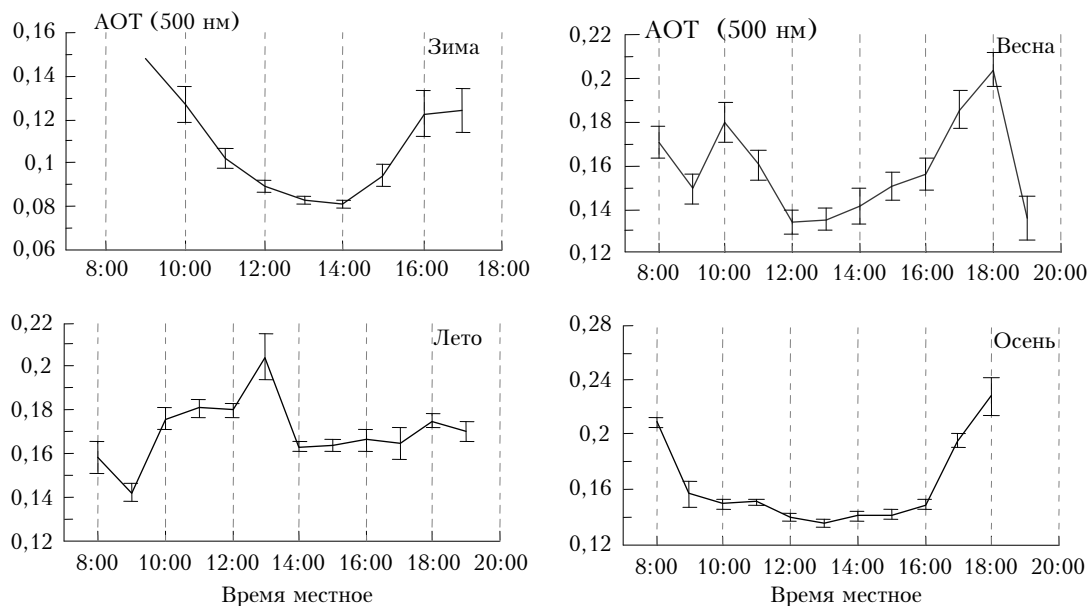


Рис. 2. Суточный ход значений АОТ для длины волны 500 нм; для значений указаны стандартные ошибки среднего

Фоновые значения АОТ

В качестве фоновых значений оптических характеристик атмосферы рассмотрены средние минимальные суточные значения для каждого месяца года и средние минимальные экстремальные значения, зарегистрированные в течение суток в каждом месяце. В табл. 2 для спектральных каналов 380, 500 и 1020 нм представлены значения указанных величин, а также соответствующие значения спектральных оптических плотностей (СОП) аэрозоля для возможности оценки или классификации оптического состояния атмосферы в районе обсерватории, согласно [5]. Использование средних за весь период наблюдений значений АОТ и СОП (табл. 2) по приведенной в работе [5] классификации оптического состояния атмосферы дает следующие оценки в районе обсерватории: по спектральным каналам 380 нм (значение СОП 0,095) и 500 нм (СОП ~ 0,07) состояние соответствует нормальной прозрачности атмосферы.

Среднее за весь период значение АОТ (0,17) для длины волны 500 нм хорошо согласуется с общим средним значением АОТ для территории России за 1976–2003 гг. (0,15) и со среднегодовым глобальным значением АОТ, рассчитанным по аэрозольно-климатической модели ЕСНАМ-НАМ (0,14) [6].

В табл. 3 и 4 приведены фоновые значения АОТ/СОП для периодов 2004–2007 гг. и 2004–2006 гг., в табл. 5 представлены среднегодовые значения АОТ/СОП для 2005–2008 гг. Из табл. 3–5 видно, что прозрачность атмосферы в районе Тункинской долины постепенно ухудшается. Если учесть малое влияние антропогенной компоненты в рассматриваемый период в силу удаленности и орграфических особенностей региона, можно предположить, что это ухудшение есть проявление различных глобальных процессов, приводящих к линейному или циклическому изменению прозрачности атмосферы, к которым можно отнести вулканическую деятельность, солнечную активность и др. В поддержку последнего можно привести работу [7], в которой отрицательный линейный тренд прозрачности атмосферы за период 1995–2007 гг. авторы связывают с вулканической деятельностью, хотя мощных извержений за исследуемый период зафиксировано не было. В работе [8] изменение прозрачности атмосферы на примере восьми удаленных станций связывается с 11-летним циклом солнечной активности. Согласно полученным результатам уменьшение солнечной активности должно приводить к увеличению прозрачности атмосферы. В работе [9] выявлено, что концентрация аэрозоля в многолетнем ходе повторяет 11-летний цикл солнечной активности со сдвигом в 2 года.

Таблица 2

Фоновые значения АОТ/СОП в районе ГО ИСЗФ СО РАН за период 2004–2008 гг.

Значение	АОТ/СОП (380 нм)	АОТ/СОП (500 нм)	АОТ/СОП (1020 нм)
Среднее за период ($N = 343$)	0,22/ 0,095	0,17/ 0,07	0,09/ 0,039
Среднее миним. сут. ($N = 11$)	0,07/ 0,03	0,05/ 0,022	0,03/ 0,013
Среднее миним. экстрем. ($N = 11$)	0,06/ 0,026	0,04/ 0,017	0,02/ 0,009

Таблица 3

Фоновые значения АОТ/СОП в районе ГО ИСЗФ СО РАН за период 2004–2007 гг.

Значение	АОТ/СОП (380 нм)	АОТ/СОП (500 нм)	АОТ/СОП (1020 нм)
Среднее за период ($N = 246$)	0,2/ 0,086	0,14/ 0,06	0,08/ 0,035
Среднее миним. сут. ($N = 10$)	0,07/ 0,03	0,05/ 0,022	0,03/ 0,013
Среднее миним. экстр. ($N = 10$)	0,06/ 0,026	0,04/ 0,017	0,02/ 0,009

Таблица 4

Фоновые значения АОТ/СОП в районе ГО ИСЗФ СО РАН за период 2004–2006 гг.

Значение	АОТ/СОП (380 нм)	АОТ/СОП (500 нм)	АОТ/СОП (1020 нм)
Среднее за период ($N = 158$)	0,190/ 0,082	0,137/ 0,059	0,073/ 0,031
Среднее миним. сут. ($N = 10$)	0,092/ 0,04	0,053/ 0,023	0,029/ 0,012
Среднее миним. экстр. ($N = 10$)	0,07/ 0,03	0,038/ 0,016	0,021/ 0,009

Таблица 5

Среднегодовые значения АОТ/СОП в районе ГО ИСЗФ СО РАН

Год	АОТ/СОП (380 нм)	АОТ/СОП (500 нм)	АОТ/СОП (1020 нм)
2005 г. ($N = 32$)	0,177/ 0,077	0,131/ 0,057	0,069/ 0,030
2006 г. ($N = 94$)	0,217/ 0,094	0,155/ 0,067	0,079/ 0,034
2007 г. ($N = 88$)	0,229/ 0,099	0,172/ 0,075	0,094/ 0,040
2008 г. ($N = 92$)	0,311/ 0,135	0,232/ 0,100	0,115/ 0,049

Таким образом, можно сделать вывод, что Тункинская долина относится к группе регионов, для которых характерен сезонный ход прозрачности атмосферы с максимумом в осенне-зимний и минимумом весенне-летний периоды. В суточном ходе АОТ для рассматриваемого региона наблюдается тенденция увеличения прозрачности атмосферы в послеполуденные часы. Для выявления причин уменьшения прозрачности атмосферы в рассматриваемом регионе необходимо проводить дальнейшие наблюдения.

Работа выполнялась при поддержке интеграционного проекта СО РАН № 3.23.

1. Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Панченко М.В., Полькин В.В., Холбен Б.Н., Смирнов А.В., Береснев С.А., Горда С.Ю., Корниенко Г.И., Николашкин С.В., Поддубный В.А., Тацлин М.А. Результаты мониторинга атмосферного аэрозоля в азиатской части России по программе AEROSIBNET в 2004 г. // Оптика атмосфер. и океана. 2005. Т. 18. № 11. С. 968–975.
2. Климат Иркутска / Под ред. Ц.А. Швер, Н.П. Форманчук. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 246 с.

3. Байкал: Атлас. М.: Роскартография, 1993. 160 с.

4. Плахина И.Н., Махоткина Е.Л., Панкратова Н.В. Вариации аэрозольной оптической толщины атмосферы на территории России в 1976–2003 гг. // Метеорол. и гидр. 2007. № 2. С. 19–31.
5. Гуцин Г.П. Методы, приборы и результаты измерения спектральной прозрачности. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 200 с.
6. McPeters R.D., Bhartia P.K., Krueger A.J., Herman J.R. Earth Probe Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) Data Products User's Guide. NASA Goddard Space Flight Center. 1998. 70 p.
7. Арефьев В.Н., Кашин Ф.В., Красносельцев А.В., Семенов В.К., Сияжков В.П. Структура временных вариаций прозрачности атмосферы в центральной части Евразии // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2008. Т. 44. № 5. С. 663–669.
8. Ролдугин В.К., Старков Г.В. Изменение прозрачности атмосферы в 11-летнем цикле солнечной активности // Докл. РАН. 2000. Т. 370. № 5. С. 676–677.
9. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Ковалевский В.К., Плотников А.П., Складнева Т.К., Толмачев Г.Н. Многолетняя изменчивость тропосферного аэрозоля над Западной Сибирью // Оптика атмосфер. и океана. 2000. Т. 13. № 6–7. С. 627–630.

A.V. Mikhalev, M.A. Tashchilin. Aerosol optical depth and its variations in the Eastern Siberia region (Tunka Valley) in 2004–2008.

The results of Aerosol Optical Depth (AOD) measurements have been analyzed in the Eastern Siberia region (Tunka Valley) received with the help of solar photometer CE 318 included in the international network «AERONET». Background, average, extreme, seasonal and daily AOD values have been received for the period 2004–2008. It should be noted that Tunka Valley is related to the group of regions, which are characterized by AOD seasonal process with autumn-winter maximum and spring-summer minimum. In daily AOD process there are peculiarities of AOD seasonal dynamics, but in general there is a tendency of AOD increasing in the afternoon.