

**СЕЗОННЫЕ ВАРИАЦИИ АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ
И УГАРНОГО ГАЗА В ГОДЫ С РАЗЛИЧНЫМ УРОВНЕМ ЛЕСОПОЖАРНОЙ
АКТИВНОСТИ В МЕРЗЛОТНОМ РЕГИОНЕ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ**

О.А. Томшин, В.С. Соловьев

Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера СО РАН, Якутск, Россия
tomshinoa@gmail.com

**SEASONAL VARIATIONS OF ATMOSPHERIC AEROSOLS
AND CO DURING THE YEARS WITH DIFFERENT LEVELS
OF WILDFIRE ACTIVITY IN EASTERN SIBERIA**

O.A. Tomshin, V.S. Solovyev

Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy SB RAS, Yakutsk, Russia

Аннотация. Представлены результаты исследований динамики лесных пожаров в бореальных лесах Якутии (Восточная Сибирь) за 2001–2016 гг. Проведено исследование вариаций аэрозольной оптической толщины атмосферы (АОТ, 550 нм), аэрозольного индекса (АИ) и общего содержания угарного газа в период май–сентябрь в годы с различным уровнем лесопожарной активности. Показано, что сезонный ход АОТ, АИ и СО в наиболее пожароопасные годы существенно отличается от сезонного хода в года со средним и низким уровнем лесопожарной активности.

Ключевые слова: лесные пожары, аэрозоль, угарный газ, дистанционное зондирование.

Annotation The results of studies of the dynamics of forest fires in the boreal forests of Yakutia (Eastern Siberia) for 2001–2016 are presented. Variations in the aerosol optical thickness of the atmosphere (AOT, 550 nm), aerosol index (AI) and total carbon monoxide content during the period May–September in years with different levels of forest fire activity were studied. It is shown that the seasonal cycle of AOT, AI and CO in the most fire-dangerous years differs significantly from the seasonal cycle in the year with medium and low level of forest fire activity.

Keywords: forest fires, aerosol, carbon monoxide, remote sensing.

Введение

Лесные пожары (ЛП) являются важным природным фактором, оказывающим значительное влияние на окружающую среду [Щербаков и др., 1979; Соловьев и др., 2009; Швиденко и др., 2011]. В ходе пожаров в атмосферу выбрасывается значительное количество парниковых газов и аэрозольных частиц, влияющих на химические процессы в атмосфере, радиационный баланс и в целом климат. Исследованиям крупномасштабных лесных пожаров и их влияния на характеристики атмосферных аэрозолей посвящен ряд публикаций [Соловьев, Будищев, 2010; Томшин и др., 2012; Tomshin, Solovyev, 2014].

Цель работы — исследование влияния лесопожарной активности на сезонный ход аэрозольных характеристик атмосферы и общего содержания СО в бореальных лесах Восточной Сибири (Якутии).

Данные

Информация об очагах лесных пожаров получена по данным радиометров MODIS/Terra (продукт MOD14A1 v6) и AVHRR/NOAA в период 2001–2016 гг. Уровень лесопожарной активности на исследуемой территории оценивался количеством «хотспотов», аномально горячих точек (пикселей), обнаруженных на космоснимках. Оценка выгоревших площадей проведена по данным MODIS/Terra, Aqua (продукт MCD45A1).

Среднемесячные значения АОТ атмосферы на длине волны 550 нм получены по данным радиометра

MODIS/Terra (MOD08_M3 v6). Среднесуточные значения аэрозольного индекса (АИ) получены по данным приборов OMI/Aura (продукт OMTO3d v003), TOMS/Earth Probe (продукт TOMSEPL3 v008). АИ отражает присутствие в атмосфере сильно поглощающих УФ-излучение аэрозолей, доминирующих в выбросах от ЛП. Для исследования сезонных вариаций общего содержания СО в атмосфере использованы среднемесячные данные прибора AIRS/Aqua (продукт AIRX3STM v006). Данные приборов MODIS, OMI, AIRS и TOMS получены из открытых ресурсов Центра космических полетов им. Р. Годдарда НАСА [Acker et al., 2007].

Данные о температуре, влажности и осадках были взяты из NCEP-реанализа [Kalnay et al., 1996]. Метеоданные были приведены к виду отклонений среднесезонных (май–сентябрь) значений от среднемноголетних.

Для оценки степени возмущающего воздействия лесопожарной активности на параметры атмосферы, из рассматриваемого периода были выделены сезоны с высоким (2001, 2002, 2012–2014 гг.), средним (2003, 2005, 2008–2011 гг.) и низким (2004, 2006, 2007, 2015, 2016 гг.) уровнем лесопожарной активности, обозначенные на рис. 1 красным, серым и синим, соответственно. Критерием разделения служило итоговое (суммарное) количество хотспотов по годам, которое для пожароопасных сезонов составило в среднем 23 тыс., для средних 6 тыс. и для низких 1 тыс. в год.

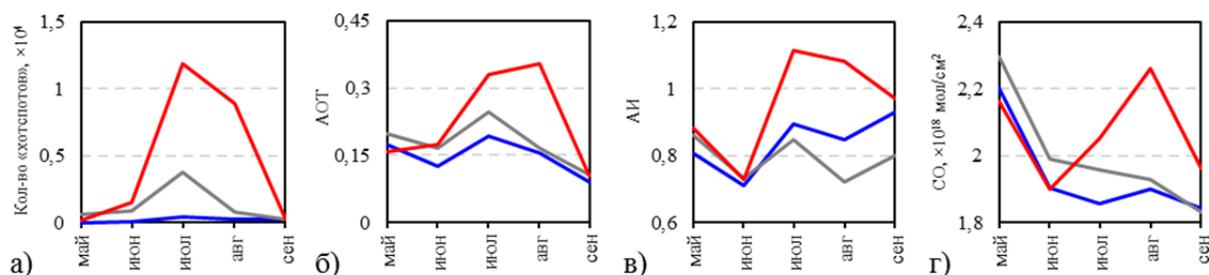


Рис. 1. Вариации а) количества хотспотов, б) АОТ, в) АИ и г) общего содержания СО в период май–сентябрь в годы с высоким (красные линии), средним (серые линии) и низким (синие линии) уровнем лесопожарной активности

Обсуждение результатов

Для пожароопасных периодов с высоким, средним и низким уровнем пирогенной активности на территории Якутии, построены среднеемесячные графики количества детектированных хотспотов и значений АОТ, АИ, СО (рис. 1). На рис. 1, а показаны вариации количества хотспотов в годы с различным уровнем лесопожарной активности. Количество хотспотов в мае и июне в годы с высоким и средним уровнем активности отличается незначительно. Максимум лесных пожаров во всех трех периодах приходится на июль, однако его величина значительно различается. Так, для наиболее пожароопасных периодов максимальное значение составляет ~12000, для средних ~4000 и ~400 для наименее пожароопасных. В августе для средних и непожароопасных периодов наблюдается значительный спад активности ЛП в среднем на 70 % по сравнению с июлем, в то время как для пожароопасных периодов спад составляет только 25 %. В сентябре лесопожарная активность во всех трех периодах прекращается.

Вариации АОТ в период май–сентябрь представлены на рис. 1, б. Сезонный ход АОТ в периоды со средним и низким уровнем лесопожарной активности отличается незначительно. Значения АОТ в эти периоды спадают с мая по июнь, затем наблюдается рост и максимум в июле (~0.2–0.25) и плавное падение до минимума в сентябре (~0.1). В пожароопасные периоды рост значений в июле более значителен и достигает ~0.3, после чего следует максимум в августе (~0.35) и резкий спад до минимума в сентябре (~0.1). Отклик на ЛП в вариациях АИ (рис. 1, в) больше по сравнению с АОТ и лучше согласуется с вариациями пожаров — резкий рост значений с максимумом в июле, после чего следует небольшой спад в августе. Более слабая реакция АОТ обусловлена априорным занижением этого параметра, вследствие крайне высокой плотности дымовых шлейфов (соответственно, критически высоких для методики расчета АОТ значений альбедо), экранирующих исследуемый участок.

На рис. 1, г представлены вариации общего содержания угарного газа. В годы со средним и низким уровнем лесопожарной активности сезонный ход СО имеет одинаковый вид — максимум приходится на май, после чего следует постепенный спад значений до сентября. Вариации СО в наиболее пожароопасные периоды имеют значительные отличия —

после спада в мае–июне наблюдается рост значений в июле, максимум в августе ($2.2 \cdot 10^{18}$ мол/см²) и спад в сентябре. Рост общего содержания СО в этот период наиболее вероятно вызван именно лесопожарной активностью.

Вариации отклонений значений метеопараметров от среднееголетних представлены на рис. 2. В годы с высоким и средним уровнем лесопожарной активности наблюдались повышенные значения температуры воздуха в период май–июль относительно среднееголетних (рис. 2, а), что способствовало возникновению и развитию ЛП. Значения относительной влажности (рис. 2, б) в период май–сентябрь в годы с высоким и средним количеством ЛП более низкие, в то время как в наименее пожароопасные года значения влажности ближе к среднееголетним. Как следует из рис. 2, в, сезонный ход осадков во все периоды примерно одинаков.

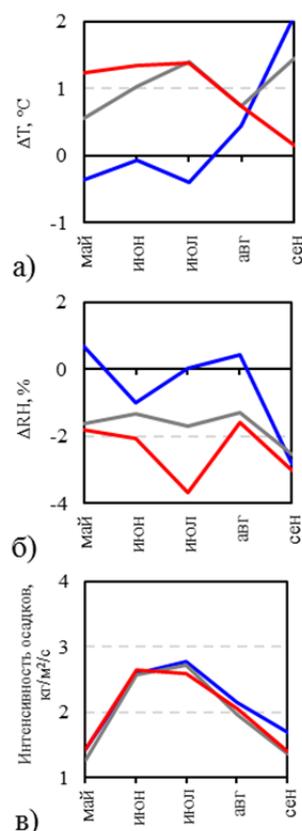


Рис. 2. Вариации а) ΔT, б) ΔRH и в) интенсивности осадков в период май–сентябрь в годы с высоким (красные линии), средним (серые линии) и низким (синие линии) уровнем лесопожарной активности

На рис. 3 приведены карты пространственного распределения среднесуточных значений АОТ (рис. 3, а), АИ (рис. 3, б) и общего содержания угарного газа (рис. 3, в) за 22 июля 2014 г. Максимальные среднесуточные значения многократно превысили фоновые и составили: в распределении АОТ 4.9 (фоновые значения ~0.2), АИ – 6 (фоновые значения ~0.8), общего содержания СО — $5.4 \cdot 10^{18}$ мол./см² (фоновые значения $1.85 \cdot 10^{18}$ мол./см²). Как видно из рисунков, аэрозольное облако, образовавшееся вследствие лесных пожаров в западной части Якутии, выносится воздушными массами в западном направлении, причем концентрация угарного газа сохраняется высокой на протяжении всего пути перемещения аэрозольного облака.

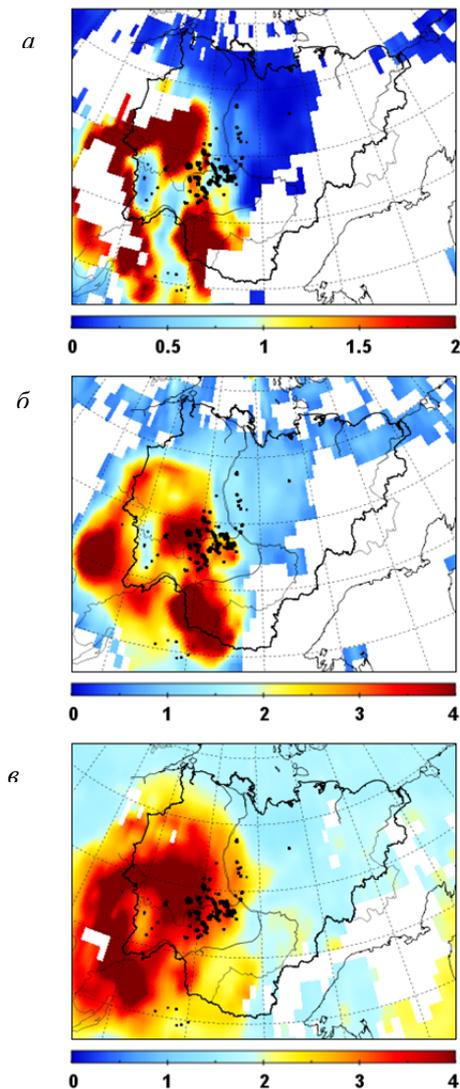


Рис. 3. Карты пространственного распределения значений а) АОТ, б) АИ и в) общего содержания СО ($\times 10^{18}$ мол./см²) за 22 июля 2014 г. Черными точками отмечены хотспоты

Заключение

Лесные пожары в Якутии оказывают значительное воздействие на сезонный ход аэрозольной компоненты атмосферы, формируя существенный рост АОТ/АИ в июле-августе. В отдельные месяца с наиболее высоким уровнем пирогенной активности среднесуточные значения АОТ по исследуемому участку (Якутия) значительно превышали фоновые, достигая значений 0.48. При этом значения АОТ в отдельных ячейках среднемесячной карты распределения достигали 1.73.

Распределение АИ даёт более адекватную оценку содержания аэрозолей в атмосфере при высоких значениях альbedo подстилающей поверхности, поскольку АОТ, в силу методических ограничений не рассчитывается в условиях сильной задымленности, характеризующейся высокими значениями альbedo.

В годы с высоким и средним уровнем лесопожарной активности наблюдались повышенные значения температуры воздуха в период май-июль относительно среднемноголетних. Значения относительной влажности в период май-сентябрь в годы с высоким и средним количеством ЛПП более низкие, в то время как в наименее пожароопасные года значения влажности ближе к среднемноголетним. Сезонный ход осадков во все периоды примерно одинаков.

Список литературы

- Соловьев В.С., Козлов В.И, Муллаяров В.А. Дистанционный мониторинг лесных пожаров и гроз в Якутии, отв. редактор Соловьев С.И. ИКФИА СО РАН. Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2009. 108 с.
- Соловьев В.С., Будищев А.А. Возмущения аэрозольной оптической толщины атмосферы, вызванные лесными пожарами в Якутии // Оптика атмосферы и океана. 2010. Т. 23, № 7. С. 626–629.
- Томшин О.А., Протопопов А.В., Соловьев В.С. Исследование вариаций атмосферного аэрозоля и угарного газа в области лесных пожаров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9, № 1. С. 145–150.
- Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г., Ваганов Е.А. и др. Влияние природных пожаров в России 1998–2010 гг. на экосистемы и глобальный углеродный бюджет // Доклады академии наук. 2011. Т. 441, № 4. С. 544–548.
- Щербаков И.П., Забелин О.Ф., Карпель Б.А. и др. Лесные пожары в Якутии и их влияние на природу леса. Новосибирск: Наука, 1979. 226 с.
- Acker J.G., Leptoukh G. Online Analysis Enhances Use of NASA Earth Science Data // EOS, Transactions AGU. 2007. V. 88. N 2. P. 14–17.
- Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // Bull. Amer. Meteor. Soc. 1996. N 77. P. 437–470.
- Tomshin O. A., Solovyev V. S. The impact of large-scale forest fires on atmospheric aerosol characteristics // Inter. J. Remote Sensing. 2014. V. 35, N 15. P. 5742–5749.