

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАЦИЙ АЭРОЗОЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ТОЛЩИНЫ И  
ПИРОГЕННОЙ АКТИВНОСТИ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ  
INVESTIGATION OF VARIATIONS OF AEROSOL OPTICAL THICKNESS AND  
PYROGENIC ACTIVITY IN CENTRAL YAKUTIA**

В.С.Соловьев, А.А.Будищев

Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН

*The aerosol optical thickness (AOT) and pyrogenic events variations in central Yakutia in 2000-2009 were researched on remote sensed data (NOAA, Terra and Aqua). It is shown that the average summer (June-August) AOT for years with high pyrogenic activity (2001-2003) is greater by ~ 125% than AOT of years with low pyrogenic activity (2000, 2004-2009). In some days when forest fires were most strong the daily AOT in central Yakutia was up to 1,5-1,6 strongly exceeding undisturbed values.*

**Введение**

Лесные пожары (ЛП) оказывают огромное влияние на окружающую среду, на биоразнообразие природных экосистем, породную и возрастную структуру лесов, их ресурсный и экологический потенциал. Ежегодно на территории России возникает от 10 до 30 тыс. лесных пожаров общей площадью от 0,5 до 2 млн. га, из них 95% приходится на малонаселенные обширные районы Сибири и Дальнего Востока [1]. Одним из наиболее пожароопасных субъектов России является Якутия: по данным Якутской базы авиационной охраны лесов здесь ежегодно в среднем регистрируется более 500 очагов лесных пожаров на площади ~140 тыс. га.

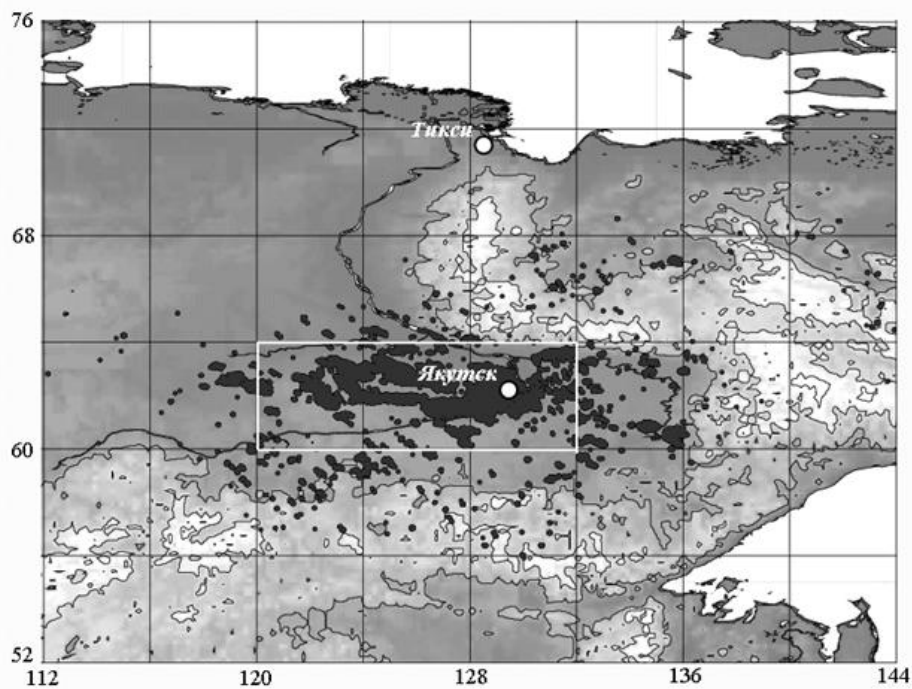


Рис. 1. Сводная карта распределения очагов лесных пожаров (темные точки), обнаруженных в 2002 г. по данным спутников NOAA на территории Якутии. Прямоугольником выделен исследуемый участок.

В результате ЛП выбрасывается огромная масса продуктов горения – смесь различных газов, соединений углерода, аэрозольных частиц, оказывающих существенное влияние на физические и химические процессы в атмосфере. Исследованиям оптических характеристик атмосферных аэрозолей, их роли в химических процессах и радиационном балансе нижней атмосферы и др. посвящен ряд работ (см., например, [2-4], а также ссылки в них).

Целью данной работы является анализ сезонного хода аэрозольной оптической толщины (АОТ) атмосферы и пирогенной активности, а также оценка влияния пирогенеза на аэрозольную компоненту атмосферы в центральной Якутии.

**Исходные данные**

Для исследований был выбран участок Приленского плато (центральная Якутия), находящийся в секторе 60°–64° с.ш. и 120°–132° в.д. (рис. 1). С севера (частично), востока и юга исследуемый участок окружен горными массивами Верхоянского и Станового хребтов,

затрудняющих горизонтальный вынос инжескированных дымовых частиц за границы рассматриваемого участка.

Мониторинг пирогенной обстановки осуществлялся по данным радиометра AVHRR (ИСЗ NOAA) [5-7], при этом уровень лесопожарной активности оценивался количеством «пожарных» пикселей ( $N_{\text{пож}}$ ), обнаруженных с помощью порогового алгоритма детектирования ЛП [8]. Для оценки вариаций атмосферного аэрозоля были использованы данные радиометра MODIS (ИСЗ Terra, Aqua) – продукт MOD08\_D3 третьего уровня [9], находящиеся в свободном доступе в архиве NASA (<http://ladsweb.nascom.nasa.gov/>).

Данные MOD08\_D3 представляет собой усредненные суточные карты распределения аэрозольной оптической толщины (AOT); размеры отдельных элементов (пикселей) карты составляют – 1x1 град. (широта x долгота). Среднесуточные AOT исследуемого участка рассчитывалось по 48 значениям, в соответствии с количеством приходящихся на него пикселей, причем при условии, что в усреднении было использовано не менее 50% пикселей, т.к. сильная облачность и/или задымленность не всегда позволяют восстанавливать значения AOT по всему участку. По среднесуточным значениям рассчитывались среднедекадные и среднемесячные значения AOT на период май-сентябрь.

### Обсуждение результатов

Многолетние наблюдения показывают, что ЛП на территории Якутии наблюдаются с мая по сентябрь, в основном, в течение трех летних месяцев с максимумом во второй половине лета. Атмосферные осадки в Североазиатском регионе обусловлены, преимущественно, переносом влаги с западного и северо-западного направлений. Влагосодержание проникающих в бассейн р. Лены циклонов значительно понижается при прохождении Среднесибирского плато, поэтому годовая сумма осадков мала и составляет 250-300 мм. Наибольшее количество осадков наблюдается в периоды межсезонья зима-весна, лето-осень. Количество облачности с апреля по июль падает, а с августа по сентябрь возрастает. Такое сезонное поведение облачности, осадков и температурного режима объясняют наблюдаемый сезонный ход пожаров.

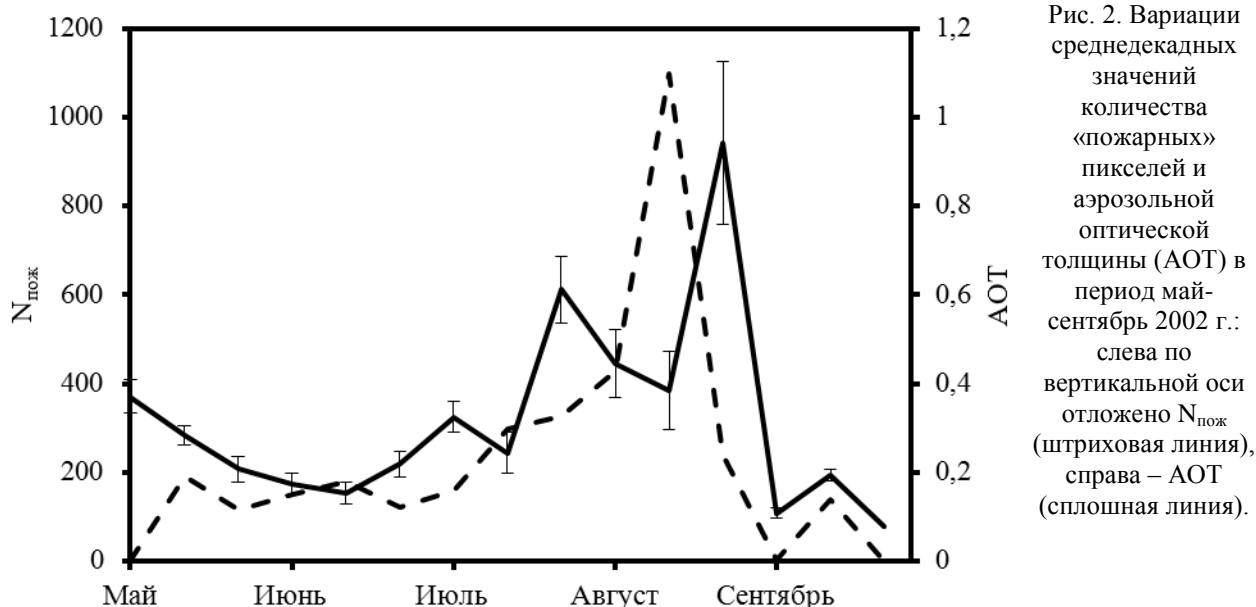


Рис. 2. Вариации среднедекадных значений количества «пожарных» пикселей и аэрозольной оптической толщины (AOT) в период май-сентябрь 2002 г.: слева по вертикальной оси отложено  $N_{\text{пож}}$  (штриховая линия), справа – AOT (сплошная линия).

Лето 2002 г. в Якутии выдалось крайне пожароопасным: был зарегистрирован максимум активности ЛП за последние тринадцать лет. Согласно данным Якутской авиационной базы охраны лесов только на охраняемой территории (~ 50% от площади Якутии) пожарами была пройдена площадь около 407 тыс. га. С учетом пожаров на неохраняемой территории, обнаруженных по данным спутникового мониторинга, общая площадь лесных пожаров в 2002 г. составила более 500 тыс. га. Карта распределения ЛП, обнаруженных по данным ИСЗ NOAA, представлена на рис. 1.

Поскольку, суточные вариации  $N_{\text{пож}}$  и AOT в течение май-сентябрь 2002 г., в целом, носят сложный изменчивый характер, то представляет интерес рассмотреть сглаженные (декадные) значения. На рис. 2 представлены декадные вариации: прерывистой линией количества «пожарных» пикселей  $N_{\text{пож}}$ , сплошной линией – вариации AOT.

Уровень пирогенной активности с середины мая и до начала июля на рассматриваемом участке относительно невысок ( $N_{\text{пож}} < 200$ ) и стабилен, затем он начинает расти и в середине августа достигает максимума ( $N_{\text{пож}} > 1000$ ). К концу лета под действием дождей активность ЛП резко падает, и в сентябре пожары практически уже не детектируются, за исключением 14-15 сентября, когда наблюдалась небольшая «вспышка» пирогенной активности.

С начала мая и до середины июня значения АОТ постепенно снижаются приблизительно в два раза (с 0,35 до 0,15). Затем спад сменяется тенденцией роста АОТ, достигающей максимума в последней декаде августа (более 0,9), после чего отмечается резкий спад АОТ ниже значений 0,2. Данные регулярных наблюдений за лесопожарной обстановкой на территории Якутии, проводимые с 1998 г. по данным спутников NOAA, показывают, что в течение 2001-2003 гг. наблюдался чрезвычайно высокий уровень пирогенной активности, максимум которой, как было отмечено выше, пришелся на 2002 г. Напротив, 2000 г. и 2004-2009 гг. отметились крайне низким уровнем активности лесных пожаров.

Для указанных периодов пожароопасных сезонов – с высоким показателем пирогенной активности (2001-2003 гг.) и низким (2000 г. и 2004-2009 гг.) – были построены соответствующие графики вариаций среднедекадных значений  $N_{\text{пож}}$  и АОТ, представленные на рис. 3. Сплошными линиями показаны вариации АОТ, прерывистыми –  $N_{\text{пож}}$ . Круглыми маркерами помечены графики вариаций, относящиеся к периоду 2001-2003 гг.

Как следует из рис. 3, сезонный ход АОТ в годы с низким уровнем пирогенной активности сильно отличается от вариаций АОТ в пожароопасные годы. Значения АОТ(2000, 2004-2009) с мая по сентябрь плавно снижаются ~ в 2 раза, за исключением небольшого локального максимума в последней декаде июля. Ранее аналогичное поведение сезонного хода АОТ было показано в работе [10].

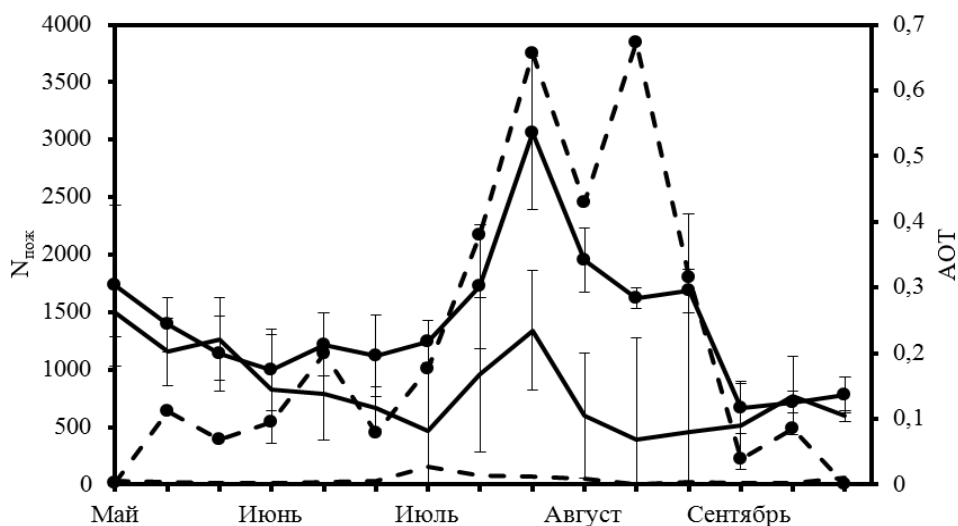


Рис. 3. Вариации среднедекадных значений АОТ и числа «пожарных» пикселей, рассчитанные для периодов май-сентябрь с высоким (2001-2003 гг.) и низким уровнем пирогенной активности (2000 г., 2004-2009 гг.). Сплошными линиями показаны вариации АОТ, прерывистыми –  $N_{\text{пож}}$ ; круглыми маркерами помечены вариации, относящиеся к 2001-2003 гг.

Кривая АОТ(2001-2003) в отличие от АОТ(2000, 2004-2009) ведет себя иначе: общее плавное снижение (май-июнь) сменяется ростом во второй половине лета. Максимум АОТ (~ 0,35) наступает в последней декаде июля, затем в августе отмечается небольшой спад, который переходит в резкое снижение АОТ до фоновых (невозмущенных) значений в сентябре. Аналогичное поведение наблюдается в изменениях пирогенной активности: в мае-июне уровень лесопожарной активности невысок, затем во второй половине лета наступает фаза активности пирогенной обстановки с двумя максимумами в конце июля и середине августа. Такое поведение объясняется тем, что максимум в пожарной активности в 2001 г. наблюдался в июле, а в 2002 г. в августе. В сентябре лесные пожары затухают.

Таким образом, в период активизации лесных пожаров (июль-август) наблюдается значительный рост АОТ. Это обстоятельство указывает на сильное возмущающее воздействие пирогенных событий на сезонный ход АОТ нижней атмосферы.

### Заключение

Предварительный анализ спутниковых данных за период май-сентябрь 2000-2009 гг. показывает, что среднее летнее (июнь-август) значение АОТ в пожароопасные годы (2001-2003) на ~ 125% выше, чем в годы с низкой пирогенной активностью (2000, 2004-2009). В отдельные

дни с наиболее высоким уровнем пирогенной активности (в 2002 г.) среднесуточная АОТ по исследуемому участку значительно превышала фоновые (невозмущенные) значения, достигая значений 1,5-1,6. При этом значения АОТ в отдельных элементах (1x1 град.) среднесуточной карты распределения достигали 4,9.

На меньших временных масштабах поведение АОТ носит сложный, изменчивый характер. Кроме того, в отдельные годы, были зарегистрированы высокие значения АОТ, несмотря на отсутствие, либо малое количество «пожарных» пикселей, что возможно объясняется переносом аэрозольных частиц с воздушными массами из соседних регионов.

Работа выполнена при поддержке по программе Президиума РАН №16/3.

#### Литература

1. Коровин Г.Н., Исаев А.С. Охрана лесов от пожаров как важнейший элемент национальной безопасности России // Лесной бюллетень. 1998. № 8-9.
2. Афонин С.В., Белов В.В., Белан Б.Д., Панченко М.В., Сакерин С.М., Кабанов Д.М. Сравнение спутниковых (AVHRR/NOAA) и наземных измерений характеристик атмосферного аэрозоля // Оптика атмосферы и океана. 2002. Т. 15. № 12. С. 1118-1123.
3. Афонин С.В., Белов В.В., Панченко М.В., Сакерин С.М., Энгель М.В. Корреляционный анализ пространственных полей аэрозольной оптической толщи на основе спутниковых данных MODIS // Оптика атмосферы и океана. 2008. Т. 21. № 6. С. 510-515.
4. Гинзбург А.С., Губанова Д.П., Минашкин В.М. Влияние естественных и антропогенных аэрозолей на глобальный и региональный климат // Российский химический журнал. 2008. Т. LII. № 5. С. 112-119.
5. Соловьев В.С., Васильев Е.К. Спутниковый мониторинг лесных пожаров и оценка их последствий // Наука и образование, изд-во АН РС (Я), 2000. №4(20). С. 24-27.
6. Соловьев В.С. Спутниковый мониторинг в Якутии / Сб. статей. Космофизические исследования в Якутии. – Якутск: ЯФ Изд-во СО РАН, 2001, С. 302-308.
7. Соловьев В.С., Козлов В.И. Исследование пространственно-временной динамики лесных пожаров и облачности в Северо-Азиатском регионе по данным спутников NOAA // Оптика атмосферы и океана. 2005. Т. 18. № 01-02. С. 146-149.
8. Абушенко Н.А., Алтынцев Д.А., Минько Н.П., Семенов С.М., Таццилин С.А., Татарников А.В. Алгоритм обнаружения пожаров по многоспектральным данным прибора AVHRR // Тезисы докладов VI Международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана», Томск. 1999. С.69.
9. Remer L.A., Kaufman Y.J., Tanre D., Mattoo S., Chu D.A., Martins J.V., Li R.R., Ichoku C., Levy R.C., Kleidman R.G., Eck T.F., Vermote E., Holben B.N. The MODIS aerosol algorithm, products, and validation // J. Atmos. Sci. 2005. Vol.62, P.947-972.
10. Сакерин С.М., Береснев С.А., Горда С.Ю. и др. Характеристики годового хода спектральной аэрозольной оптической толщины атмосферы в условиях Сибири // Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 18. № 11. С. 566-574.

#### ЛИДАРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ АЭРОЗОЛЬНЫХ СЛОЕВ В ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЕ КАМЧАТКИ И ГРАВИТОФОТОФОРЕТИЧЕСКАЯ ГИПОТЕЗА ИХ ФОРМИРОВАНИЯ LIDAR OBSERVATIONS OF AEROSOL LAYERS IN UPPER ATMOSPHERE OF KAMCHATKA AND GRAVITOPHOTOPHORETIC GIPOTHESIS OF THEIR FORMATION

А.А. Черемисин<sup>1</sup>, П.В. Новиков<sup>2</sup>, И.С. Шнипов<sup>2</sup>, В.В. Бычков<sup>3</sup>, Б.М. Шевцов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Сибирский федеральный университет, Красноярск, [cher@akadem.ru](mailto:cher@akadem.ru)

<sup>2</sup>Красноярский институт железнодорожного транспорта, г. Красноярск, [novikov-pv@yandex.ru](mailto:novikov-pv@yandex.ru)

<sup>3</sup>Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

Regularly observed peaks of aerosol scattering in upper stratosphere at 35-50 km and in mesosphere at 60-75 km were registered in lidar observations carried out during the year from October 2007 to September 2008 in Kamchatka. Typical season features of the aerosol layer occurrence were found out. Also the calculations of aerosol particle levitation heights under the gravitophoretic forces were carried out for the same days and conditions of observations with use of satellite data of atmospheric temperature and the Earth IR radiation. Binding to the specific conditions of geographic point and time distinguish these calculation results from the results in [1] were the standard atmosphere model was used. According to the calculations the aerosol particle levitation picture had two-layer structure, and these levitation zones corresponded to the altitude ranges of aerosol layers observations. Variation of the levitation zone position had the similar season features with altitudes of aerosol layer observations. Thereby, formation of mesospheric aerosol layers at altitudes of 60-75 km and stratospheric