

## Возмущения аэрозольной оптической толщи атмосферы, вызванные лесными пожарами в Якутии

В.С. Соловьев, А.А. Будищев\*

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН  
677980, г. Якутск, пр. Ленина, 31*

Поступила в редакцию 13.10.2009 г.

По данным ДЗЗ (ИСЗ NOAA, Terra, Aqua) проведены исследования вариаций пирогенных событий и аэрозольной оптической толщи (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 1,5–1,6.

*Ключевые слова:* лесные пожары, аэрозоль, дистанционное зондирование; forest fires, aerosols, remote sensing.

### Введение

Лесные пожары 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 лесных пожаров 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 ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и пр.), находящихся в большом количестве в вечномерзлых породах.

Кроме того, лесные пожары сильно воздействуют на нижнюю атмосферу, в результате 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 аэрозольный компонент нижней атмосферы по спутниковым данным 2000–2009 гг.

### 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 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 лесных пожаров [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 толщи (АОТ); размеры отдельных

\*Владимир Степанович Соловьев (solo@ikfia.ysn.ru); Артем Аркадьевич Будищев (a.budishev@ikfia.ysn.ru).

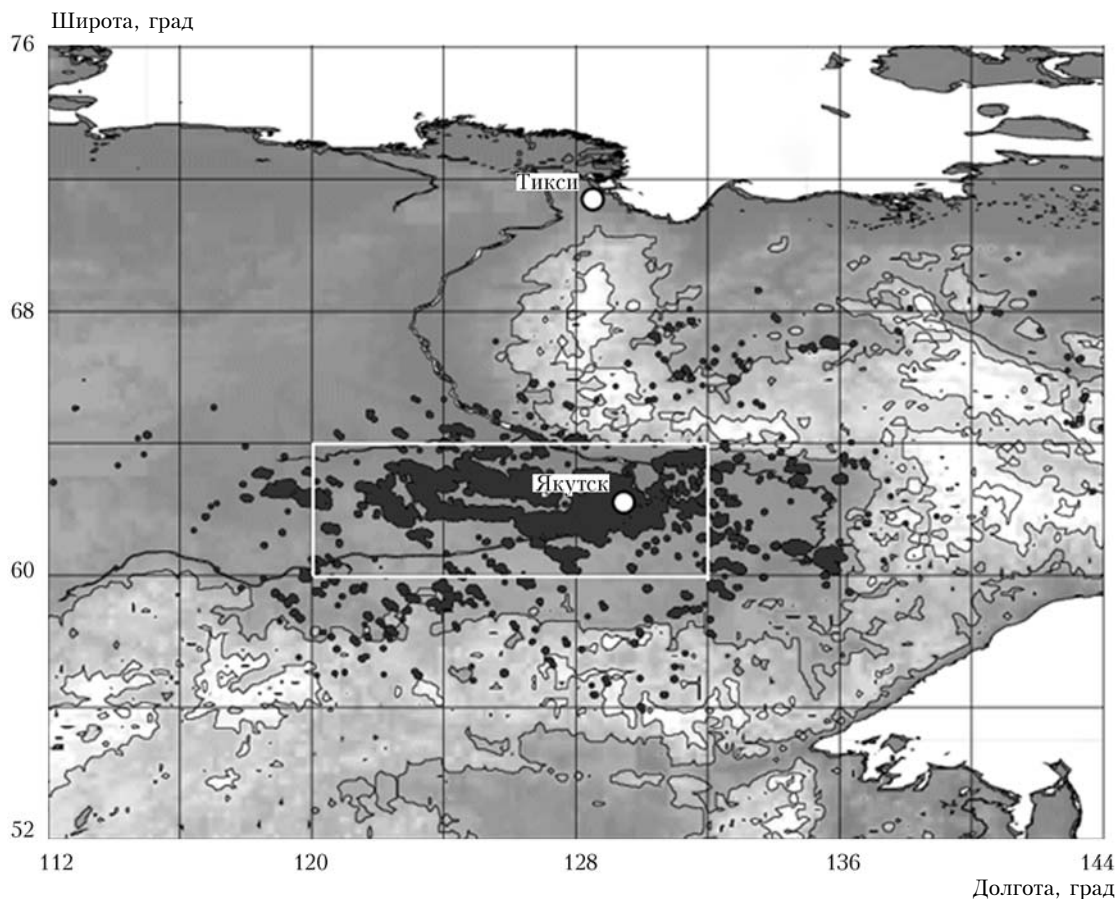


Рис. 1. Сводная карта распределения очагов лесных пожаров (темные точки), обнаруженных в 2002 г. по данным спутников NOAA на территории Якутии. Прямоугольником выделен исследуемый участок

элементов (пикселей) карты составляют  $1 \times 1^\circ$  (широта  $\times$  долготу). Среднесуточные АОТ исследуемого участка рассчитывались по 48 значениям в соответствии с количеством приходящих на него пикселей, причем при условии, что в усреднении было использовано не менее 50% пикселей, так как 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 лесные пожары на территории Якутии наблюдаются с мая по сентябрь, в основном в течение трех летних месяцев с максимумом во второй половине лета. Атмосферные осадки в Северо-Азиатском 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 объясняет наблюдаемый сезонный ход пожаров.

Лето 2002 г. в Якутии выдалось крайне пожароопасным: был зарегистрирован максимум активности лесных пожаров за последние 13 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 не охраняемой территории, обнаруженных по данным спутникового мониторинга, общая площадь лесных пожаров в 2002 г. составила более 500 тыс. га. Карта распределения лесных пожаров, обнаруженных по данным ИСЗ NOAA, представлена на рис. 1.

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

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 лесных пожаров

резко падает, и в сентябре пожары практически уже не детектируются, за исключением 14–15 сентября, когда наблюдалась небольшая «вспышка» пирогенной активности.

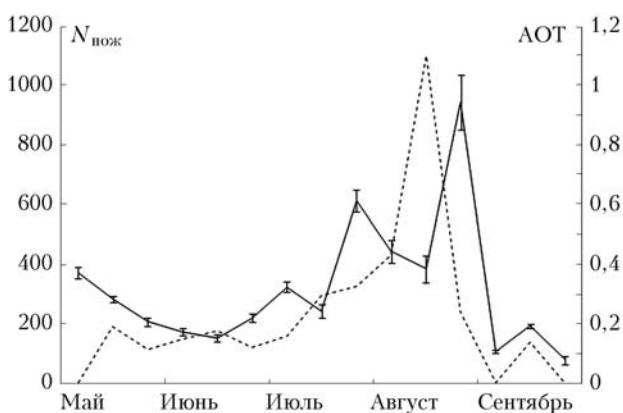


Рис. 2. Вариации среднедекадных значений количества «пожарных» пикселей и аэрозольной оптической толщи в мае–сентябре 2002 г.:  $N_{\text{пож}}$  – штриховая линия; AOT – сплошная

С начала мая и до середины июня значения AOT постепенно снижаются приблизительно в 2 раза (с 0,35 до 0,15). Затем спад сменяется тенденцией роста AOT, достигающей максимума в последней декаде августа (более 0,9), после чего отмечается резкий спад AOT ниже 0,2.

Данные регулярных наблюдений за лесопожарной обстановкой на территории Якутии, проводимых 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 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 уровнем (2000 и 2004–2009 гг.) – были построены соответствующие графики среднемесячных вариаций  $N_{\text{пож}}$  и AOT, представленные на рис. 3.

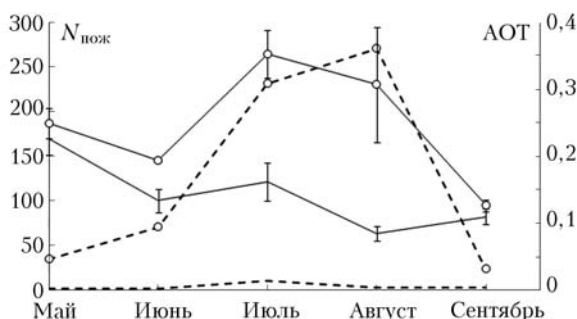


Рис. 3. Среднемесячные вариации  $N_{\text{пож}}$  и AOT, рассчитанные для мая–сентября с высоким (2001–2003 гг.) и низким уровнем пирогенной активности (2000, 2004–2009 гг.). Сплошные кривые – вариации AOT; штриховые –  $N_{\text{пож}}$ ; кружки – вариации, относящиеся к 2001–2003 гг.

Сплошными линиями показаны вариации AOT, прерывистыми –  $N_{\text{пож}}$ . Круглыми маркерами помечены графики вариаций, относящиеся к периоду 2001–2003 гг.

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

Кривая AOT(2001–2003 гг.) в отличие от AOT(2000, 2004–2009 гг.) ведет себя иначе: общее плавное снижение (май–июнь) сменяется ростом во второй половине лета. Максимум AOT (~0,35) наступает в июле, затем в августе отмечается небольшой спад, который переходит в резкое снижение AOT 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, в сентябре лесные пожары затухают.

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

## Заключение

Предварительный анализ спутниковых данных за период май–сентябрь 2000–2009 гг. показывает, что среднее летнее (июль–август) значение AOT 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 (2002 г.) среднесуточная AOT по исследуемому участку значительно превышала фоновые (невозмущенные) значения, достигая 1,5–1,6. При этом значения AOT в отдельных элементах ( $1 \times 1^\circ$ ) среднесуточной карты распределения достигали 4,9.

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

1. Коровин Г.Н., Исаев А.С. Охрана лесов от пожаров как важнейший элемент национальной безопасности России // Лесной бюллетень. 1998. № 8–9. С. 4–5.
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 атмосф. 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 атмосф. 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 // Рос. хим. ж. 2008. Т. LI. № 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-ва 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 атмосф. и океана. 2005. Т. 18. № 1–2. 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 докл. VI Междунар. симпоз. «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. V. 62. N 4. P. 947–972.
  10. Сакерин С.М., Береснев С.А., Горда С.Ю., Кабанов Д.М., Корниенко Г.И., Маркелов Ю.И., Михалев А.В., Николашкин С.В., Панченко М.В., Поддубный В.А., Полькин В.В., Смирнов А., Тацилин М.А., Турчинович С.А., Турчинович Ю.С., Холбен Б., Еремина Т.А. Характеристики годового хода спектральной аэрозольной оптической толщи атмосферы в условиях Сибири // Оптика атмосф. и океана. 2009. Т. 22. № 6. С. 566–574.

*V.S. Solovyev, A.A. Budishchev. Disturbances of aerosol optical thickness of the atmosphere caused by forest fires in Yakutia.*

The aerosol optical thickness (AOT) and pyrogenic event variations in central Yakutia in 2000–2009 were researched using remote data (NOAA, Terra and Aqua). It is shown that the average summer (June–August) AOT for years with high pyrogenic activity (2001–2003) is by ~125% greater 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 exceeded the undisturbed values up to 1,5–1,6.