

Исследование характеристик аэрозолей над Чёрным морем посредством системы FIRMS во время пожаров за период 2007–2018 гг.

Д. В. Калининская, Д. А. Рябоконт

*Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, 299011, Россия
E-mail: kalinskaya_d_v@mail.ru*

Проведён статистический анализ данных по пожарам системы FIRMS по спутниковой информации MODIS и VIIRS за 2007–2018 гг. На основе методик обработки изображений в инфракрасном диапазоне (на канале 4 мкм) по данным MODIS и VIIRS исследованы вариации мощности излучения от пожаров. Обработка проводилась для термически активных участков, расположенных вблизи Черноморского региона, за исследуемый период. Построены карты пожаров за год и день с наибольшим числом пожаров. Проанализированы основные оптические и микрофизические характеристики атмосферного аэрозоля для года, месяцев и дат с наибольшим количеством пожаров для Черноморского региона. Проведён комплексный анализ изменчивости основных оптических характеристик с 2007 по 2018 г. в совокупности с исследованием спутниковых изображений и переносов воздушных масс. Выявлены периоды и даты максимального воздействия на атмосферу горящей биомассы, возникшей вследствие пожаров, регистрируемых на побережье и ближних к Черноморскому региону территориях. Проведено исследование возможного источника переноса в день, когда было зарегистрировано наибольшее за исследуемый период количество точек возгорания по данным MODIS и VIIRS.

Ключевые слова: EOSDIS, MODIS, VIIRS, AERONET, обратные траектории, Чёрное море

Одобрена к печати: 24.07.2019

DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-4-247-255

Возрастание масштабов углеродсодержащих эмиссий обуславливает неоднозначные изменения состояния климатически активных компонентов. В частности, деформации микро- и макроструктуры облачных полей, вызванные активным проникновением дымовых аэрозолей в атмосферу, а также изменения отражательной способности подстилающей поверхности ведут к труднопрогнозируемым вариациям радиационного форсинга (Кондратьев, Григорьев, 2004). Пожары играют важную роль в формировании локальной, региональной и глобальной изменчивости свойств атмосферы. Проявляется это, например, в выбросах в атмосферу парниковых газов и аэрозоля. Связанные с лесными пожарами выбросы аэрозоля в атмосферу могут оказывать существенное влияние на микрофизические и оптические характеристики облаков, а следовательно, на процессы осадкообразования и в результате — на погоду целого региона (Рахимов и др., 2014).

Сажа как побочный продукт горения оказывает существенное влияние на атмосферу, оседая на низко расположенных облаках и удерживая тепло Земли. Кроме того, сажа с ветрами и облаками доходит до снегов и морей, где осажается на водную и снежную поверхность, снижая отражательную способность, что вызывает дополнительное таяние снегов и испарение воды (Панов и др., 2018). Атмосферный аэрозоль и сажа являются радиационно-активными составляющими атмосферы, влияющими на изменения климата. В связи с этим значительный интерес представляет изучение источников сажесодержащего аэрозоля природного и антропогенного характера, таких как, например, лесные пожары и городские смоги (Рахимов и др., 2014). Оценки изменчивости относительного содержания сажи в атмосферном аэрозоле важны для модернизации эмпирических аэрозольных моделей и климатических оценок (Бондур и др., 2016).

Органический аэрозоль как совокупное понятие имеет сложный химический состав, весьма широкий спектр распределения по размерам и универсальную распространённость.

Существенным источником органического аэрозоля являются продукты лесных пожаров, главным образом сажа и пепел, которые могут поглощать заметную долю падающей на Землю солнечной радиации (Кабанов, Панченко, 1984).

Цели настоящей работы заключались в следующем:

- провести исследование данных по пожарам системы FIRMS (Fire Information for Resource Management System) по спутниковым данным MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) и VIIRS (Visible/Infrared Imager/Radiometer Suite) за 2007–2018 гг.;
- построить по данным MODIS и VIIRS карты пожаров за год и за день с наибольшим числом пожаров;
- проанализировать основные оптические и микрофизические характеристики атмосферного аэрозоля для периодов и дат с наибольшим количеством пожаров.

Приборы и материалы

Система EOSDIS (Earth Observing System (EOS) Data and Information System) — первая международная система распределения баз космических данных, которая создана и функционирует в рамках экспериментального проекта по обмену каталогами (Catalog Interoperability Experiment — CINTEX). Информационная система NASA EOSDIS является основной структурообразующей частью CINTEX. В настоящее время в эту систему входят 15 центров хранения и обработки космических данных: девять — из США и по одному — из Австралии, Германии, Израиля, Канады, России и Японии. Особенностью системы данных EOSDIS, а соответственно и CINTEX, является то, что поиск данных пользователем ведётся одновременно по всем центрам данных, включённым в систему. EOSDIS обеспечивает все сервисы, необходимые для выполнения программы EOS, а именно сбор и хранение данных, их обработку, предоставление средств удалённого доступа к каталогам данных справочной информации. Одним из ключевых элементов EOS является возможность периодического структурирования необработанного архива данных с использованием обновлённой информации о калибровке и геолокации (Justice et al., 2002).

Одним из продуктов EOSDIS являются данные спектрального радиометра MODIS, а именно данные по активным пожарам (Justice et al., 2002). Они были первыми дистанционно обнаруженными объектами с разрешением ~ 1 км, которые могли быть проанализированы в сравнительном отношении с бортовыми наземными датчиками пожароопасной обстановки. С момента их создания в 2000 г. данные по пожарам MODIS были использованы для обоснования широкого круга научных вопросов относительно воздействия аэрозоля горячей биомассы на климат Земли (Chen et al., 2013; Chu et al., 2002; Chuvieco et al., 2008), а также в многочисленных задачах оперативного мониторинга и дистанционного зондирования (Glasius et al., 2011; Ichoku et al., 2016; Panchenko et al., 2012).

В работе проанализированы данные, предоставляемые системой FIRMS (Fire Information for Resource Management System), которая является частью EOS (LANCE). Эта система пожарной информации предоставляет активные данные о пожарах в режиме реального времени в течение трёх часов после прохождения спутников как с помощью спектрорадиометра с умеренным разрешением MODIS (https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/DL_FIRE_M6), так и с помощью спутникового зонда VIIRS (https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/DL_FIRE_V1) — двухполосного радиометра, работающего в УФ-, ИК- и видимом диапазоне (0,45–12 мкм). Данные MODIS доступны с ноября 2000 г. (для Terra) и с июля 2002 г. (для Aqua) по настоящее время, а данные VIIRS открыты в общем доступе с 20 января 2012 г. по настоящее время. По данным MODIS и VIIRS пожар детектируется при фиксировании температурной аномалии над исследуемой областью. Тепловые аномалии по данным спутникового зонда MODIS представляют собой центр пикселя размером 1 км, который был помечен алгоритмом MOD14/MYD14 Fire and Thermal Anomalies (Tansey et al., 2008). Принцип детектирования пожаров основан на их сильном излучении в среднем ИК-диапазоне, получа-

емом в каналах 4 и 11 мкм с пространственным разрешением 1 км. Обработка спутниковой информации является важным этапом для создания последовательных наборов данных для долгосрочного мониторинга как региональных, так и глобальных изменений климата. Как часть от EOS большинство продуктов MODIS были доработаны функциями, позволяющими периодически выполнять алгоритмические изменения и уточнения. Например, обновления под названием Collection 6, внесённые в алгоритм активного обнаружения пожаров и связанных с ними продуктов MOD14 (Terra) и MYD14 (Aqua), предоставляются в виде временных рядов спутниковых изображений MODIS. Алгоритм Collection 6 предназначен для решения проблем, связанных с детектированием ложных тревог, возникающих в результате небольших лесных просветов, и упущением крупных пожаров, заслонённых густым дымом (Ji, Stocker, 2003).

Основной характеристикой, по которой определяют интенсивность температурной аномалии (пожара), является параметр FRP — Fire Radiative Power (измеренная мощность излучения (МВт)). Это параметр, который определяет количество тепловой энергии, выделяемой за единицу времени при горении растительного покрова. В данной работе использована методика вычисления показателя FRP, позволяющего оценить интегральную радиационную мощность теплоизлучения от термически активной зоны. В работе (Wooster et al., 2005) показана линейная связь FRP и интенсивности горения, а также получен эмпирический коэффициент пересчёта энергии излучения в сжигаемую биомассу: скорость сгорания биомассы (кг/с) равна $0,368(\pm 0,015)$ FRP (МВт), а это означает, что чем больше значение FRP, тем выше скорость сгорания биомассы. Соответственно, большее количество горящей биомассы, попадая в атмосферу, может начать переноситься на значительные расстояния от места возгорания.

На основе методик обработки съёмки в инфракрасном диапазоне (на канале 4 мкм) по данным MODIS и VIIRS исследованы вариации мощности излучения от пожаров. Обработка проводилась для термически активных участков, расположенных вблизи Черноморского региона по спутниковым данным за период 2007–2018 гг. Каждая запись о пожаре в базе данных представляет серию детектированных термически активных зон. Для каждого участка, детектированного как термически активная зона, был вычислен показатель FRP и получены статистические данные о локализации и интенсивности лесных пожаров.

Результаты

Данные по пожарам FIRMS для MODIS и VIIRS, хранящиеся на платформе EOSDIS, различаются: информация спутникового зонда VIIRS дополняет обнаруженные по алгоритму детектирования MODIS пожары за счёт большего пространственного разрешения (375 м) и обеспечивает больший отклик от пожаров на относительно небольших участках. Для проведения статистического анализа данных по пожарам для региона Чёрного моря в системе FIRMS была выделена исследуемая область. Разница по количеству точек возгорания по снимкам MODIS оказалась в три раза меньше, чем по VIIRS, что хорошо видно как при сравнении годового распределения данных (*рис. 1а*, см. с. 250), так и на среднемесячных данных (*рис. 1б*) и картах распределения источников пожаров по информации каждого спутника в отдельности (*рис. 1в, г*).

Проведённый анализ массива данных FRP за 2007–2018 гг. по информации MODIS и VIIRS показал, что данные FRP по MODIS отличаются более высокими показателями (*рис. 2*, см. с. 251): за исследуемый период пиковое значение FRP по данным MODIS достигало 3335,6 МВт, а по данным VIIRS — 610,2 МВт.

Проанализирован массив данных FRP с 2007 по 2017 г., в котором были выявлены годы максимальной и минимальной активности распространения пожаров над Черноморским регионом. Меньше всего тепловых аномалий выявлено в 2013 г. (23 503 точки), а больше всего — в 2008 г. (68 780 точек). Самыми активными днями по количеству пожаров являются 8 августа 2008 г. (по данным MODIS), когда количество точек возгораний составило 2329,

и 3 августа 2014 г. (по данным VIIRS) — 3767 точек. 3 августа также было выделено по результатам комплексного анализа данных MODIS и VIIRS (рис. 3, см. с. 251, таблица), и этот день является статистическим максимумом по количеству возгораний по данным FIRMS для исследуемого региона (4493 точки).

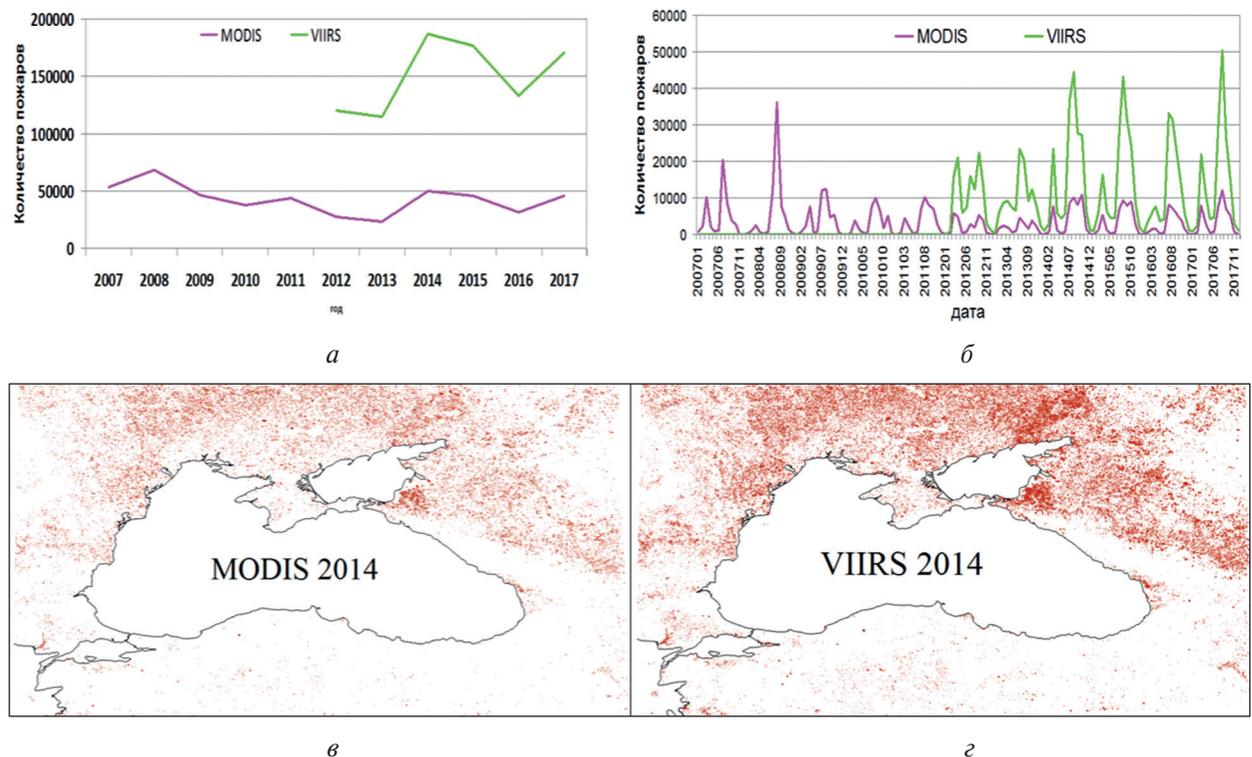


Рис. 1. Количественная разница пожаров по спутниковым данным MODIS и VIIRS за 2014 г.

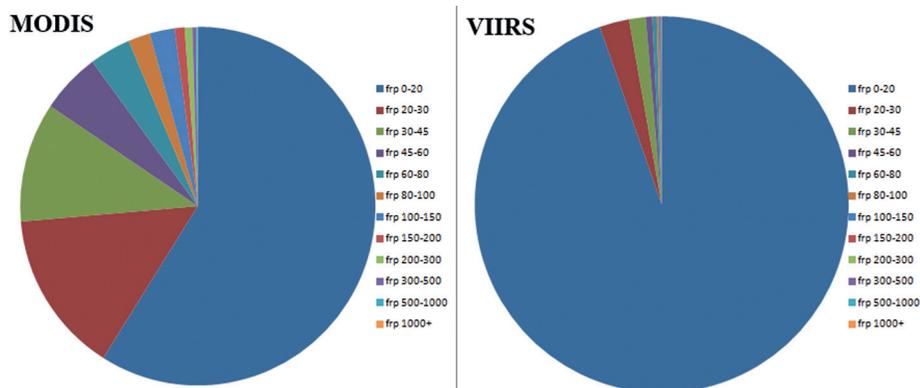


Рис. 2. Диаграмма частотного распределения данных FRP по спутникам MODIS и VIIRS за период 2007–2018 гг.

Количественный анализ данных по пожарам спутниковых зондов MODIS и VIIRS показал различия как в годовых, так и в среднемесячных и дневных значениях (см. таблицу).

Сажа как побочный продукт горения поглощает заметную долю падающей солнечной радиации, а значит, и влияет на величину АОТ атмосферы над исследуемым регионом. Для оценки масштабов распространения сажи и горящей биомассы были проанализированы данные основных оптических характеристик и обратных траекторий переноса воздушных масс как для Севастополя, так и для соседних станций AERONET: Galata_Platform (Болгария), Eforie и Gloria (Румыния). Как показано в таблице, самыми активными (по количеству пожа-

ров) датами за исследуемый период являются 3 и 4 августа 2014 г. Анализ данных аэрозольной оптической толщины на длине волны 500 нм (АОТ(500)) за 3 августа 2014 г. над Севастополем показал высокие значения (0,95), которые превышают среднее фоновое значение (по данным AERONET $АОТ(500) = 0,22$) для Черноморского региона более чем в четыре раза. Анализ данных распределения частиц по размерам за тот же день показал преимущество крупных аэрозольных частиц как над Севастополем (рис. 4а, см. с. 252), так и над станциями западной акватории Чёрного моря (рис. 4б, в).

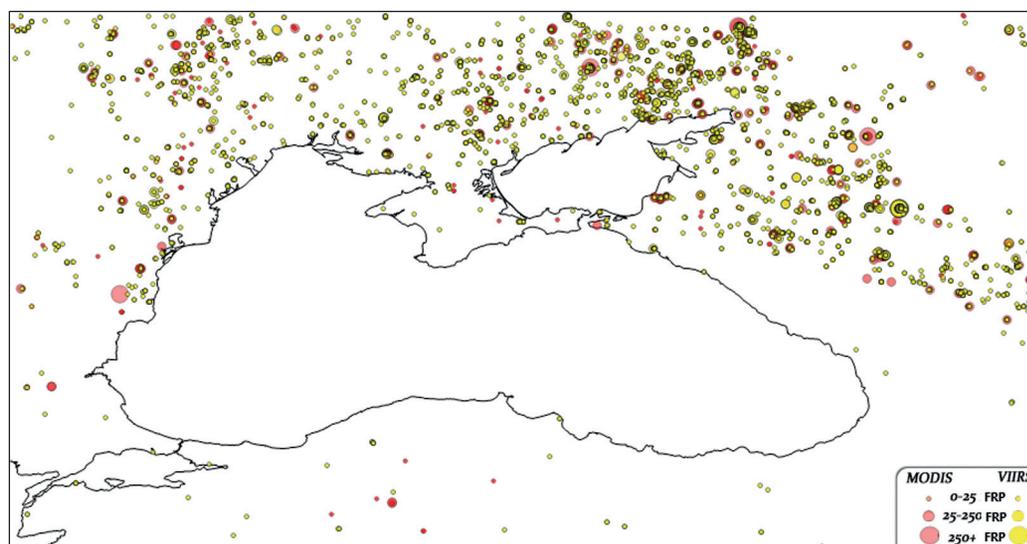


Рис. 3. Распределение точек возгорания за самый многочисленный по количеству пожаров день по данным VIIRS: 3 августа 2014 г. (3767 точек)

Количественный анализ данных по пожарам спутниковых зондов MODIS и VIIRS

Активность	MODIS	VIIRS	Суммарно
<i>По годам</i>			
максимальная	2008	2014	2014
минимальная	2013	2013	2010
<i>По месяцам</i>			
максимальная	Август 2008	Август 2017	Август 2017
минимальная	Декабрь 2007	Январь 2012	Декабрь 2007
<i>По дням</i>			
максимальная	04.08.2008	03.08.2014	03.08.2014
минимальная	05.01.2007	07.01.2013	05.01.2017

Исследование возможного источника переноса крупных аэрозольных частиц по данным моделирования обратных траекторий AERONET, а также по спутниковым изображениям показал, что область интенсивного возгорания и задымления расположена на северо-востоке от Черноморского региона (Донецкий регион).

Над регионом Чёрного моря преобладают ветры северо-западного, западного и юго-западного направлений, связанные с циркуляцией в умеренных широтах северного полушария. Анализ данных обратных траекторий показал нетипичный для Черноморского региона перенос аэрозоля со стороны северо-востока в исследуемый регион на двух высотах в приземных слоях до 1,5 км (рис. 5, см. с. 252) для трёх станций AERONET (для станции Galata Platform семидневные обратные траектории не представлены на сайте).

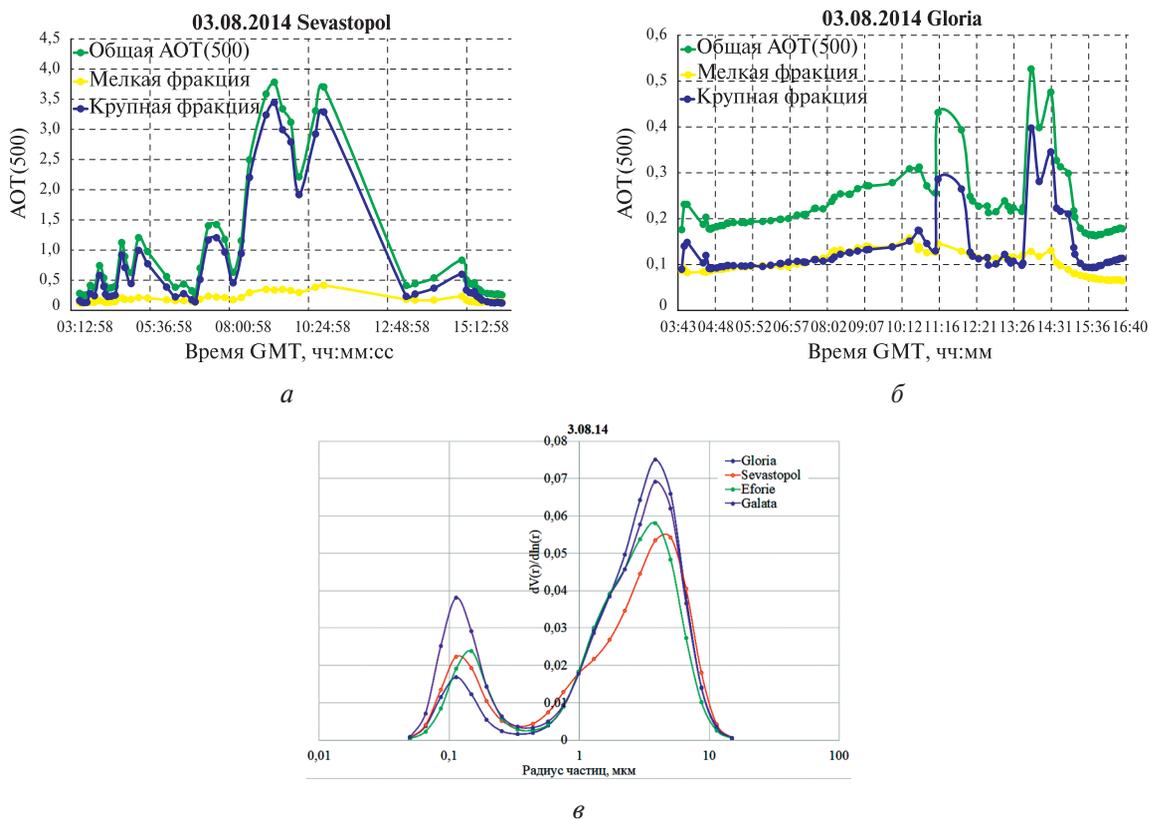


Рис. 4. Общее распределение АОТ(500) за 3 августа 2014 г. на станциях: а — Севастополь; б — АERONET Gloria; в — распределение частиц по размерам на четырёх Черноморских станциях

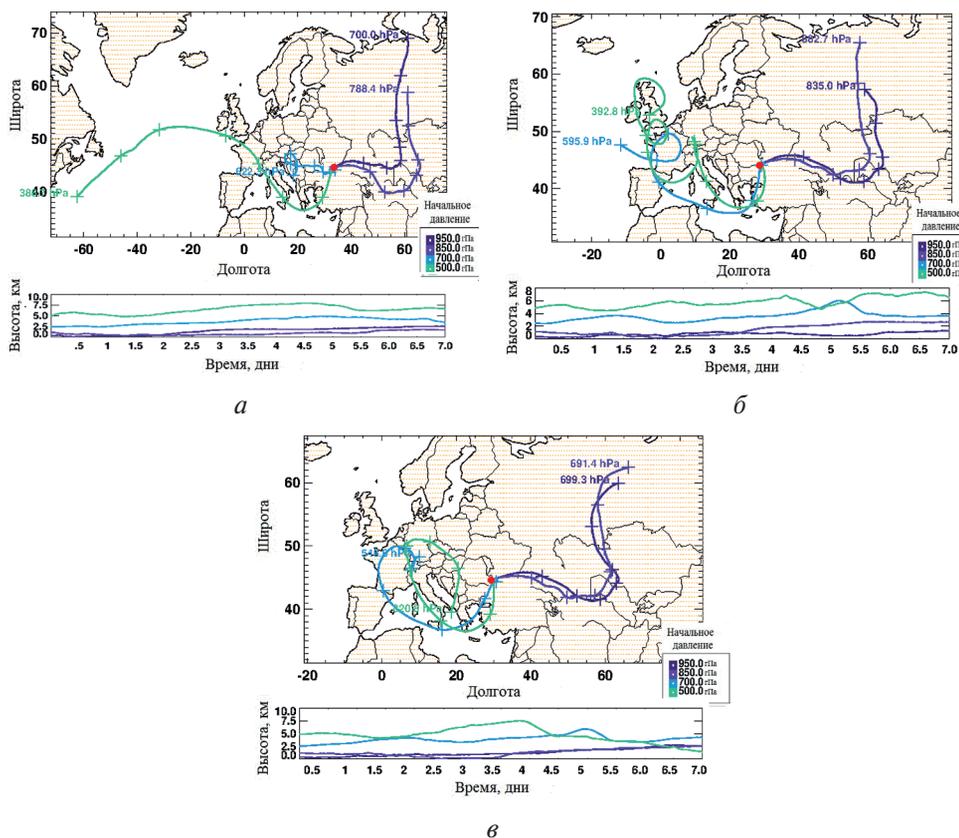


Рис. 5. Результаты данных 7-дневных обратных траекторий по результатам моделирования АERONET за 3 августа 2014 г. на станциях: а — Севастополь; б — Eforie; в — Gloria

Заключение

Комплексный анализ изменчивости основных оптических характеристик с 2007 по 2018 г. в совокупности с исследованием спутниковых изображений и переносов воздушных масс позволил выявить периоды и даты максимального воздействия на атмосферу горячей биомассы, возникшей вследствие пожаров, регистрируемых на побережье и ближних к Черноморскому региону территориях. Изучение возможного источника переноса за день, когда было зарегистрировано наибольшее за исследуемый период количество точек возгорания по данным MODIS и VIIRS, показало, что область интенсивного возгорания и задымления расположена на северо-востоке от Черноморского региона (Донецкий регион).

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 17-05-00113) (обработка спутниковых данных) и темы госзадания № 0827-2018-0002 (измерения характеристик атмосферного аэрозоля фотометрами и их анализ).

Авторы благодарят Сакерина С. М. и Кабанова Д. М. за предоставление фотометра SPM и программное обеспечение к нему.

Литература

1. Бондур В. Г., Гордо К. А., Кладов В. Л. Пространственно-временные распределения площадей природных пожаров и эмиссий углеродсодержащих газов и аэрозолей на территории Северной Евразии по данным космического мониторинга // Исследование Земли из космоса. 2016. № 6. С. 3–20.
2. Кабанов М. В., Панченко М. В. Рассеяние оптических волн дисперсными средами. Ч. III. Атмосферный аэрозоль. Томск: Изд-во Томского филиала СО РАН, 1984. 189 с.
3. Кондратьев К. Я., Григорьев А. А. Лесные пожары как компонент природной экодинамики // Оптика атмосферы и океана. 2004. Т. 17. № 4. С. 279–292.
4. Панов А. В., Прокушкин А. С., Брюханов А. В., Корец М. А., Пономарев Е. И., Сиденко Н. В., Зражевская Г. К., Тимохина А. В., Андреа М. Комплексный подход в оценке эмиссии углеродсодержащих газов от лесных пожаров в Сибири // Метеорология и гидрология. 2018. № 5. С. 30–38.
5. Рахимов Р. Ф., Козлов В. С., Панченко М. В., Тумаков А. Г., Шмаргунов В. П. Свойства атмосферного аэрозоля в дымовых шлейфах лесных пожаров по данным спектронефелометрических измерений // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27. № 2. С. 126–133.
6. Chen Y., Velicogna I., Famiglietti J. S., Randerson J. T. Satellite observations of terrestrial water storage provide early warning information about drought and fire season severity in the Amazon // J. Geophysical Research Biogeosciences. 2013. V. 118. P. 495–504. DOI: 10.1002/jgrg.20046.
7. Chu D. A., Kaufman Y. J., Ichoku C., Remer L. A., Tanré D., Holben B. N. Validation of MODIS aerosol optical depth retrieval over land // Geophysical Research Letters. 2002. V. 29(12). DOI: 10.1029/2001GL013205.
8. Chuvieco E., Giglio L., Justice C. Global characterization of fire activity: toward defining fire regimes from Earth observation data // Global Change Biology. 2008. V. 14. P. 1488–1502. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2008.01585.x.
9. Glasius M., Cour A., Lohse C. Fossil and nonfossil carbon in fine particulate matter: A study of five European cities // J. Geophysical Research. 2011. V. 116. No. D11302. DOI: 10.1029/2011JD015646.
10. Ichoku C., Ellison L. T., Yue Y., Wang J., Kaiser J. W. Fire and Smoke Remote Sensing and Modeling Uncertainties: Case Studies in Northern Sub-Saharan Africa // Geophysical Monograph Series. 2016. V. 223. P. 215–230. DOI: 10.1002/9781119028116.ch14.
11. Ji Y., Stocker E. Reply to comment by L. Giglio et al. on Seasonal, interseasonal, and interannual variability of global land fires and their effects on atmospheric aerosol distribution // J. Geophysical Research. 2003. V. 108. No. D24. 4755 p. DOI: 10.1029/2003JD004115.
12. Justice C. O., Giglio L., Korontzi S., Roy D., Owens J., Alleaume S., Morissette J., Roy D., Petitcolin F., Descloitres J., Kaufman Y. Global fire products from MODIS // Remote Sensing of Environment. 2002. V. 83. P. 245–263.

13. Panchenko M. V., Zhuravleva T. B., Terpugova S. A., Polkin V. V., Kozlov V. S. An empirical model of optical and radiative characteristics of the tropospheric aerosol over West Siberia in summer // *Atmospheric Measurement Technique*. 2012. V. 5. No. 7. 1513–1527 p.
14. Tansey K., Beston J., Hoscilo A., Page S. E., Paredes Hernández C. U. Relationship between MODIS fire hot spot count and burned area in a degraded tropical peat swamp forest in Central Kalimantan, Indonesia // *J. Geophysical Research*. 2008. V. 113. No. D23112. DOI: 10.1029/2008JD010717.

A study of aerosol characteristics over the Black Sea by the FIRMS system during forest fires in 2007–2018

D. V. Kalinskaya, D. A. Ryabokon

Marine Hydrophysical Institute RAS, Sevastopol 299011, Russia
E-mail: kalinskaya_d_v@mail.ru

Statistical analysis of fires data provided by FIRMS system is carried out using MODIS and VIIRS satellite radiometers for the period 2007–2018. On the basis of methods of image processing in the infrared range (4 micron channel), variations of the radiation intensity from fires are investigated from the MODIS and VIIRS data. Processing is carried out for thermally active points located near the Black Sea region on the basis of satellite data for the research period. Fire maps with the highest number of fires from satellite data are presented. The main optical and microphysical characteristics of atmospheric aerosol for the year, months and dates with the highest number of fires for the Black Sea region are analyzed. A complex variability analysis of the main optical characteristics is carried out together with analyses of satellite images and air mass transfer. The dates of maximum impact of burning biomass on the atmosphere resulting from fires recorded on the coast and in the areas close to the Black Sea region are identified. A search of a possible source of transport is carried out for the time of peak number of thermally active points by MODIS and VIIRS in the study period.

Keywords: EOSDIS, MODIS, VIIRS, AERONET, 7-day back trajectories, Black Sea

Accepted: 24.07.2019

DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-4-247-255

References

1. Bondur V. G., Gordo K. A., Kladov V. L., Prostranstvenno-vremennye raspredeleniya ploshchadei prirodnykh pozharov i emissii uglerodsoderzhashchikh gazov i aerorozlei na territorii Severnoi Evrazii po dannym kosmicheskogo monitoringa (Temporal-spatial distributions of natural fires areas and emissions of carbon-containing gases and aerosols in the territory of Northern Eurasia according to space monitoring data), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2016, No. 6, pp. 3–20.
2. Kabanov M. V., Panchenko M. V., *Rasseyaniye opticheskikh voln dispersnyimi sredami. Chast' III. Atmosfernyi aerorozol'* (Optical wave scattering by dispersed environment. Part III. Atmospheric Aerosol), Tomsk: Izd. Tomskogo filiala SO RAN, 1984, 189 p.
3. Kondrat'ev K. Ya., Grigor'ev A. A., Lesnye pozhary kak komponent prirodnoi ekodinamiki (Forest fires as a component of natural ecodynamics), *Optika atmosfery i okeana*, 2004, Vol. 17, No. 4, pp. 279–292.
4. Panov A. V., Prokushkin A. S., Bryukhanov A. V., Korets M. A., Ponomarev E. I., Sidenko N. V., Zrazhevskaya G. K., Timokhina A. V., Andreae M. O., A complex approach for the estimation of carbonaceous emission from wildfires in Siberia), *Russian Meteorology and Hydrology*, 2018, Vol. 43, No. 5, pp. 295–301.
5. Rakhimov R. F., Kozlov V. S., Panchenko M. V., Tumakov A. G., Shmargunov V. P., Svoistva atmosferного aerorozolya v dymovykh shleifakh lesnykh pozharov po dannym spektronefelometricheskikh izmerenii (Properties of atmospheric aerosol in the plumes of forest fires according to the spectronephelometric measurements), *Optika atmosfery i okeana*, 2014, Vol. 27, No. 02, pp. 126–133.

6. Chen Y., Velicogna I., Famiglietti J. S., Randerson J. T., Satellite observations of terrestrial water storage provide early warning information about drought and fire season severity in the Amazon, *J. Geophysical Research Biogeosciences*, 2013, Vol. 118, pp. 495–504, DOI: 10.1002/jgrg.20046.
7. Chu D.A., Kaufman Y.J., Ichoku C., Remer L.A., Tanré D., Holben B.N., Validation of MODIS aerosol optical depth retrieval over land, *Geophysical Research Letters*, 2002, Vol. 29(12), DOI: 10.1029/2001GL013205.
8. Chuvieco E., Giglio L., Justice C., Global characterization of fire activity: toward defining fire regimes from Earth observation data, *Global Change Biology*, 2008, Vol. 14, pp. 1488–1502, DOI: 10.1111/j.1365-2486.2008.01585.x.
9. Glasius M., Cour A., Lohse C., Fossil and nonfossil carbon in fine particulate matter: A study of five European cities, *J. Geophysical Research*, 2011, Vol. 116, No. D11302, DOI: 10.1029/2011JD015646.
10. Ichoku C., Ellison L. T., Yue Y., Wang J., Kaiser J. W., Fire and Smoke Remote Sensing and Modeling Uncertainties: Case Studies in Northern Sub-Saharan Africa, *Geophysical Monograph Series*, 2016, Vol. 223, pp. 215–230, DOI: 10.1002/9781119028116.ch14.
11. Ji Y., Stocker E., Reply to comment by L. Giglio et al. on Seasonal, interseasonal, and interannual variability of global land fires and their effects on atmospheric aerosol distribution, *J. Geophysical Research*, 2003, Vol. 108, No. D24, p. 4755, DOI: 10.1029/2003JD004115.
12. Justice C. O., Giglio L., Korontzi S., Roy D., Owens J., Alleaume S., Morisette J., Roy D., Petitcolin F., Descloitres J., Kaufman Y., Global fire products from MODIS, *Remote Sensing of Environment*, 2002, Vol. 83, pp. 245–263.
13. Panchenko M. V., Zhuravleva T. B., Terpugova S. A., Polkin V. V., Kozlov V. S., An empirical model of optical and radiative characteristics of the tropospheric aerosol over West Siberia in summer, *Atmospheric Measurement Technique*, 2012, Vol. 5, No. 7, p. 1513–1527.
14. Tansey K., Beston J., Hoscilo A., Page S. E., Paredes Hernández C. U., Relationship between MODIS fire hot spot count and burned area in a degraded tropical peat swamp forest in Central Kalimantan, Indonesia, *J. Geophysical Research*, 2008, Vol. 113, No. D23112, DOI: 10.1029/2008JD010717.