

Исследование вариаций атмосферного аэрозоля и угарного газа в области лесных пожаров

О.А. Томшин, А.В. Протопопов, В.С. Соловьев

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН
677980, г. Якутск, проспект Ленина, 31
E-mail: otomshin@ikfia.ysn.ru*

По данным ДЗЗ (ИСЗ NOAA, Terra, Aqua, Aura) проведены исследования вариаций пирогенных событий, аэрозольной оптической толщины (АОТ) атмосферы, аэрозольного индекса (АИ) и концентрации угарного газа (СО) вблизи г. Братска в период с 20 сентября по 5 октября 2011 г. Показано, что пиковые значения АОТ и концентрации СО на фазе максимума пожарной активности в несколько раз превышали фоновые.

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

Введение

Лесные пожары (ЛП) являются важным природным фактором, оказывающим существенное влияние на состояние, биоразнообразие и ресурсный потенциал лесных экосистем. 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 (<http://www.forest.ru/rus/bulletin/08-09/8.html>).

Следствием ЛП являются нарушения растительного покрова и связанных с ним лесных экосистем, а также опосредованное воздействие на окружающую среду. Уменьшение альбедо земной поверхности в зоне вечной мерзлоты вследствие лесных пожаров 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_2 , CH_4 и пр.), находящихся в большом количестве в вечномёрзлых породах.

В результате ЛП в атмосферу выбрасывается большое количество продуктов горения – смесь различных газов, соединений углерода, аэрозольных и дымовых частиц, оказывающих значительное влияние на физические и химические процессы в атмосфере.

Аэрозольные частицы играют важную роль в температурном балансе атмосферы, так как способны поглощать, рассеивать, отражать солнечную радиацию и инициировать процессы облакообразования. Исследованиям оптических характеристик атмосферных аэрозолей, их роли в химических процессах и радиационном балансе нижней атмосферы и др. посвящен ряд работ (Афонин и др., 2002; Афонин и др., 2008; Гинзбург и др., 2008).

Целью работы является исследование вариаций атмосферного аэрозоля и концентрации СО, вызванных лесными пожарами.

Исходные данные

Были рассмотрены лесные пожары, которые имели место осенью 2011 г. в окрестностях г. Братска. Очаги лесных пожаров детектировались по данным спутников NOAA (Соловьев, Будищев, 2010; Соловьев, Козлов, 2005; Соловьев и др., 2009), полученным на приёмной станции «Сканор» (ИКФИА СО РАН). Уровень лесопожарной активности в данной работе оценивался количеством «пожарных» пикселей, обнаруженных с помощью

порогового алгоритма детектирования очагов ЛП (Абушенко и др., 1999). Для оценки вариаций характеристик атмосферного аэрозоля и концентрации угарного газа использованы данные приборов MODIS (ИСЗ Terra, Aqua), OMI (ИСЗ Aura) и AIRS (ИСЗ Aqua). Все данные находятся в свободном доступе в сети интернет. Для оценки перемещения воздушных масс использовалась метеорологическая модель NCEP/NCAR Reanalysis (Kalnay et al., 1996).

В качестве характеристик атмосферного аэрозоля были использованы аэрозольная оптическая толщина (AOT) и аэрозольный индекс (AI). Аэрозольная оптическая толщина – безразмерная величина, характеризующая ослабление интенсивности светового потока при прохождении через атмосферный аэрозоль. Аэрозольный индекс – безразмерный параметр, который служит индикатором присутствия в атмосфере аэрозолей (сажа и пыль), сильно поглощающих ультрафиолетовую радиацию.

Карты распределения аэрозольной оптической толщины (продукт MOD04_L2 http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/_docs/ATBD_MOD04_C005_rev2.pdf) строились по результатам обработки данных полученных с одиночных пролётов спутника над исследуемой областью; размер элемента (пикселя) карты составляет – 10x10 км. Данные прибора OMI – продукт OMTO3d (http://eospsso.gsfc.nasa.gov/eos_homepage/for_scientists/atbd/docs/OMI/ATBD-OMI-03.pdf), представляют собой усредненные суточные карты распределения аэрозольного индекса (AI); размер элемента (пикселя) карты составляет – 1x1 град. (широта x долгота).

Распределение полного содержания угарного газа (CO) в атмосфере построено по данным прибора AIRS – продукт AIRX2RET (http://eospsso.gsfc.nasa.gov/eos_homepage/for_scientists/atbd/docs/AIRS/atbd-airs-L2.pdf), с пространственным разрешением 1x1 град. (широта x долгота).

Метеорологическая модель NCEP/NCAR Reanalysis позволяет рассчитывать матрицу ветрового поля на 17 изобарических высотах, с временным разрешением 6 час.; размер ячейки «сетки» ветрового поля составляет 0.25x0.25 град. (широта x долгота).

За период май-сентябрь 2003–2011 гг. были рассчитаны усреднённые (фоновые) значения AOT и концентрации CO над исследуемой областью. Наиболее характерные невозможные значения AOT составили ~0,15–0,20, концентрации CO ~1,9x10¹⁸ мол/см².

Обсуждение результатов

В период с 20 сентября по 5 октября 2011 г. на территории Иркутской области, вблизи г. Братска было зарегистрировано большое количество очагов лесных пожаров на общей площади более 1000 га. Максимум пирогенной активности пришёлся на 1–2 октября.

На рис. 1 представлены карты пространственного распределения AOT (рис. 1а), концентрации CO (рис. 1б) и среднесуточных значений AI (рис. 1в) за 28 сентября. Серыми кружочками отмечены обнаруженные очаги пожаров, векторами – поле ветров, рассчитанное на высоте 850 мбар (~1,5 км). Выбор высоты обусловлен возможностями модели NCEP/NCAR Reanalysis, а так же результатами модельных расчётов, показывающих, что основная масса аэрозольных и дымовых частиц, образовавшихся вследствие ЛП, выбрасывается на высоты 1,5–2,5 км (Шлычков, Мальбахов, 2004), где в дальнейшем осуществляется их горизонтальный перенос воздушными массами.

Как видно из рисунка, первые проявления реакции атмосферы на воздействие лесных пожаров, наблюдаются в концентрации CO и лишь через день – в распределении AOT и AI. Пробелы данных в распределении AOT/AI вызваны невозможностью восстановления соответствующих параметров вследствие ограничений методики, которая не позволяет получать конечные значения над участками с высокой отражательной способностью – плотная облачность, водная поверхность или густой дымовой шлейф.

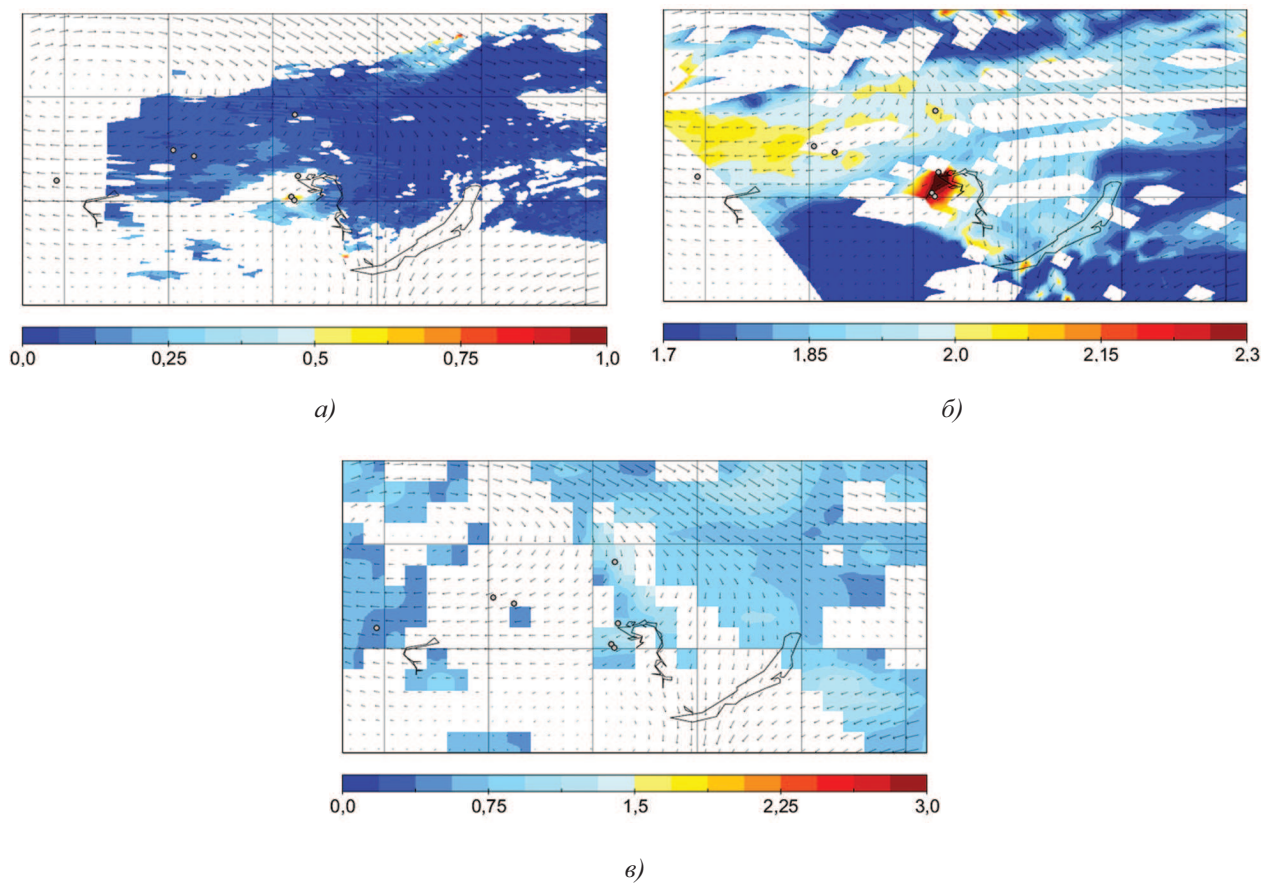


Рис. 1. Карты распределения а) аэрозольной оптической толщины, б) концентрации угарного газа (1018 мол/см^2), в) аэрозольного индекса за 28 сентября

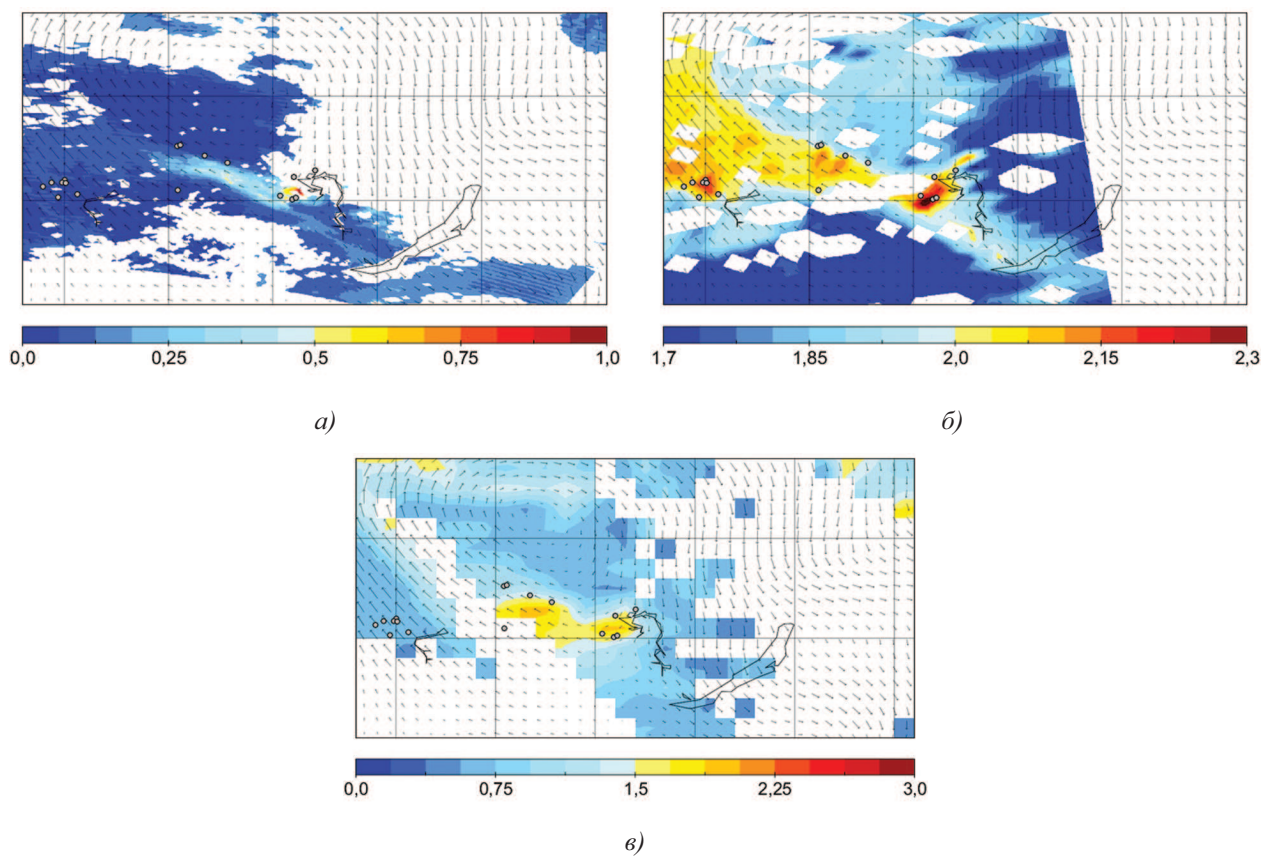
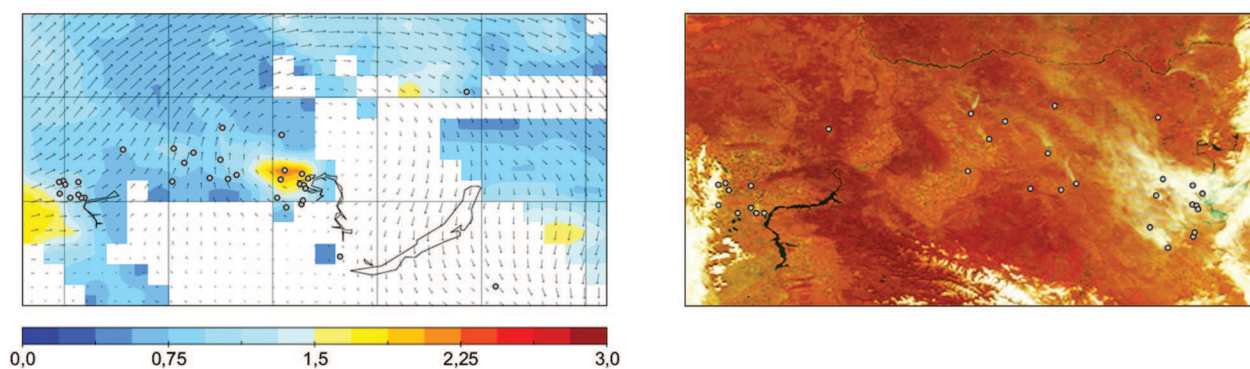
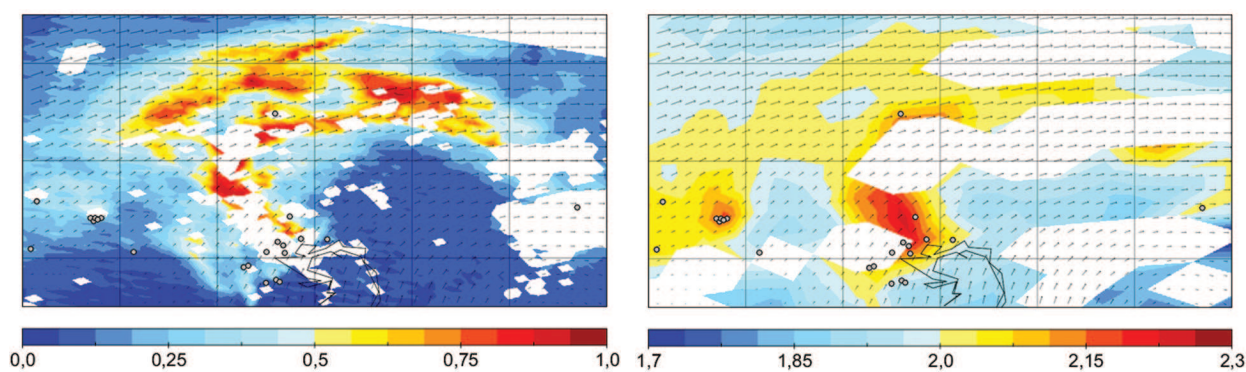


Рис. 2. Карты распределения а) аэрозольной оптической толщины, б) концентрации угарного газа (1018 мол/см^2), в) аэрозольного индекса за 29 сентября

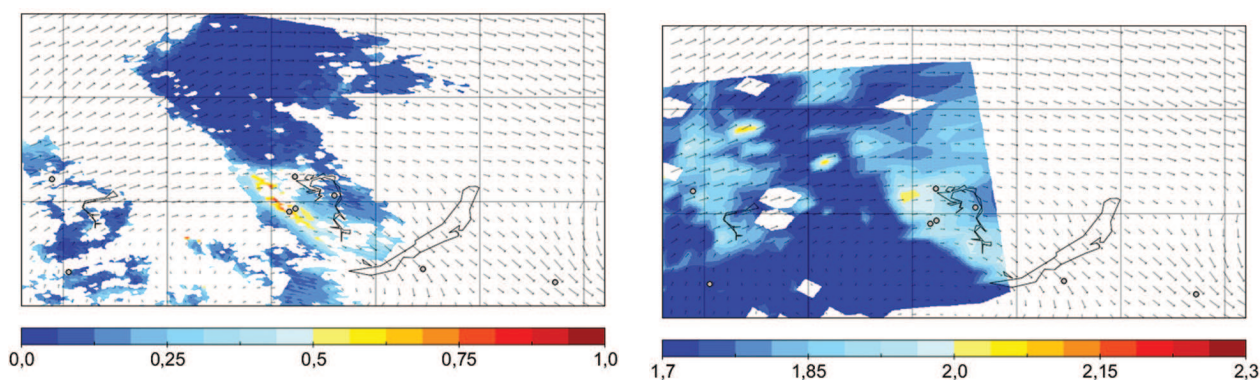
На следующих рисунках (рис. 2а, 2б, 2в) представлена динамика развития возмущений, вызванных ЛП. С увеличением пирогенной активности величина возмущений возрастает. Форма неоднородностей в распределении АОТ, СО и АІ достаточно хорошо согласуется с конфигурацией ветрового поля.



а) б)
Рис. 3. а) Карта распределения аэрозольного индекса и
б) снимок в видимом диапазоне за 30 сентября



а) б)
Рис. 4. Карты распределения а) аэрозольного индекса и
б) концентрации угарного газа (1018 мол/см²) за 1 октября



а) б)
Рис. 5. Карты распределения а) аэрозольного индекса и
б) концентрации угарного газа (1018 мол/см²) за 4 октября

Как видно из рис. 3а, группа очагов ЛП, расположенная севернее Красноярского водохранилища не вызывает возмущений в распределении АІ, однако, «аналогичная» группа

очагов вблизи г. Братска вызывает заметные возмущения. Это объясняется тем, что активность группы очагов пожаров, локализованных вблизи г. Братска, выше, на что указывают плотные дымовые шлейфы хорошо заметные на увеличенном снимке, сделанном в видимом диапазоне (рис. 3б).

Максимум пожарной активности пришелся на 1 октября (рис. 4). В этот день в распределении АОТ и СО наблюдались максимальные значения, составившие 0,92–0,98 и $4,1 \times 10^{18}$ мол/см², соответственно.

Распределения АОТ и СО на фазе спада пирогенной активности представлены на рис. 5. Число зарегистрированных очагов пожаров сократилось в 3–4 раза. Концентрация СО снизилась до фоновых значений, хотя в распределении АОТ на отдельных участках продолжают сохраняться повышенные значения.

Заключение

Проанализированы пространственно-временные вариации распределения значений АОТ и концентрации СО, вызванные лесными пожарами, локализованными в окрестностях г. Братска осенью 2011 г. Расчет фоновых сезонных (май–сентябрь 2003–2011 гг.) значений АОТ и концентрации СО над исследуемым участком показал, что усредненные значения АОТ и СО составляют 0,15–0,20 и $1,9 \times 10^{18}$ мол/см², соответственно. На фазе максимума активности лесных пожаров пиковые значения АОТ превышали невозмущенные значения в 4–5 раз, достигая – 0,92–0,98. Аналогичные максимальные значения концентрации СО превышали фоновые в 2 раза, достигая – $4,1 \times 10^{18}$ мол/см².

Литература

1. Абушенко Н.А., Алтынцев Д.А., Минько Н.П., Семенов С.М., Тащилин 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.
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., Будищев А.А. Возмущения аэрозольной оптической толщины атмосферы, вызванные лесными пожарами в Якутии // Оптика атмосферы и океана. 2010. Т. 23. №7. С. 626–629.
6. 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.
7. Соловьев В.С., Козлов В.И., Мулларов В.А. Дистанционный мониторинг лесных пожаров и гроз в Якутии / Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2009. – 108 с.
8. Шлычков В.А., Мальбахов В.М. Расчёт высоты подъема дымового аэрозоля, вовлекаемого в облачные системы в зоне лесного пожара // Оптика атмосферы и океана. 2004. Т. 17. №5–6. С. 453–456.
9. Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Leetmaa A., Reynolds R., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K. C., Ropelewski C., Wang J., Jenne R., Joseph D. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // Bull. Amer. Meteor. Soc. 1996. №77. P. 437–470.

Study of atmospheric aerosol and carbon monoxide variations over forest fires

O.A. Tomshin, A.V. Protopopov, V.S. Solovyev

*Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy of SB RAS
677980, Yakutsk, Lenin Ave, 31
E-mail: otomshin@ikfia.ysn.ru*

The aerosol optical thickness (AOT), aerosol index (AI), carbon monoxide (CO) and pyrogenic events variations over Bratsk from September 20 to October 5 2011 were studied on remote data (NOAA, Terra, Aqua, Aura). It is shown that maximum values of AOT and CO concentration are strongly exceeding undisturbed values.

Keywords: forest fires, aerosol, aerosol index, carbon monoxide, satellite observation.