

**СОСТОЯНИЕ ПРОЗРАЧНОСТИ АТМОСФЕРЫ
И СПЕКТРАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АОТ
НАД ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИЕЙ ЗА ПЕРИОД 2004–2017 гг.**

М.С. Васильев

Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера, Якутск, Россия
m.s.vasiliev@ikfia.ysn.ru

**ATMOSPHERIC TRANSPARENCY AND SPECTRAL DISTRIBUTION
OF AOD OVER CENTRAL YAKUTIA IN 2004–2017**

M.S. Vasiliev

Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy SB RAS, Yakutsk, Russia
m.s.vasiliev@ikfia.ysn.ru

Аннотация. В работе приводятся результаты наземных наблюдений аэрозольной оптической толщи (АОТ) над центральной частью Якутии по данным солнечного фотометра CIMEL CE-318. По данным АОТ проведена классификация прозрачности атмосферы за период 2004–2017 гг. Установлено, что ежегодно дни со значениями АОТ, относящимися к III классу прозрачности атмосферы («грязная» атмосфера) за рассматриваемый период находились в пределах 25–30 % общего числа дней измерения АОТ.

Ключевые слова: солнечный фотометр, прозрачность атмосферы, аэрозоль, лесные пожары, Якутия.

Abstract. In this work, the transparency of the atmosphere over the central part of Yakutia is classified using ground-based observations of aerosol optical depth (AOD) for the period of 2004–2014. It is revealed that every year the days with the values of AOD corresponding to the class III of atmospheric transparency (turbid atmosphere) made up 25–30 % of the total number of AOD measurement days.

Keywords: sun-sky photometer, atmospheric transparency, aerosol, forest fires, Yakutia.

ВВЕДЕНИЕ

В работе [Васильев, 2017] по данным наземных наблюдений АОТ за период 2004–2014 гг. нами была проведена классификация прозрачности атмосферы и выполнен сравнительный анализ годового хода среднемесячных значений АОТ с данными спутникового мониторинга. Также было установлено, что в дни с максимальными значениями АОТ наблюдался смог (дым), образовавшийся вследствие горения лесного массива. В настоящей работе расширен диапазон анализируемых данных и выявлены некоторые особенности спектрального распределения АОТ.

III класс — замутненная «грязная» атмосфера (АОТ превышает значение 3-го квартиля). Использование средних значений АОТ, зависящих от максимальных значений в выборке, не является корректным. Классификация прозрачности атмосферы, применяемая в работе позволяет полнее характеризовать наблюдаемые изменения АОТ.

В табл. 1 приведены основные характеристики АОТ за период 2004–2017 гг. За рассматриваемый период минимальные значения АОТ относятся к III классу прозрачности атмосферы находились в пределах от 0.111 (2004 г.) до 0.252 (2008 г.), а максимальные — от 0.296 (2004 г.) до 3.700 (2017 г.).

МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Мониторинг АОТ проводился солнечным фотометром CIMEL CE-318 (ст. Якутск) [Васильев, 2015, 2017]. Были использованы данные АОТ уровня 2 и 3 на длине волны $\lambda=500$ нм [<https://aeronet.gsfc.nasa.gov>]. Информация об очагах горения лесного массива на территории Якутии и соседних регионах получена на основе данных системы FIRMS [<https://earthdata.nasa.gov/data/near-real-time-data/fir-ms/active-fire-data>]. Пространственный и временной анализ траектории распространения воздушных масс осуществлен с помощью модели HYSPLIT [<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Классификация прозрачности атмосферы состоит из трех классов: I класс — «чистая» атмосфера (значения АОТ меньше 1-го квартиля выборки измерений); II класс — «типичная» атмосфера (значения АОТ находятся между 1-м и 3-м квартилями указанной выборки, что соответствует 50 % всех возможных состояний прозрачности атмосферы);

Таблица 1
Основные характеристики АОТ ($\lambda=500$ нм)
за период 2004–2017 гг.

Год	N	N ₁	N ₂ /N ₃	Характеристики АОТ III класса		
				минимум	максимум	M ₀
2004	69	1433	19/4	0.111	0.296	0.192
2005	109	2492	29/14	0.114	0.660	0.147
2006	98	2471	25/19	0.209	1.383	0.226
2007	106	3259	27/3	0.131	0.618	0.392
2008	104	2784	27/25	0.252	1.424	0.261
2009	164	4743	48/27	0.181	0.526	0.222
2010	159	4552	44/13	0.131	0.462	0.209
2011	106	2336	27/23	0.205	2.473	0.263
2012	117	3009	32/23	0.232	3.698	0.278
2013	134	3416	36/22	0.140	1.076	0.175
2014	134	3170	36/17	0.223	2.582	0.345
2015	134	3426	35/27	0.131	1.969	0.147
2016	170	4784	48/24	0.130	2.485	0.178
2017	172	4740	44/27	0.162	3.700	0.240

Примечание: N — число дней измерения АОТ; N₁ — число сеансов измерения АОТ; N₂ — число дней с III классом прозрачности атмосферы; N₃ — число дней с III классом прозрачности атмосферы свыше M₀, где M₀ — мода (варианта с наибольшей частотой проявления)

Таблица 2

На рис. 1 представлен межгодовой ход максимальных значений АОТ (III класс) по данным солнечного фотометра и очагов горения лесного массива в Якутии за период 2004–2017 гг. Видно (рис. 1), что наблюдается хорошая корреляционная связь $R=0.6$ при критических значениях $r_{крит.}=0.48$ с уровнем достоверности $P=99\%$. При этом значение коэффициента детерминации указывает на зависимость максимальных значений АОТ (III класс) от очагов горения лесного массива (дымового аэрозоля) в пределах 40 %.

Однако считаем, что данная зависимость может быть выше. Например, 19.04.2009 г. при наличии максимального значения АОТ = 0.526 на территории Якутии не наблюдались очаги горения лесного массива. За период 16–19 апреля 2009 г. лесопожарная активность наблюдалась в соседних регионах, дымы от которых охватили центральную часть Якутии.

Так как среднестатистическое спектральное распределение АОТ для станций АЭРОНЕТ можно записать в виде АОТ (340) > АОТ (380) > ... > АОТ (1020) > АОТ (1640) [Калинская, 2012], то за рассматриваемый период при анализе спектрального распределения среднемесячных значений АОТ были обнаружены некоторые аномалии (табл. 2). В 2017 г. аномалии спектрального распределения среднемесячных значений АОТ наблюдались в феврале и июле (рис. 2), когда АОТ (380) < АОТ (440).

Возможно, февральская аномалия связана с так называемым явлением «Арктической дымки» [Shaw, 1995] (характеризующимся трансполярным выносом аэрозольных частиц в основном техногенного происхождения в зимне-весенний период в Арктику), а июльская — с дымами от лесных пожаров (июль). Среднемесячные значения параметра Ангстрема (500/870 нм) за весь период наблюдения на солнечном фотометре CIMEL CE-318 в 2017 г. находились в пределах от 1.21 до 1.37 нм.

Аномалии спектрального распределения среднемесячных значений АОТ по данным CIMEL CE-318 (Version 3, АОТ Level 2.0) за период 2004–2017 гг., где пустые ячейки означают отсутствие аномалии

Год	Период наблюдения (CIMEL CE-318)	Период наблюдаемой аномалии спектрального распределения АОТ	Характер аномалии спектрального распределения АОТ (длина волны, нм)	Диапазон среднемесячных значений параметра Ангстрема (500/800 нм) за весь период наблюдения
2004	май–октябрь	–	–	от 1.32 до 1.73
2005	май–ноябрь	июль, октябрь, ноябрь	АОТ(440) < АОТ(500), АОТ(380) < АОТ(440), АОТ(440) < АОТ(500)	от 1.34 до 1.75
2006	март–апрель, июнь–ноябрь	апрель, ноябрь	АОТ(340) < АОТ(380), АОТ(340) < АОТ(380) < АОТ(440)	от 1.07 до 1.75
2007	апрель–сентябрь	–	–	от 1.40 до 1.66
2008	май–ноябрь	май, ноябрь	АОТ(440) < АОТ(500), АОТ(380) < АОТ(440)	от 1.06 до 1.65
2009	январь–сентябрь	–	–	от 0.78 до 1.77
2010	март–октябрь	–	–	от 1.03 до 1.65
2011	апрель–ноябрь	–	–	от 1.28 до 1.99
2012	февраль–июль, сентябрь	–	–	от 1.28 до 1.86
2013	март–октябрь	–	–	от 0.99 до 1.61
2014	апрель–октябрь	–	–	от 1.53 до 1.73
2015	май–ноябрь	август	АОТ(440) < АОТ(500)	от 1.34 до 1.71
2016	март–октябрь	август, сентябрь	АОТ(340) < АОТ(380)	от 1.18 до 1.63
2017	февраль–сентябрь	февраль, июль	АОТ(380) < АОТ(440)	от 1.21 до 1.37

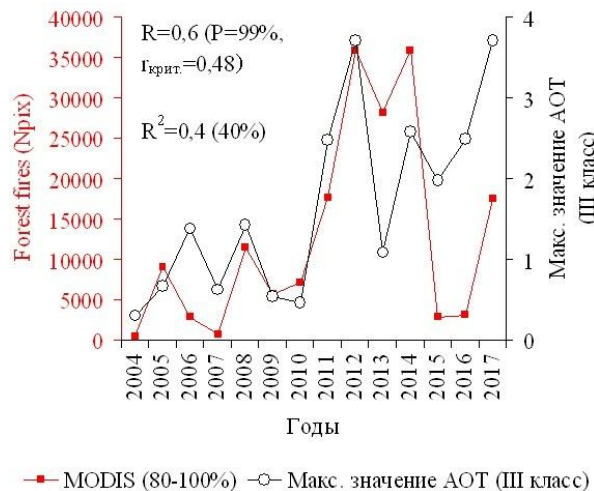


Рис. 1. Межгодовой ход максимальных значений АОТ (III класс) и очагов горения лесного массива (данные спектро радиометра MODIS с уровнем достоверности 80–100 %) в Якутии за период 2004–2017 гг.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом установлено, что за период 2004–2017 гг. ежегодно дни со значениями АОТ, относящимися к III классу прозрачности атмосферы («грязная» атмосфера) за рассматриваемый период находились в пределах 25–30 % общего числа дней измерения АОТ.

Анализ основных оптических характеристик (АОТ и параметра Ангстрема), в основном, при отсутствии данных в конце и начале зимы за период 2004–2017 гг. не позволил выявить явные закономерные фазы аномалий спектрального распределения среднемесячных значений АОТ по сезонам года. Тем не менее, можно говорить о некоей закономерности в начале — май, середине — июль–август и конце — сентябрь–октябрь пожароопасного сезона в Якутии [Васильев, 2014], а также в начале (ноябрь) и конце (февраль) зимы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации бюджетной темы П.16.1.7. 0375-2018-0004.

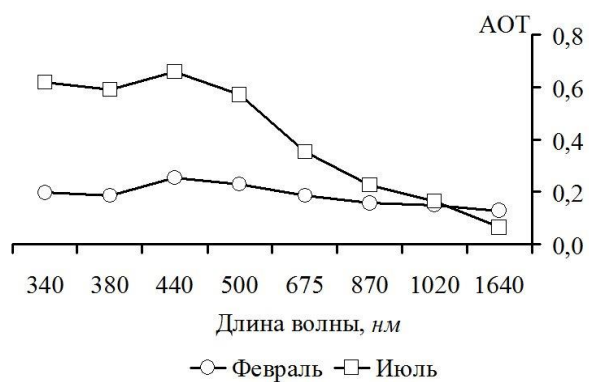


Рис. 2. Аномальное спектральное распределение АОТ в феврале и июле 2017 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Васильев М.С., Каримов Р.Р. Исследование возможных причин возникновения лесных пожаров в Якутии по данным дистанционных наблюдений // В мире научных открытий. 2014. № 4 (52). С. 161–170.

Васильев М.С., Николашкин С.В. Температурный эффект дымового аэрозоля в летний сезон над центральной частью Якутии за период 2004–2014 гг. // Оптика атмосферы и океана. 2015. Т. 28, № 12. С. 1106–1111.

Васильев М.С., Николашкин С.В., Бороев Р.Н. Состояние прозрачности атмосферы над центральной частью Якутии по данным солнечного фотометра за период 2004–2014 гг. // Метеорология и гидрология. 2017. № 11. С. 14–20.

Калинская Д.В. Исследование особенностей оптических характеристик пылевого аэрозоля над Черным морем // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: МГИ НАН Украины. 2012. Вып. 26(2). С. 151–162.

Shaw G.E. The Arctic Haze Phenomenon / G.E. Shaw // Bull. Amer. Meteor. Soc. 1995. V. 76. P. 2403–2414.