

Анализ спутниковых наблюдений аэрозольных оптических характеристик и газовых примесей атмосферы над центральным районом Российской Федерации в период аномально высоких летних температур и массовых пожаров 2010 г.

С.А. Ситнов*

*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН
119017, г. Москва, Пыжевский пер., 3*

Поступила в редакцию 28.01.2011 г.

Анализируются аэрозольные оптические характеристики ($\tau_{0,55}$, $\omega_{0,50}$, индекс поглощающего аэрозоля) и содержания газовых примесей атмосферы (CO, NO₂, SO₂, CH₂O, O₃, H₂O), полученные спутниковыми приборами MODIS, MORITT и OMI над территорией центрального района Российской Федерации (52–59° с.ш., 29–45° в.д.) в период с апреля по сентябрь 2010 г. Аномальное повышение температуры и обусловленное лесными и торфяными пожарами изменение состава атмосферы отчетливо проявились во взаимосвязанных изменениях большинства атмосферных параметров. В период с середины июля по 7 августа среднее по региону значение $\tau_{0,55}$ увеличилось более чем в 20 раз (с 0,09 до 2,12), а содержание CO в столбе – более чем в 2 раза (с $1,9 \cdot 10^{18}$ до $4,0 \cdot 10^{18}$ молек. · см⁻²), при этом тропосферное содержание NO₂ в июле–августе 2010 г. было на 65% больше его содержания в 2009 г. Исследуется пространственно-временная эволюция аэрозольных характеристик и газовых примесей до, во время и после периода массовых пожаров, анализируются радиационные эффекты задымления.

Ключевые слова: лесные и торфяные пожары, спутниковый мониторинг, продукты горения биомассы, MODIS, MORITT, OMI; forest and peatbog fires, satellite monitoring, biomass burning products, MODIS, MORITT, OMI.

Введение

Установление летом 2010 г. на обширной территории Евразии малоподвижного антициклона, блокирующего западный перенос, способствовало поступлению в центральный район Российской Федерации (ЦР РФ) континентального тропического воздуха [1]. Отсутствие осадков, увеличение продолжительности солнечного сияния, повышение температуры воздуха и подстилающей поверхности благоприятствовали возникновению локальных очагов возгораний и быстрому распространению огня, что привело к массовым пожарам лесов и торфяников и задымлению региона.

Сопутствующее пожарам изменение газового состава воздуха, свойства дымовых аэрозолей, а также радиационные и климатические эффекты пожаров были предметом многих исследований, основанных на данных наземных наблюдений [2–4]. В последние 10–15 лет интенсивное развитие получили спутниковые системы наблюдений тропосферных примесей, и в настоящее время на орбите находятся более

десять приборов, данные которых позволяют осуществлять комплексный мониторинг ключевых газов тропосферы и атмосферного аэрозоля над территориями массовых пожаров [5, 6]. При пожарах в бореальных экосистемах горение охватывает толстый слой биомассы и в атмосферу выделяется большое количество разнообразных химических соединений. Спутниковые наблюдения позволяют не только получить количественные оценки степени загрязнения атмосферы разнообразными продуктами горения, но и оценить пространственный масштаб областей загрязнения, а также проследить их эволюцию во времени [7], что необходимо для корректной инвентаризации эмиссии продуктов горения, оценок региональных радиационных эффектов загрязнений и тестирования химических транспортных моделей. В настоящей статье на основе спутниковых наблюдений исследуется пространственно-временная эволюция тропосферных примесей над ЦР РФ в период до, во время и после пожаров лета 2010 г.

База данных

К анализу были привлечены данные наблюдений аэрозольной оптической толщи (АОТ) на длине

* Сергей Африканович Ситнов (sitnov@ifaran.ru, ssitnov@mail.ru).

Использованные в работе спутниковые данные и их источники

Атмосферный параметр	Прибор (тип данных)	Спутник	Источник данных
Аэрозольная оптическая толщина на длине волны 0,55 мкм ($\tau_{0,55}$) Тропосферное содержание водяного пара (H_2O)	MODIS L3 ($1^\circ \times 1^\circ$)	«Terra» «Aqua»	http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov
Общее содержание оксида углерода (CO)	MOPITT L3 ($1^\circ \times 1^\circ$)	«Terra»	http://eosweb.larc.nasa.gov
Тропосферное содержание диоксида азота (NO_2) Индекс поглощающего аэрозоля Альбеда однократного рассеяния на длине волны 0,50 мкм ($\omega_{0,50}$) Тропосферное содержание диоксида серы (SO_2) Общее содержание формальдегида (CH_2O) Общее содержание озона (O_3)	OMI L3 ($0,25^\circ \times 0,25^\circ$)	«Aura»	http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni
Тропосферное содержание диоксида азота (NO_2)	OMI (overpass data)*	«Aura»	http://www.temis.nl

* Данные проходов спутника «Aura» над западной частью Московской области.

волны 0,55 мкм ($\tau_{0,55}$), оксида углерода (CO), диоксида азота (NO_2), диоксида серы (SO_2), формальдегида (CH_2O), водяного пара (H_2O) и общего содержания озона (OCO , O_3) спутниковых приборов MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer) [8], MOPITT (Measurements Of Pollutions In The Troposphere) [9] и OMI (Ozone Monitoring Instrument) [10]. Использовались также полученная на основании спутниковых данных информация об альбеде однократного рассеяния на длине волны 0,50 мкм ($\omega_{0,50}$) и показатель (индекс) присутствия в атмосфере аэрозолей, поглощающих в ультрафиолетовой (УФ) области спектра. Индекс поглощающего аэрозоля (ИПА) пропорционален разности измеренных в полете и рассчитанных в предположении чисто рэлеевской атмосферы логарифмов отношений интенсивностей отраженной солнечной радиации на длинах волн 360 и 331 нм (величина ИПА увеличивается с ростом в воздухе числа поглощающих частиц). Используемая в работе спутниковая информация и ее источники приведены в таблице.

Временные ряды тропосферного содержания NO_2 над западной частью Московской области получены в Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) с помощью «близкого к реальному времени» алгоритма [11]. Остальные данные OMI обработаны стандартным алгоритмом и получены с помощью системы удаленного доступа Giovanni, разработанной и обслуживаемой NASA GES DISC (National Aeronautics and Space Administration Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center) [12]. К анализу были также привлечены аэ-

рологические наблюдения ст. Долгопрудная, находящейся в северном пригороде Москвы ($55,9^\circ$ с.ш., $37,5^\circ$ в.д.) и Смоленск ($54,8^\circ$ с.ш., $32,0^\circ$ в.д.). Данные позаимствованы в архиве аэрологических наблюдений Университета штата Вайоминг (<http://weather.uwyo/uppear>).

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 приведены временные ряды ежедневных средних значений содержаний атмосферных газовых примесей и аэрозольных оптических характеристик над территорией центрального района России ($52-59^\circ$ с.ш., $29-45^\circ$ в.д.) в апреле–сентябре 2010 г.

В отличие от аэрозольных характеристик и CO в эволюциях CH_2O , H_2O , NO_2 и SO_2 в период массовых пожаров (июль–август) не отмечается заметных особенностей. Для выявления возможных эффектов, связанных с пожарами 2010 г., на рис. 1 приведены также значения содержаний этих примесей в апреле–сентябре 2009 г. Сравнение показывает, что содержание формальдегида в 2010 г. было заметно выше, чем в 2009 г. В среднем за периоды с апреля по сентябрь и с 15 июля по 20 августа это различие составило соответственно $2,4 \cdot 10^{15}$ и $8,8 \cdot 10^{15}$ молек. \cdot см $^{-2}$, а в дни сильного задымления Москвы (7 и 8 августа) различие достигало $18 \cdot 10^{15}$ молек. \cdot см $^{-2}$. Содержание водяного пара в апреле–сентябре 2010 г. (с 15 июля по 20 августа) на 2,4 (6) мм превышало его содержание за

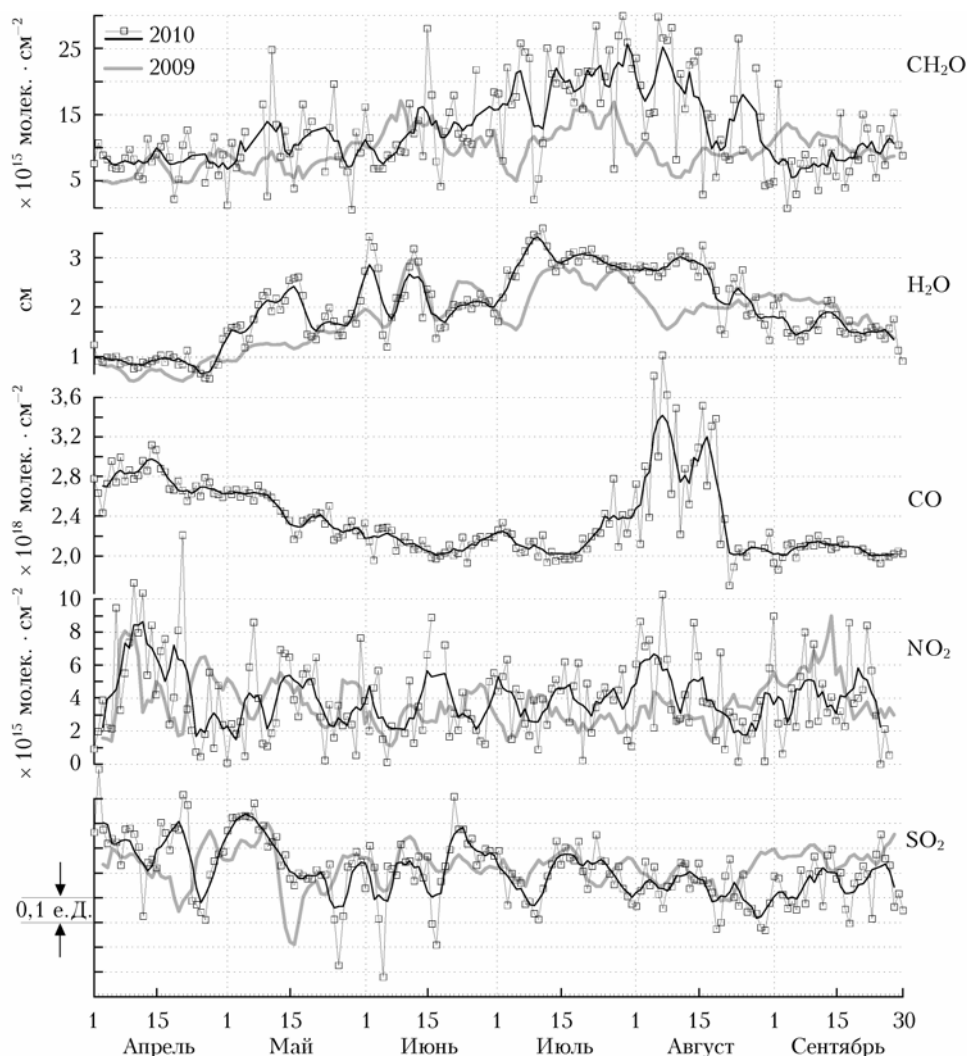


Рис. 1. Временные ряды ежедневных наблюдений атмосферных газовых примесей и аэрозольных оптических характеристик, осредненных по территории ЦР РФ. Толстыми черными (серыми) линиями показаны сглаженные скользящим по 5 дням средним данные 2010 (2009) г.

соответствующий период 2009 г., при этом максимальные различия отмечались 9–10 августа и достигали 13 мм. Эволюция СО в апреле по середину июля отражала в целом многолетний сезонный цикл СО в регионе, характеризующийся максимумом в апреле и минимумом в ноябре–декабре, причем в первую половину 2010 г. содержания СО были ниже его многолетних средних значений в 2000–2009 гг.

Тенденции к росту СО в регионе наметились в начале второй декады июля. В период с 12 июля по 7 августа содержание угарного газа выросло более чем в 2 раза — с $1,9 \cdot 10^{18}$ до $4,0 \cdot 10^{18}$ молек. \cdot см $^{-2}$. Достигнув максимума (7 августа), содержание СО к 11 августа снизилось до $2,2 \cdot 10^{18}$ молек. \cdot см $^{-2}$, а затем вновь возросло до $3,5 \cdot 10^{18}$ молек. \cdot см $^{-2}$ 16 августа, после чего резко упало до $1,7 \cdot 10^{18}$ молек. \cdot см $^{-2}$ (ниже многолетнего регионального среднего значения в августе).

Тропосферное содержание NO $_2$ в целом не обнаруживало заметных различий между 2010 и 2009 гг., однако его среднее значение в период с 15 июля по

20 августа 2010 г. на $1,8 \cdot 10^{15}$ молек. \cdot см $^{-2}$ (65%) превышало среднее значение NO $_2$ в соответствующий период 2009 г. Значения ОСО в период с 1 по 20 августа 2010 г. были, напротив, существенно меньше соответствующих значений ОСО в 2009 г. (не показано). 9–10 августа эти различия составили –35 е.Д.

Из рис. 1 также видно, что с третьей декады августа и до конца сентября (т.е. в период, последующий за периодом массовых пожаров 2010 г.) содержание SO $_2$ в 2010 г. было в среднем на 0,11 е.Д. ниже, чем в 2009 г. Эволюция АОТ в июле–августе была качественно подобна эволюции СО, но диапазон изменений АОТ был существенно больше. В период с 14 июля по 7 августа среднее по региону значение АОТ увеличилось более чем в 20 раз (с 0,09 до 2,12), однако в отличие от СО вторичный максимум АОТ 18 августа (0,91) был заметно меньше основного, отмечавшегося 7 августа (2,12).

Рост АОТ в последней декаде июля сопровождался увеличением ИПА и уменьшением $\omega_{0,55}$. Характерно, что первичный локальный максимум ИПА,

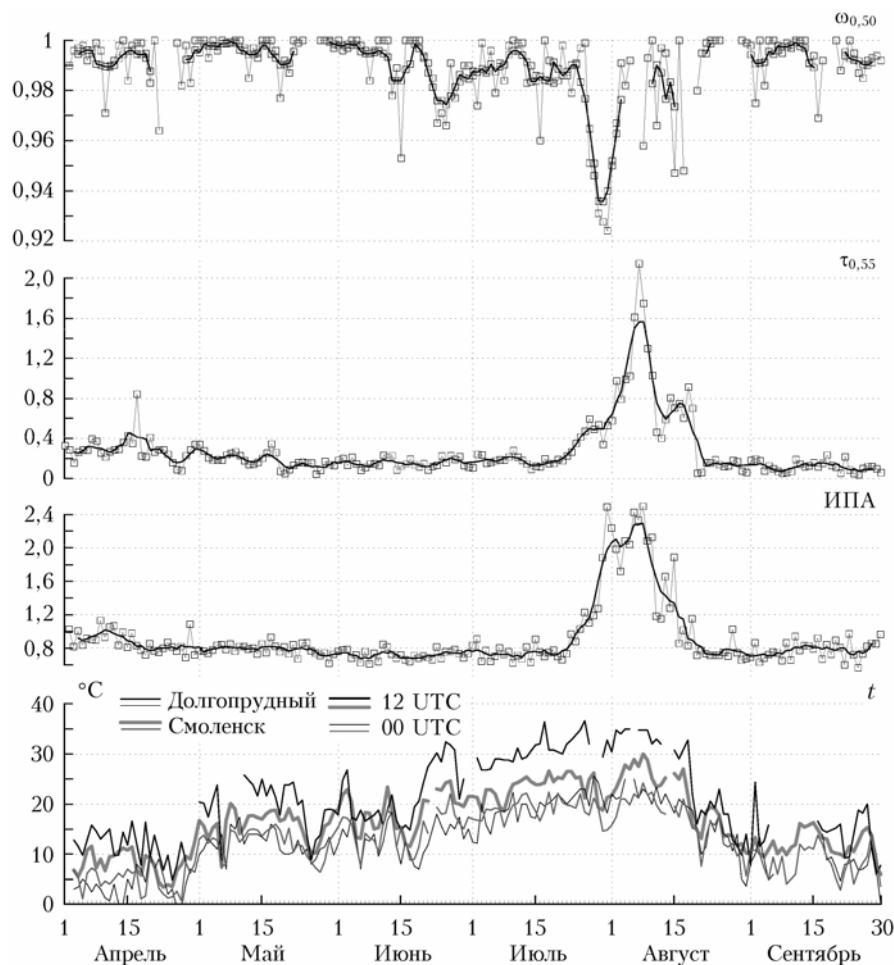


Рис. 1 (продолжение). На нижнем графике приведена приземная температура в Долгопрудном (черные линии) и Смоленске (серые линии) в 00 UTC (тонкие линии) и 12 UTC (толстые линии)

как и минимум $\tau_{0,55}$, был отмечен 31 июля, т.е. на неделю раньше, чем основной максимум АОТ. Это обстоятельство может объясняться тем известным фактом, что на первой стадии пожаров в продуктах горения присутствует большое количество углеродсодержащих (поглощающих) аэрозольных частиц. На второй стадии пожаров (в период задымления) вторичный и третичный максимумы ИПА совпадали по времени с максимумами АОТ.

Большой интерес представляет изучение возможных прямых радиационных эффектов, обусловленных изменением концентрации, профиля и физико-химического состава аэрозолей в ходе развития массовых пожаров. Задымление, в частности, могло уменьшить поток солнечной радиации, приходящей к поверхности, и, как следствие, температуру приземного слоя воздуха. На рис. 1 внизу приведен ход приземной температуры в Долгопрудном и Смоленске.

Следует отметить, что в столичном регионе концентрация продуктов горения была существенно выше, чем на западе ЦР РФ. Видно, что в данных обеих станций локальных минимумов температуры, сопутствующих локальному максимуму АОТ, не обнаруживается. Тем не менее анализ данных приземной температуры и АОТ показывает, что различие сред-

них температур в Долгопрудном и Смоленске в период задымления региона (1–15 августа) и в период, предшествующий ему (15–31 июля), составило соответственно 0,97 и 1,92 °С, тогда как различие средних значений АОТ в эти же периоды равнялось единице в Долгопрудном ($\overline{АОТ}_{55-56}^{\circ\text{С.П.}; 37-38^{\circ}\text{В.Д.}}$) и 0,44 в Смоленске ($\overline{АОТ}_{54-55}^{\circ\text{С.П.}; 32-33^{\circ}\text{В.Д.}}$). Меньший рост приземной температуры в Московском мегаполисе мог быть отчасти следствием более заметного увеличения АОТ над столичным регионом, т.е. следствием радиационных эффектов аэрозоля.

На рис. 2 приведены скользящие по 15 дням коэффициенты корреляции (КК) АОТ и содержания CO и H_2O .

Рис. 2 свидетельствует о существенной трансформации взаимосвязи вариаций АОТ, CO и H_2O в апреле–сентябре 2010 г. Разные знаки и невысокие в целом значения КК АОТ и CO в апреле–июне объясняются различием источников частиц аэрозоля и CO в этот период, а также, вероятно, существенным вкладом в АОТ сульфатного аэрозоля, вариации которого слабо связаны с вариациями CO .

Следует отметить, что отдельные очаги возгорания в ЦР РФ отмечались в 2010 г. также до и после периода массовых пожаров. С интенсификацией

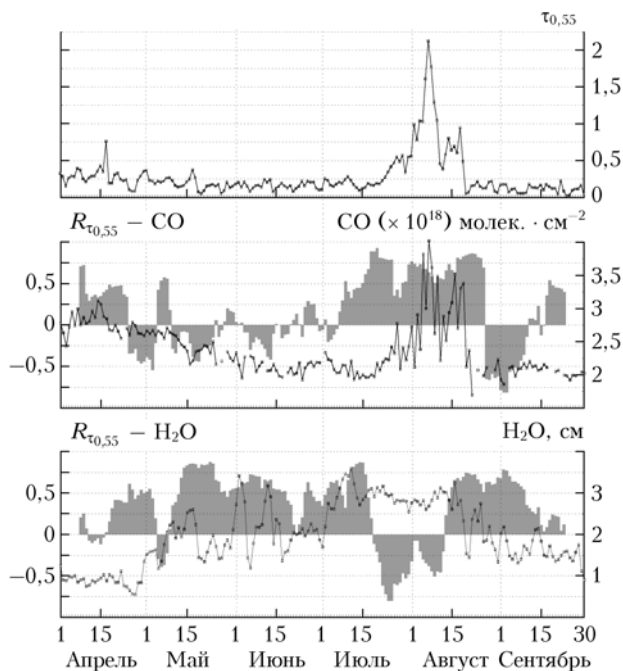


Рис. 2. Временные ряды осредненных по территории ЦР РФ значений $\tau_{0,55}$, CO и H₂O (линейные графики, шкалы справа). Скользящие по 15 дням коэффициенты корреляции $\tau_{0,55}$ и CO, а также $\tau_{0,55}$ и H₂O (столбчатые графики с заливкой, шкалы слева)

пожаров ситуация радикальным образом изменилась и в июле–августе отмечались КК лишь одного знака. Это обстоятельство объясняется, очевидно, общностью источника частиц аэрозоля и CO в этот период – при горении бореальных лесов и торфяников в атмосферу наряду с CO выбрасывается большое количество углеродсодержащих аэрозолей.

Как следствие, с первой декады июля и по середину третьей декады августа КК характеризовались положительными значениями, 67% которых превышали 0,6. Знак связи АОТ и CO изменился лишь в конце августа, причем с этого периода и до начала второй декады сентября отмечались высокие отрицательные КК АОТ и CO. Изменения АОТ тесно связаны с изменениями влажности воздуха, влияющей на фотохимические процессы образования частиц аэрозоля и регулирующей конденсационный и коагуляционный рост частиц [13].

Временные изменения КК АОТ и водяного пара на рис. 2 четко свидетельствуют об изменении характера взаимосвязи аэрозоля и водяного пара с началом роста АОТ. До периода массовых пожаров положительная в целом корреляция АОТ и H₂O могла объясняться конденсационным ростом сульфатного аэрозоля, увлажнение которого приводило к росту АОТ. Кроме того, рост температуры, интенсифицируя процессы испарения и транспирации влаги, увеличивал также эмиссию растениями терпенов, включавшихся в процессы образования вторичных органических аэрозолей [14]. Изменение знака КК вариаций АОТ и водяного пара с началом роста АОТ могло отражать изменение химического состава аэрозоля и последующих механизмов его фотохими-

ческой трансформации, а именно увеличение доли углеродсодержащего аэрозоля. (Известно, что в отличие от гидрофильного сульфатного аэрозоля присутствующий в продуктах горения свежий необходимый сажевый аэрозоль характеризуется гидрофобностью [15].) В свою очередь, поглощение солнечной радиации обводненным углеродсодержащим аэрозолем (также присутствующим в продуктах горения) должно было приводить к нагреву частиц и усилению испарения их водной оболочки, что (в противоположность обычному механизму трансформации частиц аэрозоля) способствовало уменьшению размеров аэрозольных частиц. Дополнительный разогрев воздуха, обусловленный присутствием в нем поглощающих аэрозолей, увеличивал также статическую устойчивость нижней атмосферы и ослаблял направленный вверх поток водяного пара. Эти обстоятельства могли быть причинами изменения знака взаимосвязи АОТ и водяного пара в конце июля – начале августа.

Следует отметить, что не менее четкая временная зависимость прослеживалась и во взаимосвязи АОТ с CH₂O – до конца июля и со второй декады сентября отмечалась отрицательная корреляция АОТ и CH₂O, тогда как с начала июля и до конца первой декады сентября – положительная (не показано).

Рис. 3 иллюстрирует пространственные распределения газовых примесей и оптических характеристик аэрозоля над Европой в период, предшествующий массовым пожарам (июнь), и в период их максимального развития и, как следствие, задымления европейской части территории России (1–10 августа).

Сравнение левой и правой частей распределений свидетельствует, что увеличение содержания формальдегида происходило в основном на севере европейской части России, в зоне распространения таежных лесов с преобладанием хвойных пород деревьев. Так, в Республике Коми содержание CH₂O в первой декаде августа достигало $9,6 \cdot 10^{16}$ молек. · см⁻², а вблизи Перми – $8,3 \cdot 10^{16}$ молек. · см⁻². Помимо непосредственного образования формальдегида в процессе горения биомассы, рост CH₂O в зоне таежных лесов мог объясняться пирогенной эмиссией и последующим окислением содержащихся в хвойных растениях терпенов [14]. Рост формальдегида на севере территории России сопровождался заметным увеличением содержания водяного пара в тропосфере (рис. 3), что могло быть следствием интенсификации процессов испарения и транспирации влаги при повышении температуры, а также результатом окисления формальдегида и метана.

Поле ОСО над Европой в июне–августе претерпело значительные изменения, выразившиеся в обращении знака его меридионального градиента. На территории ЦР РФ эти изменения сопровождались уменьшением ОСО, однако сколько-нибудь заметных локальных особенностей, связанных с областями массовых пожаров, поле ОСО не обнаруживало. Достаточно незначительно в этот период в регионе менялось также и тропосферное содержание NO₂.

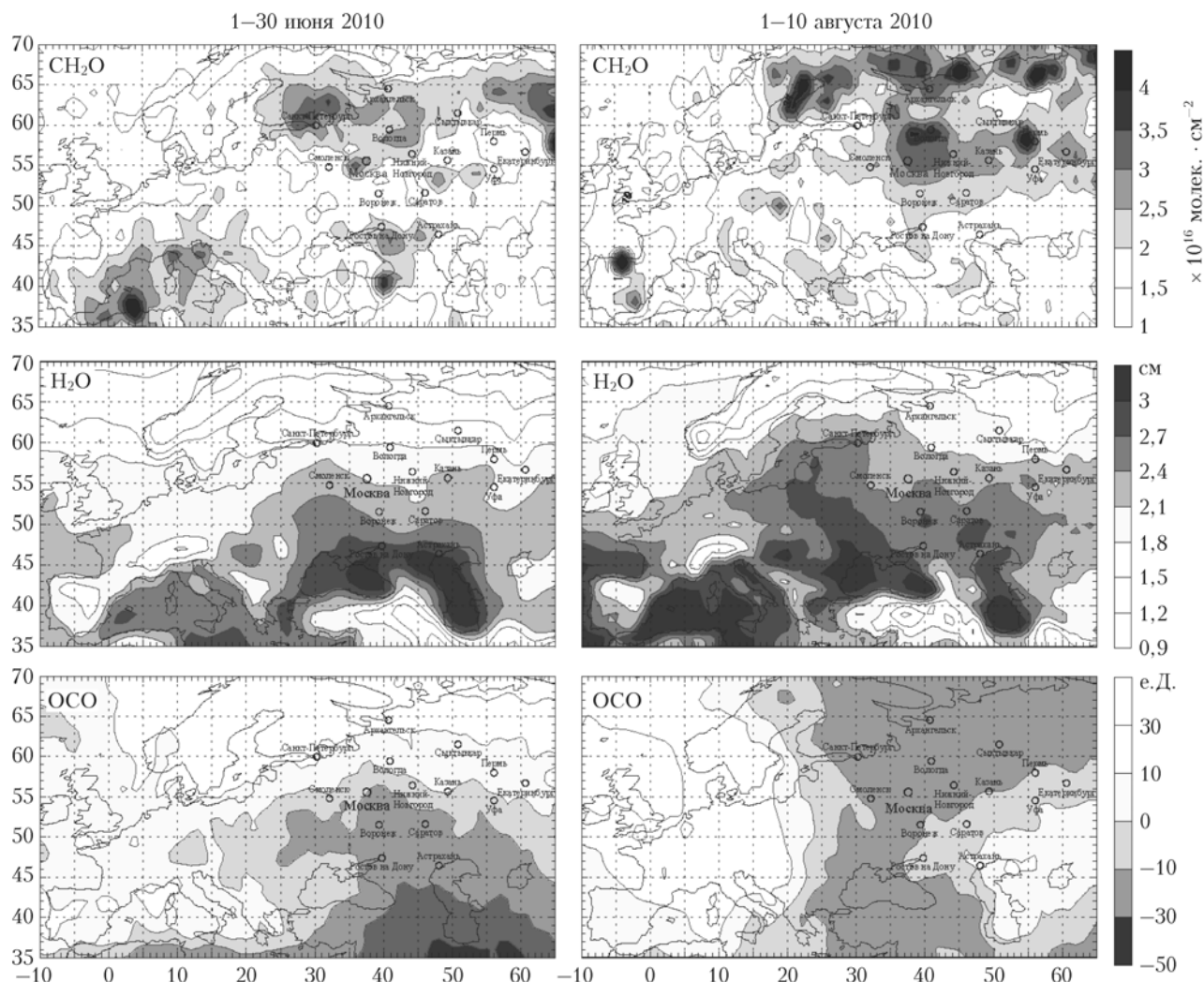


Рис. 3. Пространственные распределения атмосферных газовых примесей и аэрозольных оптических характеристик до начала массовых пожаров (левая часть рисунка) и в период массовых пожаров (правая часть)

Тем не менее из рис. 3 видно, что в первой декаде августа локальные высокие содержания NO_2 в тропосфере, достигающие $9,5 \cdot 10^{15}$ молек. · см⁻², отмечались над территорией Рязанской области, где в этот период обширные участки леса были охвачены огнем (<http://firemaps.nffc.aviales.ru>).

Сравнение пространственных распределений СО в июне и в первой декаде августа свидетельствует о весьма значительном увеличении содержания угарного газа над европейской частью России в период массовых пожаров. В первой декаде августа максимальные значения содержания СО в регионе отмечались в широтно-ориентированной области, простиравшейся от Москвы до Казани. В этот период среднедекадные содержания СО над территорией, ограниченной координатами 54–57° с.ш., 37–49° в.д., превышали $3,8 \cdot 10^{18}$ молек. · см⁻². В дни максимального задымления Москвы (6–8 августа) содержание СО на границе Московской и Тверской областей достигало $4,9 \cdot 10^{18}$ молек. · см⁻², а на границе Рязанской и Тульской областей — $4,5 \cdot 10^{18}$ молек. · см⁻².

Еще более заметной была реакция АОТ. В первую декаду августа область средних значений АОТ, превышающих единицу, охватывала территорию от западной границы Московской области до Урала и от Саратова до Архангельска, при этом между Москвой, Ярославлем и Нижним Новгородом значение АОТ превышало 2, а на востоке Владимирской области достигало 2,5. В период максимального задымления ЦР РФ над Владимирской и Ивановской областями, а также севером и востоком Московской области АОТ превышала 3, а 7 августа на севере и востоке Московской, юго-западе Рязанской и юго-востоке Тульской областей достигала значений 3,6; 3,8 и 4,9 соответственно.

Пространственное распределение ИПА над ЦР РФ в первой декаде августа было качественно подобно распределению АОТ. Локальные максимумы ИПА в этот период отмечались вблизи Нижнего Новгорода, на севере Рязанской области и северо-востоке Тверской области. Вместе с тем в отличие от АОТ значения ИПА довольно быстро уменьшались

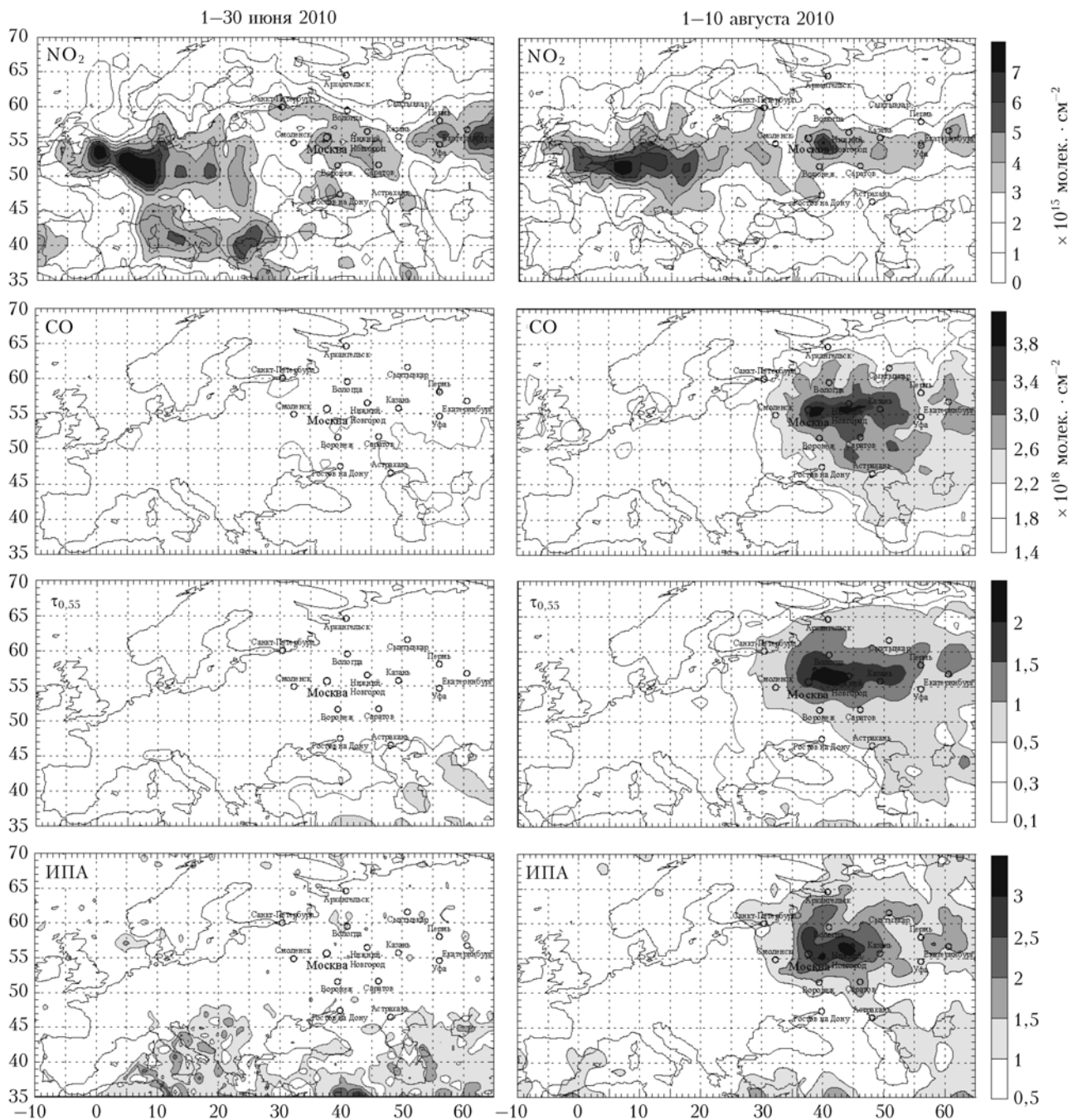


Рис. 3 (продолжение)

к востоку от ЦР РФ, свидетельствуя о сосредоточении основной массы поглощающего аэрозоля вблизи местных очагов возгорания.

Интенсификация и последующее ослабление пожаров сопровождалась изменениями концентраций в воздухе разнообразных продуктов горения, при этом, как отмечалось выше, наиболее острую реакцию обнаруживали АОТ и СО (см. рис. 1 и 3). Стоит заметить, что в отличие от АОТ (CH_2O , NO_2 , SO_2 , O_3), высокие значения (концентрации) которых ощущаются органами зрения и обоняния, диагностика уровня содержания СО в воздухе может быть осуществлена только инструментально — угарный газ

не имеет ни цвета, ни вкуса, ни запаха. Рис. 4 детализирует пространственно-временную эволюцию загрязнения европейской части России частицами аэрозоля и СО в период массовых пожаров.

Показаны средние декадные распределения АОТ и СО за 17–26 и 22–31 июля, а также за 1–10, 11–20, 16–25 и 21–30 августа (частичное перекрытие периодов осреднения обусловлено неравномерностью изменений картин пространственных распределений во времени). Из рис. 4 видно, что в последней декаде июля и в двух первых декадах августа картины пространственных распределений АОТ и СО качественно подобны друг другу, что объясняется

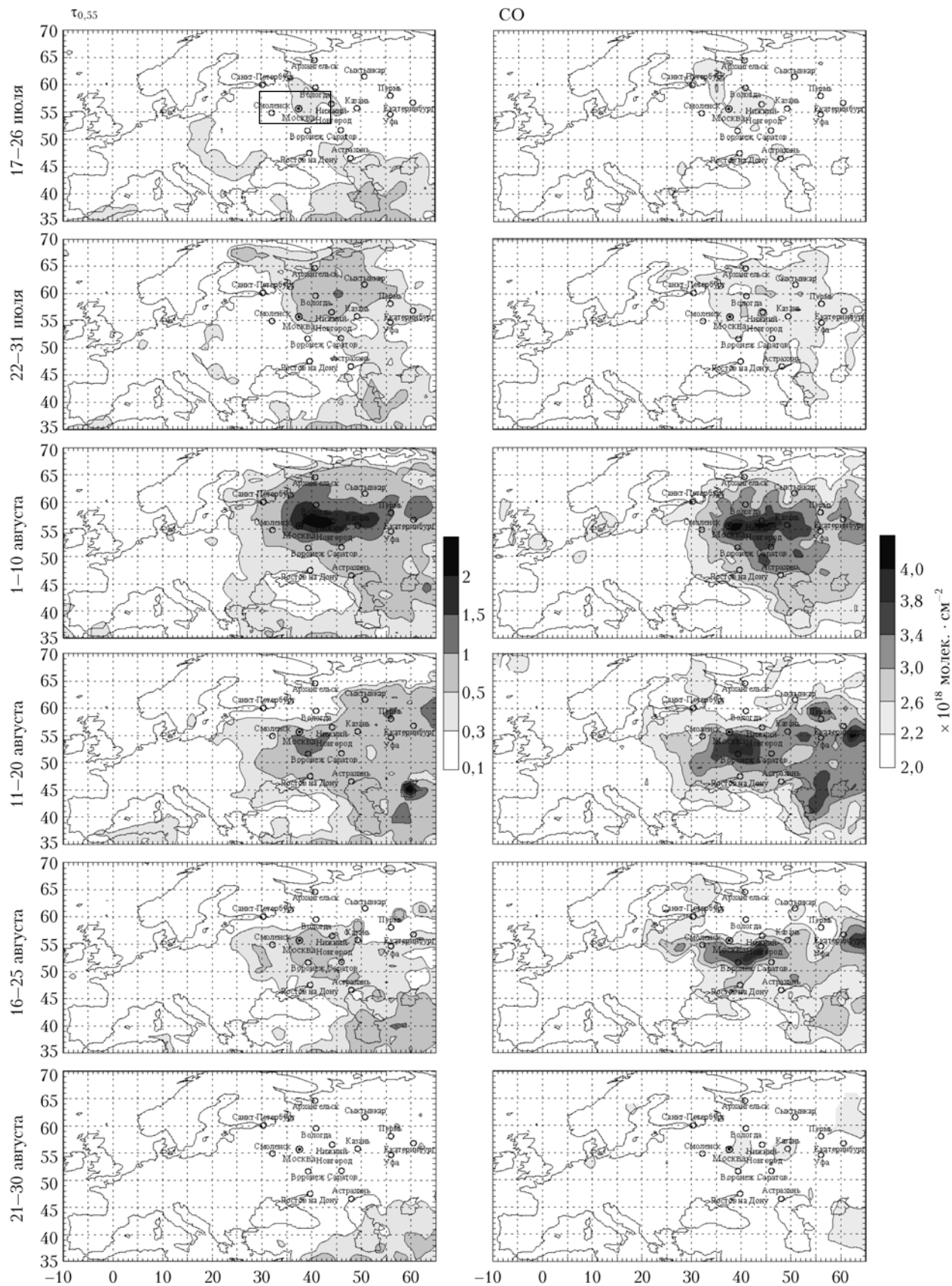


Рис. 4. Пространственно-временная эволюция $\tau_{0,55}$ (левая часть рисунка) и CO (правая часть) в период интенсификации и ослабления массовых пожаров в ЦР РФ в 2010 г. Сверху вниз показаны периоды: 17–26 июля, 22–31 июля, 1–10 августа, 11–20 августа, 16–25 августа и 21–30 августа. Прямоугольником выделен ЦР РФ

общностью источника АОТ и СО в этот период. Вместе с тем анализ изменений пространственных распределений АОТ и СО во времени показывает, что увеличение и убывание АОТ происходили быстрее соответствующих изменений СО. Это обстоятельство может объясняться меньшим временем жизни частиц атмосферного аэрозоля по сравнению с временем жизни молекул СО в атмосфере.

Заклучение

С привлечением данных спутниковых приборов MODIS, MOPITT и OMI проведен анализ изменений $\tau_{0,55}$, $\omega_{0,50}$, ИПА и содержаний СО, NO₂, SO₂, CH₂O, O₃ и H₂O над территорией ЦР РФ в период до, во время и после массовых пожаров лесов и торфяников летом 2010 г. Результаты анализа показали, что аномальное повышение температуры и интенсификация пожаров сопровождалась заметным увеличением $\tau_{0,55}$, ИПА, СО, NO₂, CH₂O и H₂O, а также уменьшением $\omega_{0,50}$ и ОСО. Наиболее острую реакцию на изменение содержания в воздухе продуктов горения обнаружили АОТ и СО. Максимальное значение АОТ отмечалось 7 августа на юго-востоке Тульской области и достигало 4,9. Максимальное значение СО отмечалось 8 августа в Тверской области и достигало $5 \cdot 10^{18}$ молек. · см⁻². В начальной стадии массовых пожаров продукты горения содержали значительное количество поглощающих аэрозольных частиц, основная масса которых была сосредоточена вблизи локальных очагов возгораний.

Анализ взаимосвязи вариаций АОТ, СО и H₂O показал, что коэффициенты корреляции АОТ с СО, а также АОТ с H₂O являются чувствительными индикаторами присутствия в воздухе продуктов горения. Анализ пространственных распределений значений оптических характеристик аэрозоля и содержаний атмосферных примесей позволил оценить как степень, так и пространственный масштаб загрязнений территории разнообразными продуктами горения, а также проследить эволюцию полей загрязнений во времени. Результаты свидетельствуют, в частности, что над европейской частью России в первой декаде августа область аэрозольного загрязнения, характеризующаяся значениями $\tau_{0,55} > 1$, охватывала площадь примерно 1 300 000 км². Отношение АОТ, проинтегрированных по площади территории, ограниченной координатами 47–70° с.ш., 30–60° в.д., в первой декаде августа и первой декаде июля составило 4,4. Это значение может служить оценкой увеличения содержания массы дыма в воздухе, обусловленного пожарами.

Следует отметить, что настоящая статья – не исчерпывающий анализ пространственно-временных изменений аэрозольного и газового состава атмосферы над ЦР РФ в период массовых пожаров лета 2010 г., а, скорее, демонстрация возможностей современных спутниковых систем наблюдений тропосферных примесей в подобных ситуациях. Стоит также отметить, что использованный мультиинструментальный подход дает значительно более полное

представление о взаимосвязанных процессах трансформации атмосферных примесей, чем анализ данных отдельных спутниковых систем. Адекватное изучение атмосферных эффектов массовых пожаров 2010 г. предполагает комплексный анализ данных наземных и спутниковых наблюдений, метеорологической и аэрологической информации, а также численного моделирования.

1. Шакина Н.П., Иванова А.Р., Бирман Б.А., Скриптунова Е.Н. Блокирование: условия лета 2010 г. в контексте современных знаний // Тезисы докл. Всерос. совещания «Состояние воздушного бассейна г. Москвы в экстремальных погодных условиях лета 2010 г.» Москва, 25 ноября 2010. М., 2011. С. 6.
2. Голицын Г.С., Шукуров А.Х., Гинзбург А.С., Сутугин А.Г., Андропова А.В. Комплексное исследование микрофизических и оптических свойств дымового аэрозоля // Изв. АН СССР. Физ. атмосф. и океана. 1988. Т. 24, № 3. С. 227–234.
3. Горчаков Г.И., Аникин П.П., Волох А.А., Емиленко А.С., Исаков А.А., Копейкин В.М., Пономарева Т.Я., Семутникова Е.Г., Свириденков М.А., Шукуров К.А. Исследование состава задымленной атмосферы Москвы во время пожаров торфяников летом–осенью 2001 г. // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 2004. Т. 40, № 3. С. 366–380.
4. Adler G., Flores J.M., Riziq A.A., Borrmann S., Rudich Y. Chemical, physical, and optical evolution of biomass burning aerosols: a case study // Atmos. Chem. Phys. 2011. V. 11, N 4. P. 1491–1503.
5. Fishman J., Bowman K.W., Burrows J.P., Richter A., Chance K.V., Edwards D.P., Martin R.V., Morris G.F., Pierce R.B., Ziemke J.R., Al-Saadi J.A., Creilson J.K., Schaack T.K., Thompson A.M. Remote sensing of tropospheric pollution from space // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 2008. V. 89, N 6. P. 805–821.
6. 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.
7. Edwards D.P., Emmons L.K., Hauglustaine D.A., Chu D.A., Gille J.C., Kaufmann Y.J., Petron G., Yurganov L.N., Giglio L., Deeter M.N., Yudin V., Ziskin D.C., Warner J., Lamarque J.-F., Francis G.L., Ho S.P., Mao D., Chen J., Grechko E.I., Drummond J.R. Observations of carbon monoxide and aerosols from the Terra satellite: Northern Hemisphere variability // J. Geophys. Res. 2004. V. 109. D24202.
8. 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. 947–973.
9. Deeter M.N., Emmons L.K., Edwards D.P., Gille J.C., Drummond J.R. Vertical resolution and information content of CO profiles retrieved by MOPITT // Geophys. Res. Lett. 2004. V. 31. L15112.
10. Levelt P.F., van der Oord G.H.J., Dobber M.R., Mälkki A., Visser H., de Vries J., Stammes P., Lundell J., Saari H. The Ozone Monitoring Instrument // IEEE Trans. Geo. Remote Sens. 2006. V. 44, N 5. P. 1093–1101.
11. Boersma K.F., Eskes H.J., Veeffkind J.P., Brinksma E.J., van der A R.J., Sneep M., van der Oord G.H.J., Levelt P.F., Stammes P., Gleason J.F., Buscela E.J. Near-real time retrieval of tropospheric NO₂ from OMI

- // Atmos. Chem. Phys. 2007. V. 7, N 8. P. 2103–2118.
12. *Acker J.G., Leptoukh G.* Online Analysis Enhances Use of NASA Earth Science Data // EOS, Trans. AGU. 2007. V. 88, N 2. P. 14–17.
13. *Ивлев Л.С.* Химический состав и структура атмосферных аэрозолей. Л.: ЛГУ, 1982. 366 с.
14. *Stavrakou T., Muller J.-F., De Smedt I., van Roozendael M., van der Werf G.R., Giglio L., Guenther A.* Evaluating the performance of pyrogenic and biogenic emission inventories against one decade of space-based formaldehyde columns // Atmos. Chem. Phys. 2009. V. 9, N 3. P. 1037–1060.
15. *Semeniuk T.A., Wise M.E., Martin S.T., Russell L.M., Buseck P.R.* Hygroscopic behavior of aerosol particles from biomass fires using environmental transmission electron microscopy // J. Atmos. Chem. 2007. V. 56, N 3. P. 259–273.

S.A. Sitnov. Analysis of satellite observations of aerosol optical properties and gaseous species over Central District of Russian Federation in the period of abnormally high summer temperature and mass wild fires in 2010.

The optical properties of aerosol ($\tau_{0.55}$, $\omega_{0.50}$, and absorbing aerosol index) and the contents of atmospheric gaseous species (CO, NO₂, SO₂, CH₂O, O₃, H₂O), obtained with the help of the satellite instruments MODIS, МОРИТТ, and OMI over the territory of the central region of Russian Federation (52–59° N, 29–45° E) in the period from April till September 2010 are analyzed. Abnormal increasing of temperature and the changes in atmospheric composition due to the forest and peatbog fires are clearly revealed in the interrelated changes of most of the atmospheric parameters. In the period from the middle of July till August, 7, the regionally averaged value of $\tau_{0.55}$ was increased more than by 20 times (from 0.09 to 2.12) and the CO total column was increased more than twice (from $1.9 \cdot 10^{18}$ to $4.0 \cdot 10^{18}$ molec. · cm⁻²), while in July–August the tropospheric NO₂ content in 2010 was 65% higher than in 2009. The spatial-temporal evolution of aerosol characteristics and gaseous species before, during, and after mass wild fires is studied, as well as radiation effects of smoke are analyzed.