

## Вариации аэрозольной оптической толщи атмосферы и пирогенных событий в центральной Якутии по спутниковым данным

А.А. Будищев, В.С. Соловьев

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН,  
677980 Якутск, Ленина 31  
E-mails: a.budishev@ikfia.ysn.ru; solo@ikfia.ysn.ru*

По данным ДЗЗ (ИСЗ NOAA, Terra, Aqua) проведены исследования вариаций пирогенных событий и аэрозольной оптической толщины (АОТ) атмосферы в центральной Якутии в период май-сентябрь 2000-2009 гг. Показано, что среднее летнее (июнь-август) значение АОТ в пожароопасные годы (2001-2003 гг.) на ~ 125% выше, чем в годы с низкой пирогенной активностью (2000, 2004-2009 гг.). В отдельные дни с наиболее высоким уровнем пирогенной активности (в 2002 г.) среднесуточная АОТ по исследуемому участку (центральная Якутия) значительно превышала фоновые (невозмущенные) значения, достигая значений 1,5-1,6.

**Ключевые слова:** лесные пожары, аэрозоль, дистанционное зондирование.

### 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.

Следствием ЛП являются нарушения растительного покрова и связанных с ним лесных экосистем, а также опосредованное воздействие на окружающую среду. Например, в зоне вечной мерзлоты изменение радиационного баланса вследствие уменьшения альбедо земной поверхности может привести к возникновению термокарстовых образований с последующим изменением ландшафта и повышением обводненности местности, а масштабные нарушения криолитозоны могут привести к заметному увеличению выброса парниковых газов (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> и пр.), находящихся в большом количестве в вечномерзлых породах.

Кроме этого сильное воздействие оказывается на нижнюю атмосферу, 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).

В данной статье приводятся предварительные результаты исследования воздействия лесных пожаров в центральной Якутии на аэрозольную компоненту нижней атмосферы по спутниковым данным 2000-2009 гг.

## Исходные данные

Для исследований был выбран участок Приленского плато (центральная Якутия), находящийся в секторе  $60^{\circ}$ – $64^{\circ}$  с.ш. и  $120^{\circ}$ – $132^{\circ}$  в.д. (рис. 1). С севера (частично), востока и юга исследуемый участок окружен горными массивами Верхоянского и Станового хребтов, затрудняющих горизонтальный вынос инжектированных 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 представляют собой усредненные суточные карты распределения аэрозольной оптической толщины (АОТ); размеры отдельных элементов (пикселей) карты составляют –  $1 \times 1$  град. (широта  $\times$  долгота). Среднесуточные АОТ 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 АОТ по всему участку. По среднесуточным значениям рассчитывались среднедекадные и среднемесячные значения АОТ 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.

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 АОТ 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 АОТ.

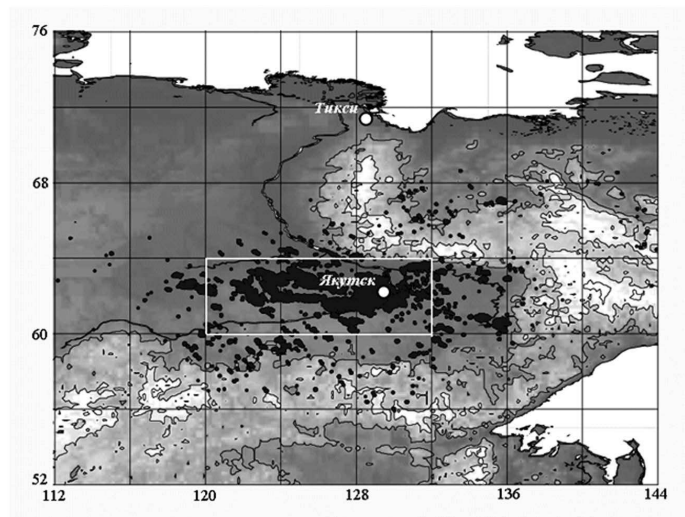


Рис. 1. Сводная карта распределения очагов лесных пожаров (темные точки), обнаруженных в 2002 г. по данным спутников NOAA на территории Якутии. Прямоугольником выделен исследуемый участок

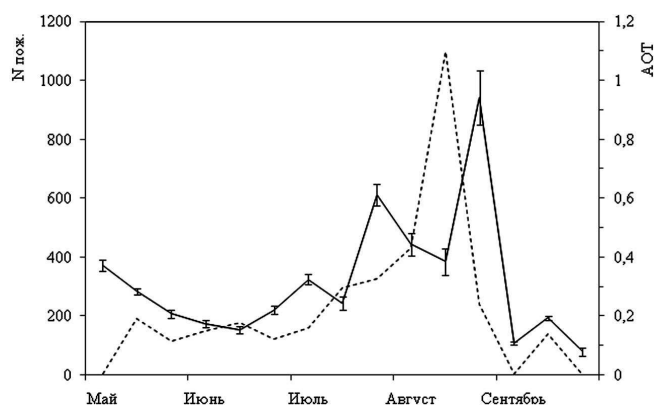


Рис. 2. Вариации среднедекадных значений количества «пожарных» пикселей и аэрозольной оптической толщины (АОТ) в период май-сентябрь 2002 г.: слева по вертикальной оси отложено  $N_{\text{пож}}$  (штриховая линия), справа – АОТ (сплошная линия)

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 среднемесячных вариаций  $N_{\text{пож}}$  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 июле. Ранее аналогичное поведение сезонного хода АОТ было показано в работе [10].

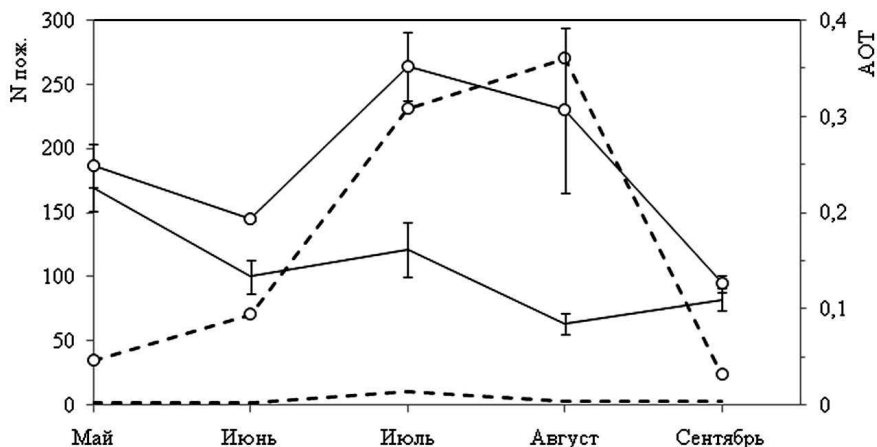


Рис. 3. Среднемесячные вариации  $N_{\text{пож}}$  и АОТ, рассчитанные для периодов май-сентябрь с высоким (2001-2003 гг.) и низким уровнем пирогенной активности (2000 г., 2004-2009 гг.). Сплошными линиями показаны вариации АОТ, прерывистыми –  $N_{\text{пож}}$ ; круглыми маркерами помечены вариации, 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 июле, 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 не высок, затем во второй половине лета наступает фаза активности пирогенной обстановки, 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.

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., Тацилин 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.

## Variations of aerosol optical thickness of atmosphere and pyrogenic events in central Yakutia on satellite data

A.A. Budishchev, V.S. Solovyev

*Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy of SB RAS (IKFIA SB RAS),  
677980, Yakutsk, 31 Lenin ave.*

*E-mail: a.budishev@ikfia.ysn.ru; solo@ikfia.ysn.ru*

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 summer average (June-August) of 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.

**Keywords:** forest fires, aerosols, remote sensing