

АТМОСФЕРНАЯ РАДИАЦИЯ, ОПТИЧЕСКАЯ ПОГОДА И КЛИМАТ

УДК 551.510

Влияние сибирских пожаров на содержание монооксида углерода в атмосфере над европейской частью России летом 2016 г.

С.А. Ситнов¹, И.И. Мохов^{1,2}, А.В. Джола^{1*}

¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН
119017, г. Москва, Пыжевский пер., 3

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
119991, г. Москва, Ленинские горы, 1

Поступила в редакцию 26.09.2016 г.

С использованием наземных и спутниковых измерений содержания монооксида углерода (СО) проведен анализ причин повышения содержания СО в атмосфере над европейской территорией России (ЕТР) летом 2016 г. Результаты анализа свидетельствуют, что повышение содержания СО в атмосфере ЕТР было связано с дальним переносом продуктов горения от пожаров в Сибири. Аномальному восточному переносу СО в атмосфере способствовало преимущественное расположение над центром Северной Евразии области высокого давления к северу от области низкого давления, характерное для атмосферного блокирования дипольного типа.

Ключевые слова: монооксид углерода, СО, дальний перенос, атмосферное блокирование, лесные пожары в Сибири 2016, спектрометр ЗНС ИФА РАН, AIRS; carbon monoxide, CO, anomalous long-range transport, atmospheric blocking, Siberian wildfires 2016, ground-based spectroscopic CO measurements, AIRS.

Введение

Оксид углерода (СО) — токсичный газ, играющий важную роль в химии атмосферы. Важным источником и основной причиной межгодовых вариаций содержания СО в атмосфере являются природные пожары [1–5]. Летом 2016 г. в Сибири отмечались лесные пожары, развитию которых способствовали особенности крупномасштабной атмосферной циркуляции. В связи с преимущественной локализацией области высокого давления в атмосфере над северо-западной частью Евразии аномальное повышение температуры и отсутствие осадков в антициклонической области привели к развитию массовых пожаров и сильному задымлению атмосферы над Сибирью. Судя по синоптической ситуации и данным аэрокосмического мониторинга сибирские пожары могли быть причиной дымной мглы, отмечавшейся в конце июля на европейской территории России (ЕТР) [6].

При массовых пожарах содержание в атмосфере дымового аэрозоля положительно коррелирует с содержанием в атмосфере монооксида углерода [7–9]. Это связано с общим источником частиц дыма и молекул СО при пожарах. Особая опасность СО

(угарного газа) состоит в том, что в отличие от дыма СО не имеет цвета и запаха и его присутствие в воздухе не ощущается органами чувств. При этом, характеризуясь относительно продолжительным временем жизни в атмосфере (1–3 мес), СО в атмосфере может переноситься на значительные расстояния от источников эмиссии [10–13].

Цель данной работы — анализ возможного переноса СО от пожаров в Сибири на ЕТР летом 2016 г. Актуальность работы связана с тем, что согласно модельным оценкам при продолжении глобального потепления в регионах Северной Евразии, в частности в Сибири, следует ожидать учащения природных пожаров [14, 15], в том числе в связи с увеличением общей продолжительности летних блокирований в атмосфере [16, 17].

Данные и их источники

Анализировались наземные спектрометрические измерения общего содержания СО в атмосфере на Звенигородской научной станции (55,7° с.ш., 36,8° в.д.) Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН (ЗНС ИФА РАН) [18]. Методика определения общего содержания СО в атмосфере на ЗНС ИФА РАН основана на анализе спектров поглощения прямого солнечного излучения в диапазоне частот 2152–2160 см⁻¹ (вблизи длины волны 4,6 мкм). Среднее квадратическое отклонение единичного измерения — 8–10% [19].

* Сергей Африканович Ситнов (sitnov@ifaran.ru); Игорь Иванович Мохов; (mokhov@ifaran.ru); Анатолий Васильевич Джола (dzhola@yandex.ru).

Использовались также данные дневных измерений содержания CO в атмосфере спутниковым спектрометром высокого разрешения AIRS (Atmospheric InfraRed Sounder) платформы Aqua [20]. Для восстановления атмосферного содержания CO используются измерения излучения земной поверхности и атмосферы вблизи длины волны 4,6 мкм с точностью определения общего содержания CO 15% в фоновых условиях [21]. Пространственное разрешение при измерениях в надир – 45 × 45 км. Сканирующая система обеспечивает ежедневное покрытие данными 95% земной поверхности. Дневные измерения осуществляются на восходящем витке орбиты с пересечением экватора в 13:30 местного времени. Измерения CO AIRS (версия 6) на сетке 1 × 1° (L3) получены с помощью системы визуализации и анализа данных Giovanni (<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni>) [22].

Кроме того, к анализу привлекались данные о характеристиках пожаров по измерениям спектрометрами MODIS (версия 5, L2, <http://firefly.geog.umd.edu>). Интенсивность горения в «пожарных» областях-пикселях размером 1 × 1 км определяется на основе эмпирического соотношения

$$РМП = 4,34 \cdot 10^{-19} (T^8 - T_b^8) S,$$

где РМП – радиационная мощность пожара, МВт; T и T_b – яркостная температура на длине волны 4 мкм пикселя с пожаром и окружающих его пикселей, К; S – площадь «пожарного» пикселя с учетом дисторсии, км² [23].

Для исследования особенностей атмосферной циркуляции использованы данные NCEP/NCAR-реанализа (<http://www.esrl.noaa.gov>) [24] и расчеты обратных траекторий с привлечением модели HYSPLIT [25].

Результаты

Наземный и спутниковый мониторинг содержания CO в атмосфере

Наземные спектроскопические измерения содержания CO в атмосферном столбе регулярно ведутся на ЗНС ИФА РАН с 1970-х гг. Чувствительные к содержанию CO приземного слоя атмосферы измерения спектрометра ЗНС ИФА РАН неоднократно использовались для анализа вариаций содержания CO в атмосфере ЕТР при пожарах лесов и торфяников [4, 18]. В третьей декаде июля 2016 г. в отсутствие на ЕТР массовых природных пожаров в атмосфере над ЗНС ИФА РАН было зарегистрировано необычно высокое для этого периода содержание CO (рис. 1, *a*). Анализ многолетнего распределения июльских величин содержания CO в атмосфере над ЗНС ИФА РАН в период 2000–2015 гг. свидетельствует, что значения содержания CO, отмечавшиеся 25–27 июля 2016 г. (до $3 \cdot 10^{18}$ мол./см²), превышали верхний предел 95%-го доверительного интервала для медианы многолетнего распределения ($2,1 \cdot 10^{18}$ мол./см²).

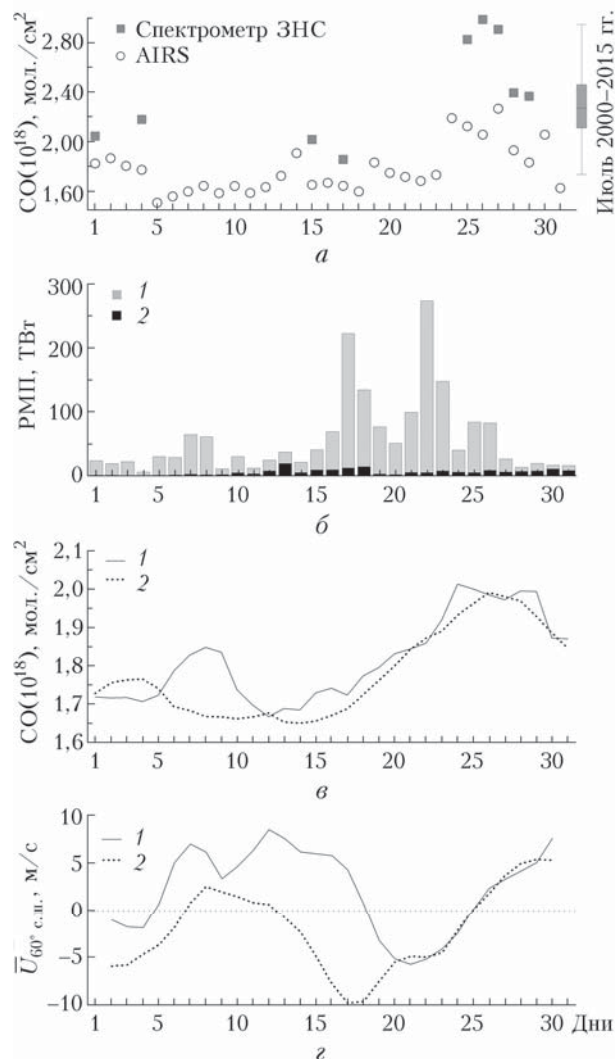


Рис. 1. Содержание CO в атмосферном столбе по данным спектрометра ЗНС и по измерениям AIRS над ячейкой (55–56° с.ш., 36–37° в.д.) в июле 2016 г., а также многолетнее распределение июльского содержания CO в 2000–2015 гг. по данным спектрометра ЗНС ИФА РАН (*a*); суммарная РМП по данным MODIS/Terra на территориях 40–75° с.ш., 70–120° в.д. (1) и 40–75° с.ш., 20–70° в.д. (2) (*б*); среднее региональное содержание CO в атмосфере над территориями 40–75° с.ш., 70–120° в.д. (1) и 40–75° с.ш., 20–70° в.д. (2) (*в*); средний зональный ветер \bar{U} над 60° с.ш. в долготном секторе 30–60° в.д. (1) и 75–105° в.д. (2) (*г*) в июле 2016 г.

В период 24–30 июля 2016 г. повышенное содержание CO в атмосфере над ячейкой (55–56° с.ш., 36–37° в.д.), соответствующей положению ЗНС ИФА РАН, отмечено также по данным спутникового спектрометра AIRS (см. рис. 1, *a*). При этом содержание CO по спутниковым данным было систематически ниже содержания CO по наземным измерениям. В среднем за июль это различие составило 20%, а 26 июля 2016 г. достигало 31%. Систематическое занижение общего содержания CO прибором AIRS можно связать с относительно слабой чувствительностью спутниковых методов измерений

содержания СО в среднем ИК-диапазоне к содержанию СО приземного слоя атмосферы (где при пожарах отмечаются высокие концентрации СО). Это существенно затрудняет использование данных указанных выше измерений для оценок пирогенной эмиссии оксида углерода [4]. Вместе с тем высокое ежедневное покрытие позволяет эффективно использовать данные СО AIRS для исследования процессов дальнего переноса СО при пожарах.

На рис. 1, б показаны ежедневные величины суммарной РМП в западной (40–75° с.ш., 20–70° в.д.) и восточной (40–75° с.ш., 70–120° в.д.) частях Северной Евразии в июле 2016 г. Представленные результаты свидетельствуют, что интенсивность пожаров в Сибири заметно превышала интенсивность пожаров в западной части анализируемой территории. Максимального развития пожары в Сибири достигли в период с 17 по 23 июля 2016 г. Количественные характеристики пожаров в рассматриваемых регионах приведены в таблице. Согласно данным таблицы количество и совокупная РМП на востоке в 7 и 9 раз превосходили соответствующие характеристики пожаров на западе. Таким образом, основные источники пирогенной эмиссии СО в июле 2016 г. находились в Сибири.

Количество N «пожарных» пикселей (1×1 км), их суммарная площадь S с учетом оптических искажений, суммарная РМП пожаров, средняя РМП пожара, максимальная РМП пожара, а также координаты и дата ее наблюдения на западе (40–75° с.ш., 20–70° в.д.) и востоке (40–75° с.ш., 70–120° в.д.) Северной Евразии в июле 2016 г. по данным MODIS/Terra

Параметр	40–75° с.ш., 20–70° в.д.	40–75° с.ш., 70–120° в.д.
$N, 10^3$ км ²	2	16
$S, 10^3$ км ²	4	27
РМП _{сум} , ГВт	176	1624
РМП _{сред} , МВт	76	101
РМП _{max} , МВт	1199	4542
Координаты РМП _{max}	47,7° с.ш., 29,2° в.д.	63,3° с.ш., 98,8° в.д.
Дата РМП _{max}	23 июля	22 июля

Примечание. Площадь каждой из рассматриваемых территорий составляет около 12 млн км².

На рис. 1, в представлены ежедневные вариации среднего регионального содержания СО в атмосфере над рассматриваемыми территориями. Результаты свидетельствуют, что в первой половине июля 2016 г. изменения общего содержания СО над восточной и западной частями Северной Евразии характеризовались отсутствием корреляции между собой, при этом на востоке региональное содержание СО достаточно четко коррелировало с суммарной РМП. Со второй половины июля с развитием массовых пожаров в Сибири над обеими территориями отмечены синхронные изменения общего содержания СО. Это можно объяснить общим источником загрязнения атмосферы СО над всей рассматриваемой территорией.

Пространственно-временные вариации содержания СО

На рис. 2 показана пространственно-временная динамика пожаров и содержания СО в атмосфере над Северной Евразией. Согласно рис. 2 массовые лесные пожары в Сибири в июле 2016 г. отмечались на обширной территории между Обской губой и оз. Байкал, а на европейской территории – в Северном Причерноморье. При этом на ЕТР массовые пожары не отмечались. Над Северным Причерноморьем повышения содержания СО не выявлено, что можно связать с меньшей мощностью слоя горящей биомассы при степных и лесостепных пожарах чем при пожарах в бореальных лесах.

Результаты свидетельствуют, что со второй декады июля 2016 г. шлейф загрязненного монооксидом углерода воздуха распространялся в атмосфере от очагов пожаров в Сибири на запад, достигнув в конце второй декады июля Урала. С развитием массовых пожаров содержание СО в атмосфере над Сибирским регионом резко увеличилось и одновременно продукты горения стали распространяться на ЕТР с достижением в третьей декаде июля 2016 г. регионов Центральной Европы. Анализ динамики шлейфа СО показывает, что перенос продуктов горения в атмосфере с востока на запад в поясе 55–65° с.ш. осуществлялся на расстояние в несколько тысяч километров со скоростью 5–6 м/с. В первой декаде августа 2016 г. с затуханием пожаров и в связи с рассеиванием продуктов горения в атмосфере целостный шлейф СО перестал существовать.

Высотно-временные вариации содержания СО в атмосфере

На рис. 3 представлено высотно-долготное распределение содержания СО в атмосфере над Северной Евразией в широтном поясе 45–65° с.ш. в последовательные временные интервалы. Хотя измерения AIRS наиболее чувствительны к содержанию СО в слое 600–300 гПа [26], в период 10–15 июля 2016 г. над Средней Сибирью максимальное содержание СО (до 120 ppb) отмечалось в нижней тропосфере, что можно объяснить находившимися в приземном слое атмосферы источниками эмиссии СО – пожарами. Период 15–20 июля характеризовался расширением области повышенного содержания СО из центральной части Сибири на запад до Урала. При усилении пожаров 17 и 18 июля (см. рис. 1, б) рост содержания СО отмечался в основном в нижней тропосфере Западной Сибири (до 130 ppb). Это объясняется западным ветром, доминировавшим в тропосфере над ЕТР и препятствовавшим переносу продуктов горения на запад (рис. 1, в). Усиление пожаров 21–23 июля сопровождалось ростом содержания СО в нижней тропосфере над Средней Сибирью (до 150 ppb), а также распространением продуктов горения на ЕТР и за ее границы на запад, вследствие смены направления зонального ветра над ЕТР с западного на восточный (см. рис. 1, в). 25–30 июля шлейф продук-

тов горения в значительной степени формировался под влиянием атмосферной циркуляции в глубокой ложбине с осью, ориентированной в направлении с юго-запада на северо-восток. Перенос CO в атмо-

сфере от пожаров в Средней Сибири в этот период осуществлялся в северо-восточном направлении, а локальные максимумы CO отмечались в средней тропосфере вблизи 500 гПа (рис. 2 и 3).

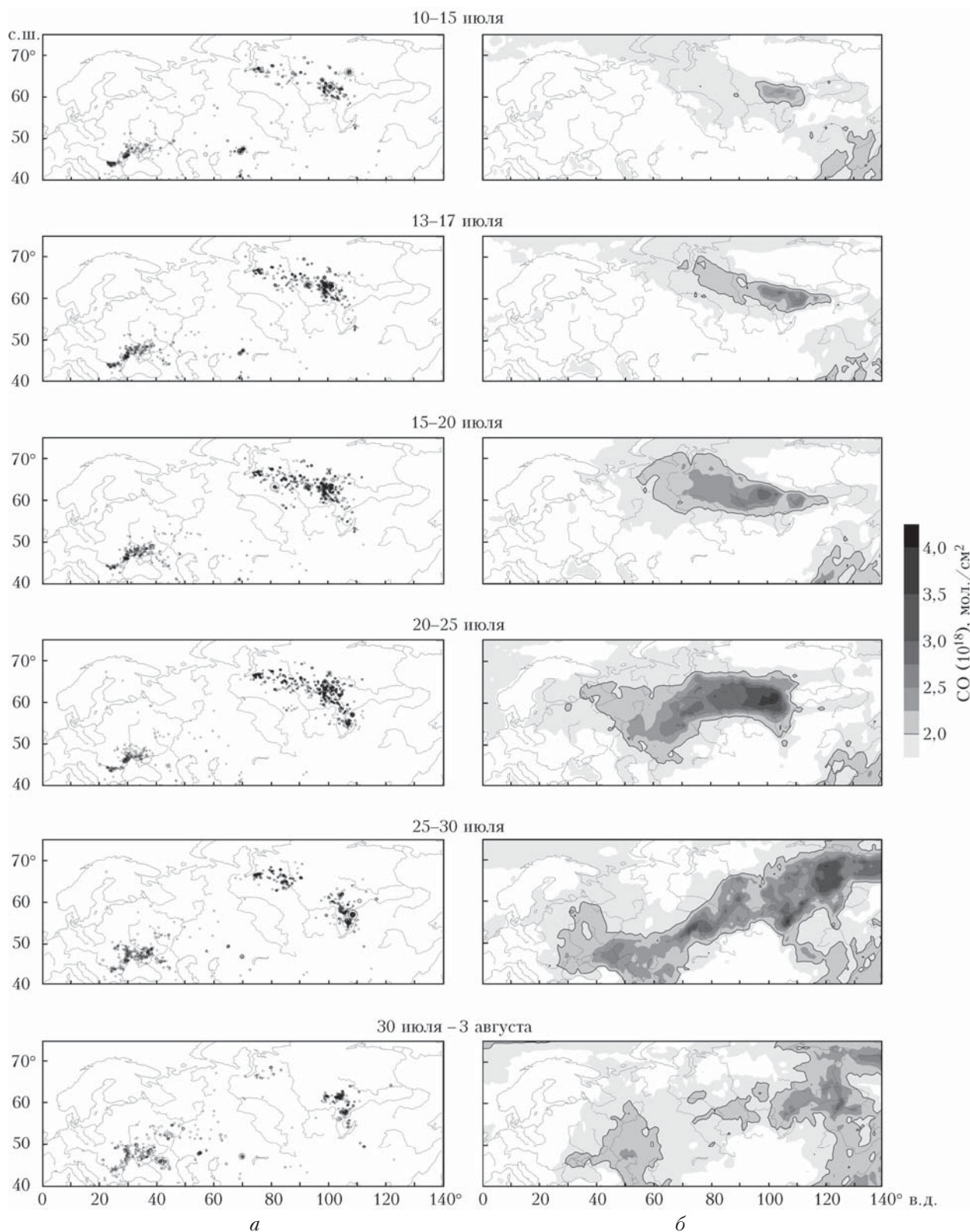


Рис. 2. Пространственное распределение пожаров по данным MODIS/Terra (*a*) и средних величин содержания CO в атмосферном столбе по данным AIRS (*б*) в последовательные интервалы времени в июле 2016 г. (сверху вниз)

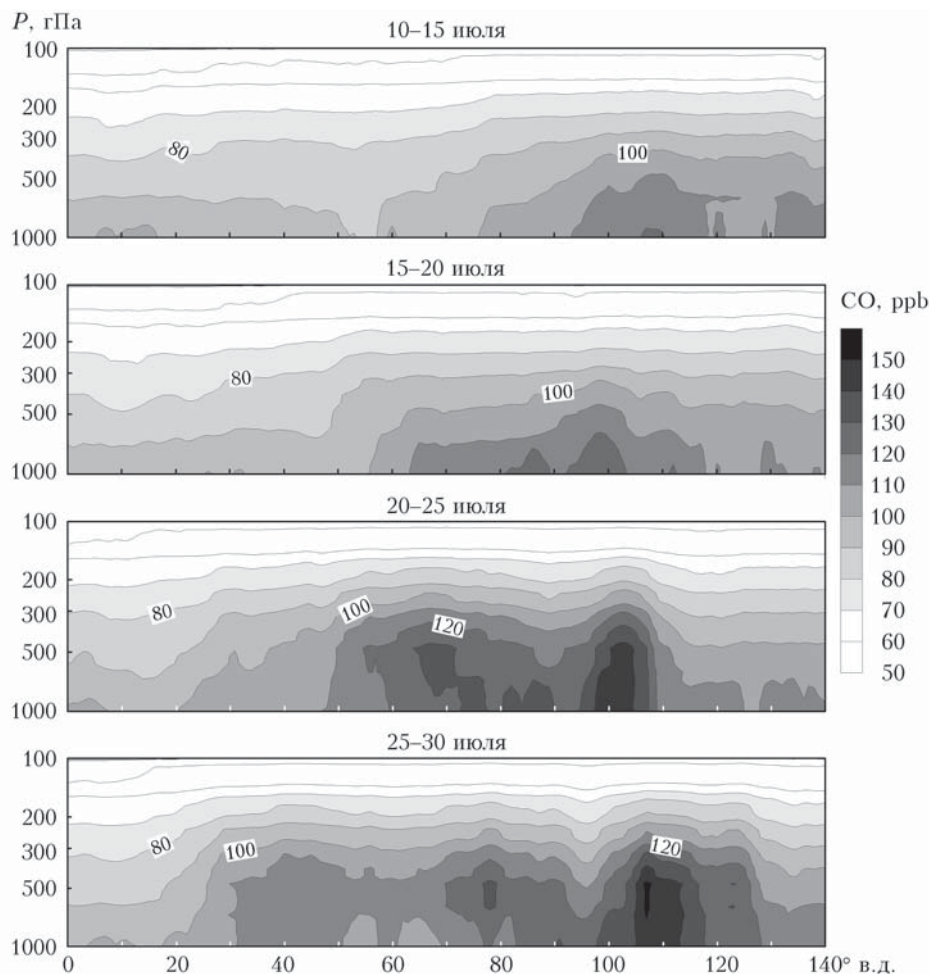


Рис. 3. Высотно-долготное распределение средних величин содержания CO в широтном поясе 45–65° с.ш. в последовательные интервалы времени в июле 2016 г. (сверху вниз)

Механизм дальнего переноса CO в атмосфере над Северной Евразией

Дальний перенос CO от пожаров может оказывать существенное влияние на локальное содержание CO в атмосфере [10–13]. Механизм дальнего переноса CO в атмосфере, как правило, связан с западным переносом воздуха, доминирующим в тропосфере средних широт обоих полушарий. В частности, в [11] выявлен перенос CO от пожаров в Южной Америке через Атлантический и Индийский океаны в Австралию, а в [12] – от пожаров на Аляске на юго-восток США. Достаточно детально исследован транстихоокеанский перенос CO [13].

Причиной аномального восточного переноса CO в тропосфере над Сибирью в двух первых декадах июля 2016 г. (см. рис. 2, 3) было меридиональное расположение областей высокого и низкого давления, характерное для атмосферного блокирования дипольного типа [27, 28], – с областью высокого давления к северу от области низкого давления (и границей раздела указанных областей вблизи 60-й параллели (рис. 4, а)). В антициклоне воздух циркулирует по часовой стрелке, в циклоне – против, в результате на границе раздела областей высокого и низкого давления перенос воздуха

осуществлялся с востока на запад – со стороны очагов горения в Сибири к Уралу. В начале третьей декады июля 2016 г. ось вихревого диполя сместилась от 75° в.д. к 40° в.д. (рис. 4, б) и продукты горения распространились в атмосферу ЕТР. В начале третьей декады июля над севером ЕТР и Западной Сибирью располагалась протяженная в долготном направлении область высокого давления. Южнее отмечалась область низкого давления в виде цепочки из трех циклонов (примерно одинакового размера) вдоль круга широты на расстоянии около 3000 км друг от друга (см. рис. 4, б). На границе областей (примерно вдоль 60-й параллели) воздух в тропосфере мог перемещаться с востока на запад на значительное расстояние – тысячи километров.

Согласно результатам анализа 10-дневных обратных траекторий, рассчитанных с использованием дисперсионной модели HYSPLIT, большинство траекторий воздушных частиц, пришедших в Москву 24, 25 и 27 июля, в частности на высоте 1 км, проходили над кластерами лесных пожаров на Тунгусском плато (рис. 4, в). По данным моделирования воздушные массы преодолевали расстояние в 4000 км примерно за 8 сут. Это согласуется с оценками скорости переноса CO из анализа пространственно-временной динамики шлейфа загрязненного

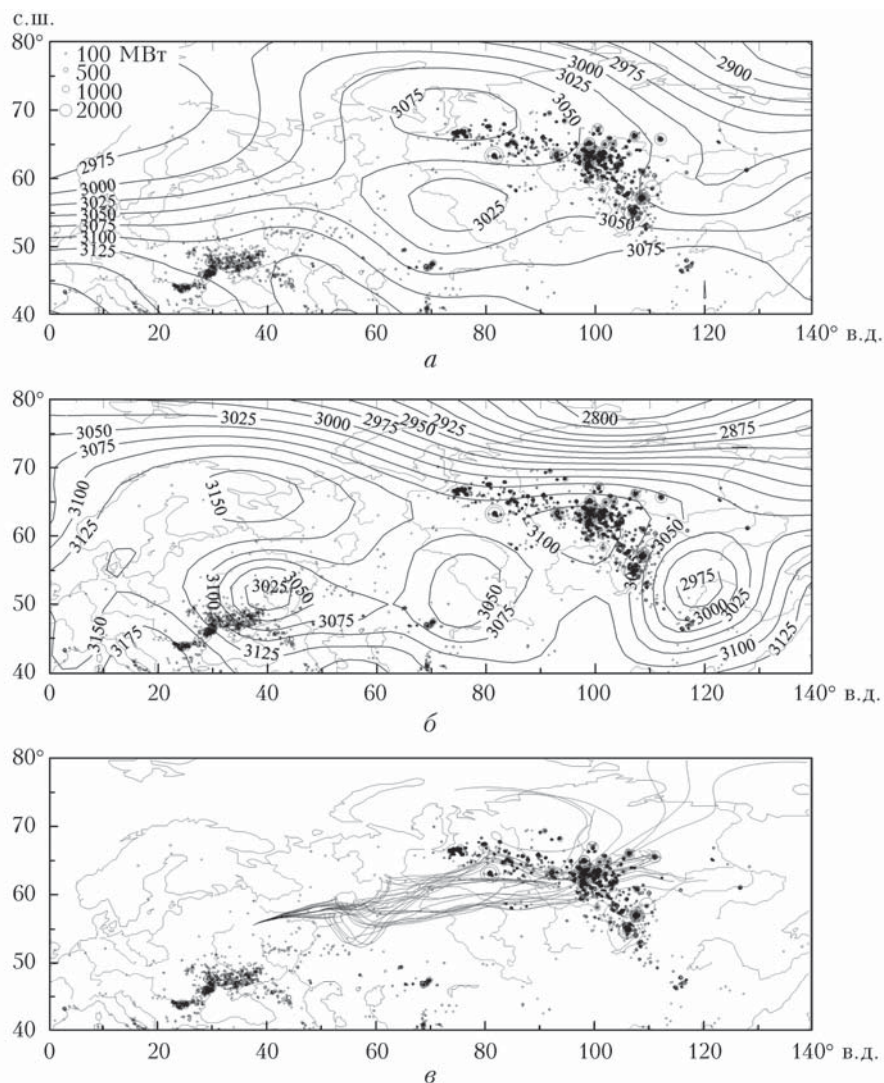


Рис. 4. Пространственное распределение высот геопотенциальной поверхности 700 гПа в период 1–20 июля 2016 г. (а) и 23 июля 2016 г. (б) – изолинии, обозначения в гп. м, а также ансамбль из 27 десятидневных обратных траекторий воздушных частиц, пришедших в Москву 24 июля 2016 г. на высоте 1 км (в). Кругами показаны очаги пожаров в июле 2016 г.; диаметр круга пропорционален РМ10

СО воздуха (см. рис. 2). Полученные результаты свидетельствуют, что аномальный дальний перенос СО от пожаров в Сибири был причиной высокого содержания СО в атмосфере ЕТР летом 2016 г.

Заключение

Проведенный анализ причин повышения содержания СО в атмосфере ЕТР летом 2016 г. с привлечением данных наземных спектрометрических измерений общего содержания СО на ЗНС ИФА РАН и спутниковых измерений содержания СО спектрометром AIRS выявил, что причиной был дальний перенос СО от пожаров в Сибири. Аномальному переносу СО с востока на запад в тропосфере на расстояние нескольких тысяч километров со скоростью 5–6 м/с способствовало преимущественное расположение над центром Се-

верной Евразии области высокого давления к северу от области низкого давления, характерное для атмосферного блокирования дипольного типа.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 15-05-07853_a) с использованием результатов, полученных в рамках программ РАН. Анализ вихревой динамики в атмосфере проводился в рамках проекта РНФ (грант № 14-17-00806).

1. Crutzen P., Zimmermann P. The changing photochemistry of the troposphere // *Tellus AB*. 1991. V. 43, N 4. P. 136–151.
2. Кароль И.Л., Киселев А.А. Что несут лесные пожары атмосфере? // *Природа*. 2007. № 5. С. 40–46.
3. Голицын Г.С., Горчаков Г.И., Гречко Е.И., Семутникова Е.Г., Ракитин В.С., Фокеева Е.В., Карнов А.В., Курбатов Г.А., Байкова Е.С., Сафрыгина Т.П. Экстремальное загрязнение угарным газом пограничного

- слоя атмосферы в Московском регионе летом 2010 г. // Докл. РАН. 2011. Т. 441, № 4. С. 532–538.
4. *Yurganov L., Rakitin V., Dzhola A., August T., Fokeeva E., Gorchakov G., Grechko E., Hannon S., Karпов A., Ott L., Semutnikova E., Shumsky R., Strow L.* Satellite- and ground-based CO total column observations over 2010 Russian fires: Accuracy of top-down estimates based on thermal IR satellite data // Atmos. Chem. Phys. 2011. V. 11, N 15. P. 7925–7942.
 5. *Бондур В.Г.* Космический мониторинг природных пожаров в России в условиях аномальной жары 2010 г. // Исслед. Земли из космоса. 2011. № 3. С. 3–13.
 6. *Ситнов С.А., Мохов И.И., Горчаков Г.И.* Связь задымления атмосферы европейской территории России летом 2016 г. с лесными пожарами в Сибири и аномалиями атмосферной циркуляции // Докл. РАН. 2017. Т. 472, № 4. С. 456–461.
 7. *Kampe T.U., Sokolik I.N.* Remote sensing retrievals of fine mode aerosol optical depth and impacts on its correlation with CO from biomass burning // Geophys. Res. Lett. 2007. V. 34. L12806.
 8. *Ситнов С.А.* 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. // Оптика атмосф. и океана. 2011. Т. 24, № 7. С. 572–581.
 9. *Ситнов С.А.* Оптическая толща аэрозоля и общее содержание оксида углерода над европейской территорией России в период массовых пожаров лета 2010 г.: взаимосвязь изменчивости загрязнений и метеорологических величин // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 2011. Т. 47, № 6. С. 774–789.
 10. *Bowman K.P.* Transport of carbon monoxide from the tropics to the extratropics // J. Geophys. Res. 2006. V. 111. D02107.
 11. *Gloude mans A.M.S., Krol M.C., Meirink J.F., de Laat A.T.J., van der Werf G.R., Schrijver H., van den Broek M.M.P., Aben I.* Evidence for long-range transport of carbon monoxide in the Southern Hemisphere from SCIAMACHY observations // Geophys. Res. Lett. 2006. V. 33. L16807.
 12. *McMillan W.W., Warner J.X., McCourt Comer M., Maddy E., Chu A., Sparling L., Eloranta E., Hoff R., Sachse G., Barnett C., Razenkov I., Wolf W.* AIRS views transport from 12 to 22 July 2004 Alaskan/Canadian fires: Correlation of AIRS CO and MODIS AOD with forward trajectories and comparison of AIRS CO retrievals with DC-8 in situ measurements during INTEX-A/ICARTT // J. Geophys. Res. 2008. V. 113. D20301.
 13. *Nam J., Wang Y., Luo C., Chu D.A.* Trans-Pacific transport of Asian dust and CO: Accumulation of biomass burning CO in the subtropics and dipole structure of transport // Atmos. Chem. Phys. 2010. V. 10. P. 3297–3308.
 14. *Мохов И.И., Чернокульский А.В.* Региональные модельные оценки риска лесных пожаров в азиатской части России при изменениях климата // География и природные ресурсы. 2010. № 2. С. 120–126.
 15. *Мохов И.И., Чернокульский А.В., Школьник И.М.* Региональные модельные оценки пожароопасности при глобальных изменениях климата // Докл. РАН. 2006. Т. 411, № 6. С. 808–811.
 16. *Mokhov I.I., Timazhev A.V., Lupo A.R.* Changes in atmospheric blocking characteristics within Euro-Atlantic region and Northern Hemisphere as a whole in the 21st century from model simulations using RCP anthropogenic scenarios // Glob. Planet. Change. 2014. V. 122. P. 265–270.
 17. *Мохов И.И., Тимажев А.В.* Модельные оценки возможных изменений атмосферных блокирований в Северном полушарии при RCP-сценариях антропогенных воздействий // Докл. РАН. 2015. Т. 460, № 2. С. 210–214.
 18. *Yurganov L.N., Grechko E.I., Dzhola A.V.* Zvenigorod carbon monoxide total column time series: 27 years of measurements // Chemosphere: Global Change Sci. 1999. V. 1. P. 127–136.
 19. *Dianov-Klokov V.I., Yurganov L.N., Grechko E.I., Dzhola A.V.* Spectroscopic measurements of atmospheric carbon monoxide and methane. 1: Latitudinal distribution // J. Atmos. Chem. 1989. V. 8, N 2. P. 139–151.
 20. *Aumann H.H., Chahine M.T., Gautier C., Goldberg M., Kalnay E., McMillin L., Revercomb H., Rosenkranz P.W., Smith W.L., Staelin D., Strow L., Susskind J.* AIRS/AMSU/HSB on the Aqua mission: Design, science objectives, data products and processing systems // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 2003. V. 41. P. 253–264.
 21. *Pagano T.S., Chahine M.T., Fetzer E.J.* The Atmospheric Infrared Sounder (AIRS) on the NASA Aqua spacecraft: A general remote sensing tool for understanding atmospheric structure, dynamics and composition // Proc. SPIE. 2010. V. 7827. P. 1–8. DOI: 10.1117/12.865335.
 22. *Acker J.C., Leptoukh G.* Online analysis enhances use of NASA Earth science data // EOS, Trans., Amer. Geophys. Union. 2007. V. 88. P. 14–17.
 23. *Justice C.O., Giglio L., Korontzi S., Owens J., Morissette J.T., Roy D., Descloitres J., Alleaume S., Petitcolin F., Kaufman Y.* The MODIS fire products // Rem. Sens. Environ. 2002. V. 83. P. 244–262.
 24. *Kistler R., Collins W., Saha S., White G., Woollen J., Kalnay E., Chelliah M., Ebisuzaki W., Kanamitsu M., Kousky V., van den Dool H., Jenne R., Fiorino M.* The NCEP-NCAR 50-year reanalysis: Monthly means CD-ROM and documentation // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 2001. V. 82. P. 247–267.
 25. *Stein A.F., Draxler R.R., Rolph G.D., Stunder B.J.B., Cohen M. D., Ngan F.* NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 2015. V. 96. P. 2059–2077.
 26. *Warner J.X., Comer M.M., Barnett C.D., McMillan W.W., Wolf W., Maddy E., Sachse G.* A comparison of satellite tropospheric carbon monoxide measurements from AIRS and MOPITT during INTEX-A // J. Geophys. Res. 2007. V. 112. D12S17.
 27. *Обухов А.М., Курганский М.В., Татарская М.С.* Динамические условия для возникновения засух и других крупномасштабных погодных аномалий // Метеорол. и гидрол. 1984. № 10. С. 5–14.
 28. *Мохов И.И., Петухов В.К.* Блоклинги и их тенденции изменения // Докл. РАН. 1997. Т. 337, № 5. С. 687–689.

S.A. Sitnov, I.I. Mokhov, A.V. Dzhola. Impact of Siberian wildfires on the content of carbon monoxide in the atmosphere over European Russia in summer 2016.

With the use of ground-based and satellite measurements of carbon monoxide (CO) an analysis of the reason of the increase in CO over European Russia (ER) in the summer of 2016 was carried out. The results showed that the increase in the CO content was due to the long-range transport of combustion products from wildfires in Siberia. Predominant location over the central part of Northern Eurasia of the high-pressure area to the north of the area of low pressure, which is characteristic for the dipole type of atmospheric blocking, contributed to the anomalous transport of CO from east to west.