

ОПТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И БАЗЫ ДАННЫХ ОПТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
ОБ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

УДК 551.510

**Вариации монооксида углерода в атмосфере в условиях
блокирования над европейской территорией России
летом 2010 г. (по данным AIRS)**

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

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

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

Поступила в редакцию 15.09.2016 г.

По данным измерений содержания монооксида углерода (СО) в атмосфере спутниковым спектрометром AIRS исследуется пространственно-временная и высотно-временная изменчивость СО над европейской территорией России (ЕТР) в условиях атмосферного блокирования летом 2010 г. Данные спутниковых измерений СО в атмосферном столбе сопоставляются с данными наземных спектрометрических измерений общего содержания СО на Звенигородской научной станции Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН. Выявлены особенности эволюции поля содержания СО в атмосфере, обусловленные региональной атмосферной динамикой при омега-блокировании над ЕТР в период интенсивных пожаров.

Ключевые слова: монооксид углерода, СО, атмосферное блокирование, природные пожары, европейская территория России, лето 2010 г., AIRS, наземные спектрометрические измерения СО; carbon monoxide, CO, atmospheric blocking, wildfires, European Russia, summer 2010, AIRS, ground-based spectrometer CO measurements.

Введение

Монооксид углерода (СО) играет важную роль в атмосферной фотохимии. В присутствии оксидов азота и солнечной радиации СО участвует в образовании тропосферного озона, а реагируя с гидроксидом, регулирует окислительную способность атмосферы [1]. СО токсичен – продолжительное вдыхание воздуха с повышенными концентрациями СО приводит к гипоксии и поражениям центральной нервной системы [2]. Содержание СО в атмосфере определяется как природными процессами, так и антропогенными факторами. Важным источником СО являются природные пожары [3].

Развитию природных пожаров на европейской территории России (ЕТР) летом 2010 г. способствовали аномалии циркуляционного, термического и гидрологического режимов, связанные с экстремально продолжительным атмосферным блокированием [4]. Исследованию изменений содержания СО над ЕТР при пожарах 2010 г., в частности оценкам пирогенной эмиссии СО, посвящено большое количество работ [5–17], однако точность полученных оценок является невысокой вследствие особенностей спутниковых алгоритмов определения СО в среднем ИК-диапазоне [11, 12].

Контроль содержания СО играет важную роль в задачах теории климата и экологии. Кроме того, достаточно продолжительное время жизни молекулы СО в атмосфере (1–3 мес) позволяет использовать СО в качестве трассера динамических процессов в атмосфере [18, 19].

Влияние атмосферной динамики на пространственно-временную изменчивость содержания СО над ЕТР летом 2010 г. было отмечено в [8, 17], однако использование данных спутникового спектрометра МОРПТ, характеризующихся невысоким ежедневным пространственным покрытием, позволило авторам провести анализ лишь осредненных по времени пространственных распределений содержания СО в атмосфере над ЕТР – декадных и более длительных.

Цель данной работы – анализ пространственно-временных изменений содержания СО синоптического масштаба, связанных с особенностями региональной атмосферной динамики при омега-блокировании над ЕТР в период интенсивных пожаров летом 2010 г. Актуальность данной работы обусловлена тем, что, согласно модельным оценкам, при продолжении глобального потепления следует ожидать увеличения повторяемости экстремально длительных летних атмосферных блокирований в Евро-Атлантическом секторе [20, 21].

Данные и их источники

В работе использовались данные дневных измерений содержания СО в атмосфере спутниковым

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

спектрометром высокого разрешения AIRS (Atmospheric InfraRed Sounder), регистрирующим радиацию в 2378 каналах ИК-диапазона (3,7–15,4 мкм) и четырех каналах в видимой области (0,4–1 мкм) [22]. В алгоритме AIRS для восстановления содержания CO в атмосфере используются измерения в диапазоне частот 2160–2200 см⁻¹ (вблизи длины волны 4,6 мкм). Точность измерения общего содержания CO – 15% [23]. Пространственное разрешение при измерениях в надир (и с анализом поля облачности микроволновым радиометром AMSU) – 45 × 45 км. Сканирующая система обеспечивает ежедневное покрытие данными 95% земной поверхности. Спектрометр AIRS установлен на борту спутника Aqua, запущенного в 2002 г. на околополярную солнечно-синхронную орбиту высотой 705 км с периодом обращения 98,8 мин. Дневные измерения осуществляются на восходящем витке орбиты с пересечением экватора в 13:30 местного времени. Измерения CO AIRS (версия 6), интерполированные к сетке 1 × 1° (L3), получены с помощью системы визуализации и анализа данных Giovanni (<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni>) [24].

Использовались также наземные спектрометрические измерения общего содержания CO в атмосфере на Звенигородской научной станции Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН (ЗНС ИФА РАН) (55,7° с.ш., 36,8° в.д.). Методика определения общего содержания CO в атмосфере на ЗНС основана на анализе спектров поглощения прямого солнечного излучения в диапазоне частот 2152–2160 см⁻¹ [25]. Среднее квадратическое отклонение единичного измерения – 8–10%.

Кроме того, к анализу привлекались данные измерений аэрозольной оптической толщины (AOT) (версии 6, L3, <http://ladsweb.nascom.nasa.gov>) [26] и данные диагностики пожаров спектрометрами MODIS (версия 5, L2, <http://earthdata.nasa.gov>) [27]. Для анализа атмосферной циркуляции использованы данные реанализа NCEP/NCAR (<http://www.esrl.noaa.gov>) [28].

Следует отметить, что AIRS проектировался, в первую очередь, для решения климатических задач и уточнения прогноза погоды (определения профилей температуры и влажности в тропосфере с точностью, сопоставимой с точностью радиозондирования). Технические характеристики AIRS позволяют использовать его также для восстановления содержания газовых составляющих атмосферы, таких как H₂O, O₃, CO, CO₂, CH₄ и др. [29].

Результаты исследования и их обсуждение

Сравнение спутниковых и наземных измерений общего содержания CO

На рис. 1 сопоставляются результаты измерений содержания CO в атмосферном столбе наземным спектрометром ЗНС (СЗНС) и AIRS над ячейкой 55–56° с.ш. и 36–37° в.д. летом 2010 г. Диаграмма разброса спутниковых и наземных данных (рис. 1, б) свидетельствует о высокой корреляции ежедневных содержаний CO в атмосфере над ЗНС в июне – августе 2010 г. по наземным и спутниковым измерениям ($r = 0,85$). При этом отмечено систематическое занижение содержания CO спектрометром AIRS по сравнению с наземным спектрометром (см. рис. 1, б), увеличивающееся с развитием пожаров (рис. 1, а): в июне и июле различие спутниковых и наземных данных $\left(\Delta CO = \frac{CO_{AIRS} - CO_{СЗНС}}{CO_{СЗНС}} \cdot 100\% \right)$ составляло в среднем –5 и –15%, а в первых двух декадах августа среднее различие достигало –36%. Отмеченную особенность можно объяснить задымлением атмосферы при пожарах. Затенение солнечной радиации дымом связано с охлаждением нижнего слоя атмосферы, а поглощение радиации слоем дымового

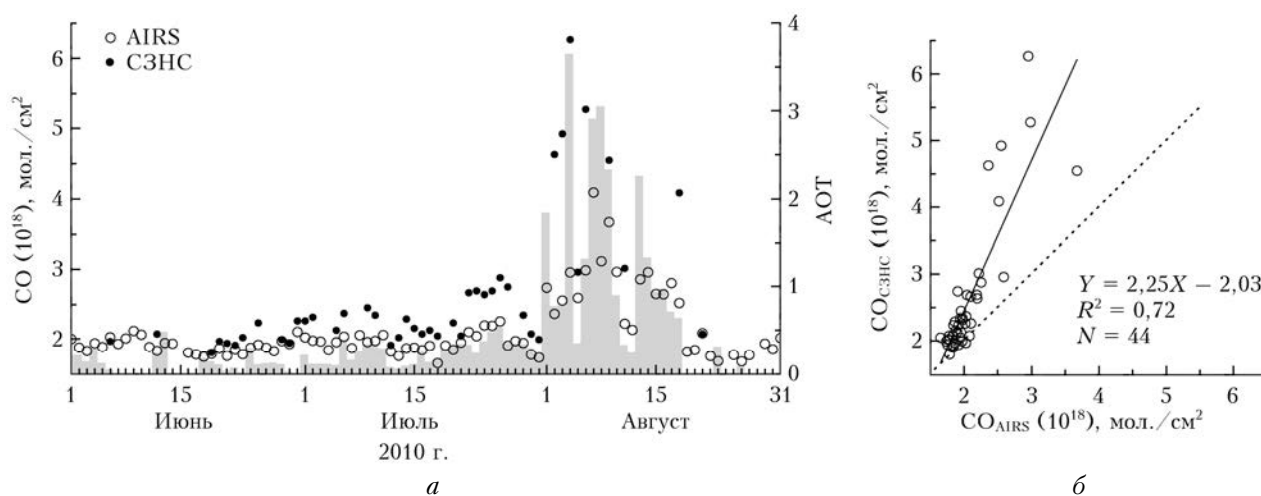


Рис. 1. Содержание CO в атмосферном столбе по данным наземного СЗНС и спутникового ИК-зондировщика AIRS (символы, шкала слева), а также AOT ($\lambda = 0,55$ мкм) по данным спектрометра MODIS спутника Aqua (тон, шкала справа) (а); диаграмма разброса спутниковых и наземных измерений CO над ЗНС (б). Лето 2010 г. Спутниковые данные представлены над ячейкой (55–56° с.ш., 36–37° в.д.)

аэрозоля — с разогревом вышележащих слоев атмосферы. Уменьшение модуля вертикального градиента температуры снижает чувствительность AIRS к содержанию CO в нижней тропосфере и приводит к занижению общего содержания CO в атмосферном столбе. На рис. 1, а также показаны изменения АОТ на длине волны 0,55 мкм над ячейкой 55–56° с.ш. и 36–37° в.д. по данным спектрометра MODIS спутника Aqua в июне – августе 2010 г. (при пожарах АОТ определяется главным образом содержанием в атмосфере частиц дымового аэрозоля). Характерно, что максимальное различие содержания CO по данным спутникового и наземного спектрометров (–53%) отмечалось при максимальных величинах АОТ (3,7) 4 августа 2010 г.

Сопоставление многолетнего сезонного хода содержания CO в атмосферном столбе над ЗНС по данным спутниковых и наземных измерений (рис. 2, а, б) свидетельствует о занижении спектрометром AIRS содержания CO (по сравнению с наземным спектрометром) для каждого месяца. Сезонные различия спутниковых и наземных медианных величин содержания CO (рис. 2, в) минимальны в мае – июне (–5%) и максимальны в феврале (–21%). Увеличение различий спутниковых и наземных данных зимой можно связать с большей устойчивостью нижней тропосферы в холодный период года, в частности с большей повторяемостью инверсий температуры. Как подчеркивалось выше, уменьшение термических контрастов нижней тропосферы понижает чувствительность алгоритмов (работающих в среднем ИК-диапазоне) к содержанию CO в этом слое атмосферы. Следует отметить, что занижение содержания CO спектрометром MOPITT над ЗНС (по сравнению с наземным спектрометром) в зимние месяцы было ранее отмечено в [17]. Различия медианных значений содержания CO в пожароопасный сезон (июль – август) по данным AIRS и СЗНС в период 2002–2015 гг. лежат в диапазоне от –12 до –9%.

При относительно слабой чувствительности AIRS к содержанию CO в нижней тропосфере (где при пожарах отмечаются его высокие концентрации [5]) высокое ежедневное покрытие данными позволяет получить ценную информацию о динамике поля содержания CO при пожарах. В виду токсичности оксида углерода особый интерес представляет эволюция пространственных областей, характеризующихся его повышенным содержанием.

Пространственно-временные вариации содержания CO в атмосфере

Погодный режим над ЕТР летом 2010 г. определялся обширным блокирующим антициклоном, достигшим своего максимального развития в первой декаде августа [4], при этом центр антициклона был локализован над областью наиболее интенсивных лесных и торфяных пожаров. О силе антициклона можно судить по тому, что 7 августа распределение высот геопотенциальной поверхности 500 гПа (H500) в атмосфере над ЕТР характеризовалось замкнутыми изогипсами в диапазоне от 5900 гп. м и более с перепадом не менее 50 гп. м.

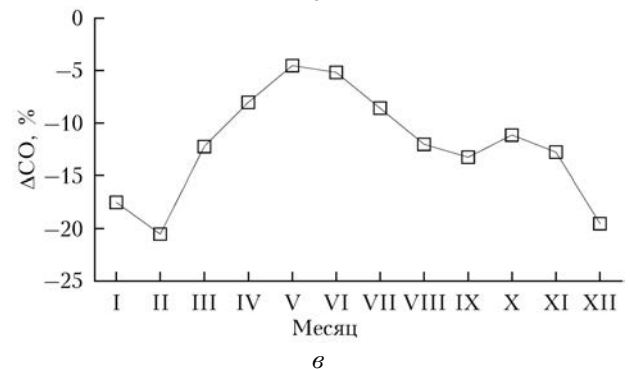
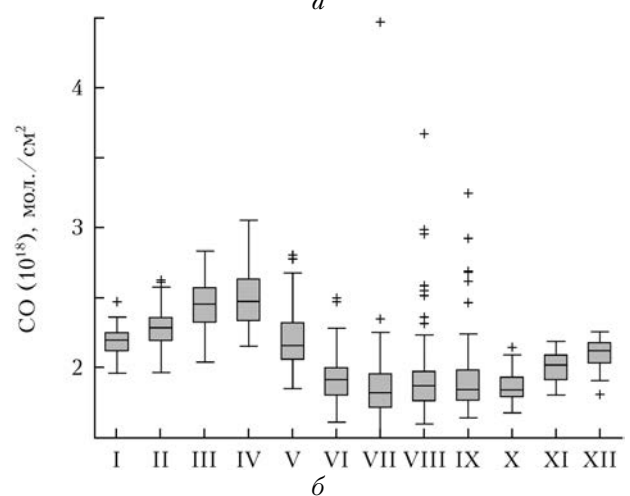
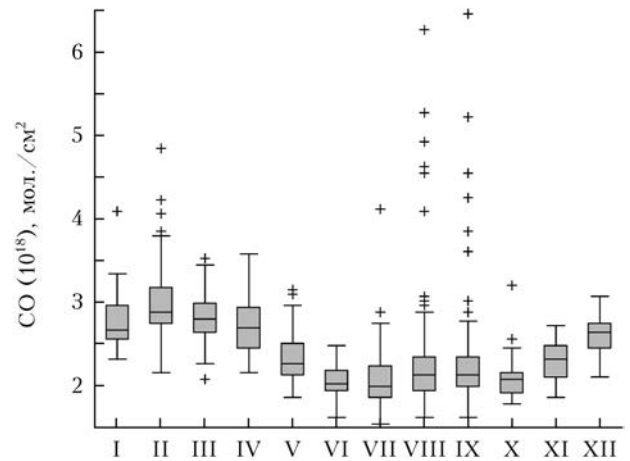


Рис. 2. Многолетний годовой ход общего содержания CO над ЗНС в период 2002–2015 гг. по данным наземного спектрометра (а), AIRS (б) и различия медианных величин спутниковых и наземных измерений CO для разных месяцев года (в). Символами (+) на рис. а и б отмечены выбросы

На рис. 3 представлены ежедневные пространственные распределения векторов ветра над ЕТР на уровне 700 гПа для периода 5–9 августа 2010 г. Ветер на уровне 700 гПа характеризует специфику региональной атмосферной циркуляции в свободной тропосфере. Отражая особенности барической топографии, в этот период над регионом с массовыми пожарами отмечалась замкнутая атмосферная циркуляция, способствовавшая удерживанию продуктов горения в воздушном бассейне ЕТР. Наряду

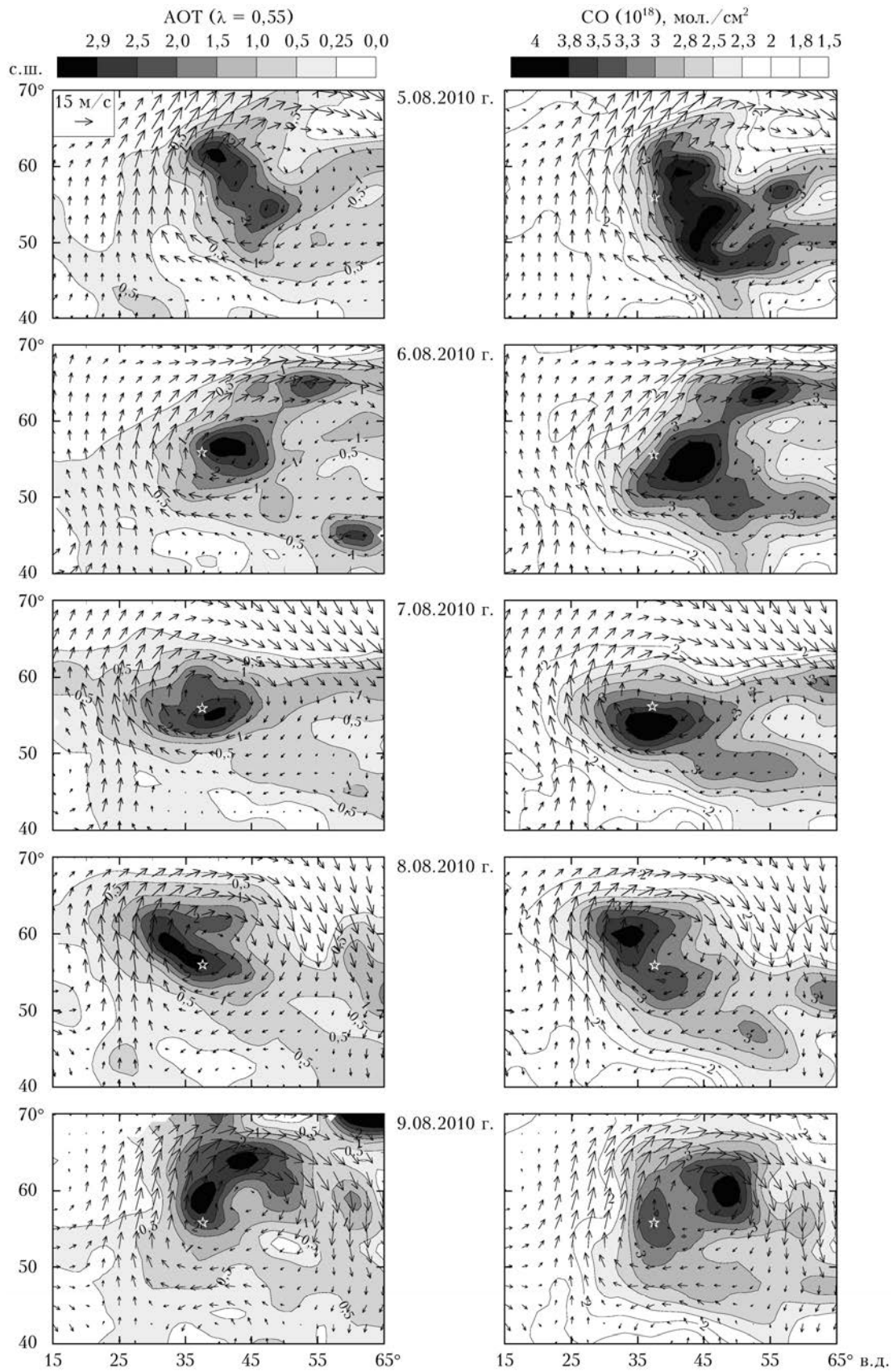


Рис. 3. Ежедневные пространственные распределения CO по данным AIRS (справа) и AOT по данным MODIS (слева) в период 5–9 августа 2010 г.; стрелки – векторы ветра на уровне 700 гПа. Распределения CO и AOT сглажены скользящим матричным средним $3 \times 5^\circ$ (широта \times долгота). Звездочкой показана Москва

с векторами ветра на рис. 3 приведены ежедневные пространственные распределения содержания СО в атмосфере. Отмечается согласованность изменений поля ветра и областей повышенного содержания СО. Анализ последовательных положений неоднородностей поля содержания СО (см. рис. 3), в частности положений локальных ($1 \times 1^\circ$) максимумов СО (таблица, рис. 4) свидетельствует, что в течение 5–9 августа 2010 г. область максимально высокого содержания СО совершила антициклонический оборот вокруг эпицентра в районе Москвы, оставаясь на расстоянии 250–900 км от мегаполиса. Следует отметить, что 7 августа, когда максимум содержания СО располагался ближе всего к Москве (см. рис. 4), в городе были отмечены максимальные величины приземной концентрации СО [5]. При периоде обращения 4 сут характерная линейная скорость вращения на периферии антициклонического вихря оценивается величиной около 15 м/с, что согласуется с наблюдавшимися скоростями ветра (см. рис. 3).

Максимальные локальные ($1 \times 1^\circ$) величины содержаний СО в атмосферном столбе и их координаты в период 5–9 августа 2010 г. по данным AIRS

Дата (август 2010 г.)	СО (10^{18}), мол./см ²	Координаты центра ячейки ($1 \times 1^\circ$)
5	5,2	60,5° с.ш., 39,5° в.д.
6	5,1	55,5° с.ш., 45,5° в.д.
7	5,2	53,5° с.ш., 37,5° в.д.
8	5,0	61,5° с.ш., 29,5° в.д.
9	4,5	61,5° с.ш., 49,5° в.д.

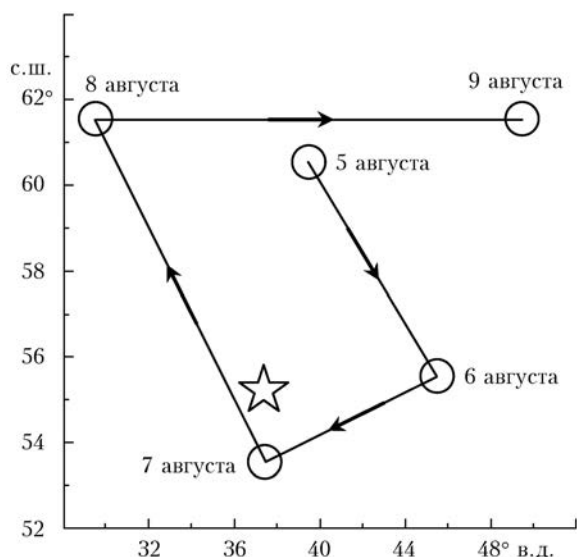


Рис. 4. Пространственное положение локальных максимумов общего содержания СО в атмосфере по данным AIRS в период 5–9 августа 2010 г. Звездочкой показана Москва

В [8] было показано, что в период пожаров на ЕТР летом 2010 г. региональное содержание СО в атмосфере положительно коррелировало с региональной АОТ. На рис. 3 по данным спектрометра

MODIS спутника Aqua показаны ежедневные пространственные распределения АОТ с выделением областей более 0,25. Отмечается сходство пространственно-временной динамики полей аэрозольно-оптической толщины и СО. Анализ последовательных положений неоднородностей поля АОТ свидетельствует, что в период 5–9 августа 2010 г. область максимального задымления также совершила антициклонический оборот вокруг Москвы. При этом наиболее четко региональные вихревые структуры в распределениях АОТ и СО отмечены 9 августа. Представленные сведения дополняют и детализируют результаты [30].

Высотно-временные вариации содержания СО в атмосфере

Достаточно продолжительное время жизни молекул СО в атмосфере (1–3 мес) способствует их дальнему переносу от пожаров и распространению из приземного слоя в вышележащие слои атмосферы. При массовых пожарах проникновению продуктов горения в среднюю и верхнюю тропосферу способствуют также процессы атмосферной турбулентности и пирогенной конвекции. Измерения вертикального профиля содержания СО спектрометром AIRS дают возможность проанализировать высотно-временные изменения содержания СО при омега-блокировании над ЕТР в период интенсивных пожаров. Следует отметить, что измерения AIRS локальных концентраций СО характеризуются достаточно грубым разрешением по высоте, при этом профиль содержания СО, согласно спутниковым данным, наиболее чувствителен к содержанию монооксида углерода в слое 600–300 гПа [31].

На рис. 5, б показаны высотно-временные вариации аномалий регионального содержания СО в атмосфере над ЕТР в июне – августе 2010 г., рассчитанные как отклонения ежедневного регионального содержания СО в 2010 г. от соответствующего многолетнего содержания СО в 2002–2015 гг. (без 2010 г.). Использование аномалий объясняется необходимостью фильтрации сезонных вариаций, доминирующих в изменчивости содержания СО над ЕТР [17].

Отмечается связь особенностей атмосферного блокирования над ЕТР летом 2010 г. (рис. 5, а) с динамикой пожаров (рис. 5, в) и аномалиями содержания СО в атмосфере (рис. 5, б). В частности, из сравнения рис. 5, а и в видно, что расширение долгого сектора блокирования в последних декадах июня и июля 2010 г. сопровождается (примерно с недельным запаздыванием) увеличением на ЕТР количества «пожарных» (1×1 км) пикселей (КПП), т.е. площади пожаров, тогда как его сужение и смещение области блокирования к западу – уменьшением площади пожаров. Заметна положительная корреляция содержания СО на разных высотах в тропосфере с вариациями КПП. На рис. 5, б приведены также межсуточные вариации высоты региональной тропопаузы летом 2010 г. Представленные результаты показывают, что сопровождавшее рост КПП на ЕТР увеличение содержания СО в начале июня

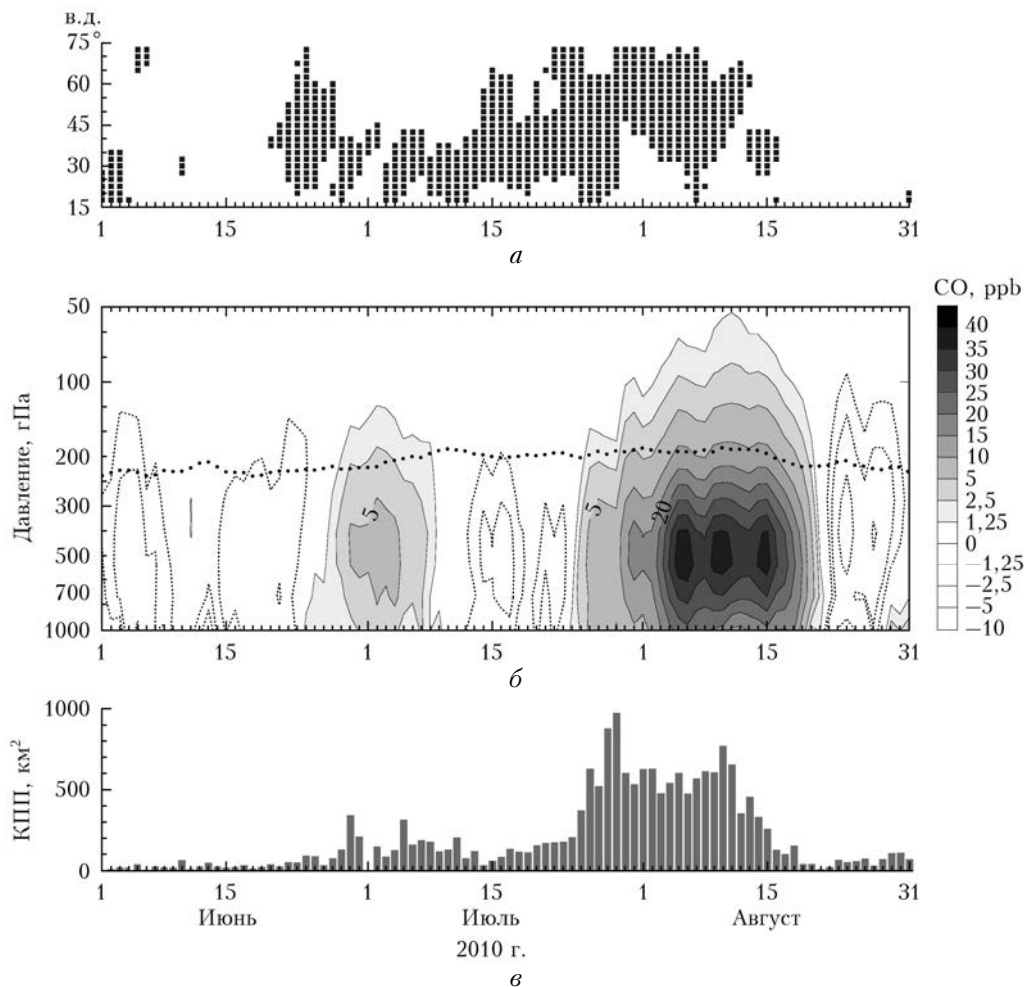


Рис. 5. Дни и долготы с атмосферным блокированием (*а*); аномалии отношения смеси CO над областью 40–70° с.ш., 15–65° в.д. на высотах 1000–50 гПа (*б*); ежедневное количество «пожарных» пикселей по данным MODIS/Terra в указанном регионе (*в*). Индекс блокирования рассчитан аналогично [32] (*а*); точками показано положение тропопаузы (*б*); достоверность диагностирования пожара – не менее 80% (*в*)

отмечалось во всей толще тропосферы. В первой декаде августа увеличение содержания CO происходило как в тропосфере (до 40 ppb), так и в нижней стратосфере (превышая 1 ppb на уровне 50 гПа).

Заклучение

На основе данных измерений CO спутниковым ИК-зондировщиком AIRS проведен анализ пространственно-временной изменчивости содержания CO в атмосфере при омега-блокировании над ЕТР в период массовых лесных пожаров летом 2010 г. Сопоставление спутниковых измерений содержания CO с наземными измерениями спектрометром ЗНС ИФА РАН показало высокую корреляцию вариаций содержания CO по спутниковым и наземным данным ($r = 0,85$). Вместе с тем результаты сопоставления свидетельствуют о систематическом занижении содержания CO спектрометром AIRS по сравнению с наземным спектрометром, с ростом различий при развитии массовых пожаров (до –36%). Увеличение различий данных спутниковых и наземных из-

мерений общего содержания CO при пожарах можно объяснить термическими эффектами дымового аэрозоля при сильном задымлении атмосферы ЕТР летом 2010 г.

Выявлены особенности эволюции пространственного распределения содержания CO в атмосфере, обусловленные региональной атмосферной динамикой при омега-блокировании над ЕТР в период интенсивных пожаров. Область экстремально высокого содержания CO 5–9 августа 2010 г. совершила антициклонический оборот вокруг Москвы, оставаясь на расстоянии 250–900 км от города. Подобная эволюция отмечена для дымового аэрозоля в атмосфере над ЕТР – область экстремально высокой АОТ 5–9 августа 2010 г. совершила аналогичный оборот, и мегаполис таким образом избежал экстремального загрязнения атмосферы продуктами горения.

Анализ высотно-временной эволюции содержания CO показал, что рост тропосферного содержания CO в период интенсивных пожаров на ЕТР в первой декаде августа 2010 г. сопровождался ростом содержания CO в нижней стратосфере.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 15-05-07853_a) с использованием результатов, полученных в рамках программ РАН. Анализ вихревой динамики проведен 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. Prockop L.D., Chichkova R.I. Carbon monoxide intoxication: An updated review // *J. Neurol. Sci.* 2007. V. 262, N 1–2. P. 122–130.
3. Кароль И.Л., Киселев А.А. Что несут лесные пожары атмосфере? // *Природа*. 2007. № 5. С. 40–46.
4. Мохов И.И. Особенности формирования летней жары 2010 г. на европейской территории России в контексте общих измерений климата и его аномалий // *Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана*. 2011. Т. 47, № 6. С. 709–716.
5. Голицын Г.С., Горчаков Г.И., Гречко Е.И., Семутникова Е.Г., Ракитин В.С., Фокеева Е.В., Карпов 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.
6. Бондур В.Г. Космический мониторинг природных пожаров в России в условиях аномальной жары 2010 г. // *Исслед. Земли из космоса*. 2011. № 3. С. 3–13.
7. Еланский Н.Ф., Мохов И.И., Беликов И.Б., Березина Е.В., Елохов А.С., Иванов В.А., Панкратова Н.В., Постыляков О.В., Сафронов А.Н., Скороход А.И., Шумский Р.А. Газовые примеси в атмосфере над Москвой летом 2010 г. // *Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана*. 2011. Т. 47, № 6. С. 729–738.
8. 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. атмосфер. и океана*. 2011. Т. 47, № 6. С. 774–789.
9. Koponvalov I.B., Beekmann M., Kuznetsova I.N., Yurova A., Zvyagintsev A.M. Atmospheric impacts of the 2010 Russian wildfires: Integrating modelling and measurements of an extreme air pollution episode in the Moscow region // *Atmos. Chem. Phys.* 2011. V. 11, N 19. P. 10031–10056.
10. Звягинцев А.М., Блюм О.Б., Глазкова А.А., Котельников С.Н., Кузнецова И.Н., Лапченко В.А., Лезина Е.А., Миллер Е.А., Миляев В.А., Попиков А.П., Семутникова Е.Г., Тарасова О.А., Шалыгина И.Ю. Загрязнение воздуха на европейской части России и Украине в условиях жаркого лета 2010 г. // *Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана*. 2011. Т. 47, № 6. С. 757–766.
11. Yurganov L., Rakitin V., Dzhola A., August T., Fokееva 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.
12. Ракитин В.С., Штабкин Ю.А., Еланский Н.Ф., Панкратова Н.В., Скороход А.И., Гречко Е.И., Сафронов А.Н. Результаты сопоставления спутниковых измерений общего содержания CO, CH₄ и CO₂ с наземными спектроскопическими данными // *Оптика атмосфер. и океана*. 2015. Т. 28, № 9. С. 816–824; Rakitin V.S., Shtabkin Yu.A., Elansky N.F., Pankratova N.V., Skorokhod A.I., Grechko E.I., Safronov A.N. Comparison results of satellite and ground-based spectroscopic measurements of CO, CH₄, and CO₂ total contents // *Atmos. Ocean. Opt.* 2015. V. 28, N 6. P. 533–542.
13. Фокеева Е.В., Сафронов А.Н., Ракитин В.С., Юрганов Л.Н., Гречко Е.И., Шумский Р.А. Исследование влияния пожаров в июле–августе 2010 г. на загрязнение оксидом углерода атмосферы Москвы и окрестностей // *Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана*. 2011. Т. 47, № 6. С. 739–756.
14. R'Honi Y., Clarisse L., Clerbaux C., Hurtmans D., Dufolot V., Turquety S., Ngadi Y., Coheur P.-F. Exceptional emissions of NH₃ and HCOOH in the 2010 Russian wildfires // *Atmos. Chem. Phys.* 2013. V. 13, N 8. P. 4171–4181.
15. Krol M., Peters W., Hooghiemstra P., George M., Clerbaux C., Hurtmans D., McInerney D., Sedano F., Bergamaschi P., El Hajj M., Kaiser J.W., Fisher D., Yershov V., Muller J.-P. How much CO was emitted by the 2010 fires around Moscow? // *Atmos. Chem. Phys.* 2013. V. 13, N 9. P. 4737–4747.
16. Huijnen V., Flemming J., Kaiser J.W., Inness A., Lei-tao J., Heil A., Eskes H.J., Schultz M.G., Benedetti A., Hadji-Lazarou J., Dufour G., Eremenko M. Hindcast experiments of tropospheric composition during the summer 2010 fires over western Russia // *Atmos. Chem. Phys.* 2012. V. 12, N 9. P. 4341–4364.
17. Ситнов С.А., Мохов И.И., Джола А.В. Общее содержание оксида углерода в атмосфере над российскими регионами по спутниковым данным // *Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана*. 2017. Т. 53, № 1, С. 38–55.
18. Kar J., Bremer H., Drummond J.R., Rochon Y.J., Jones D.B.A., Nichitiu F., Zou J., Liu J., Gille J.C., Edwards D.P., Deeter M.M., Francis G., Ziskin D., Warner J. Evidence of vertical transport of carbon monoxide from Measurements of Pollution in the Troposphere (MOPITT) // *Geophys. Res. Lett.* 2004. V. 31. L23105.
19. 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.
20. Мохов И.И., Акперов М.Г., Прокофьева М.А., Тимажев А.В., Луно А.Р., Ле Трет Э. Блокинг в Северном полушарии и Евро-Атлантическом регионе: оценки изменений по данным реанализа и модельным расчетам // *Докл. РАН*. 2013. Т. 449, № 5. С. 582–586.
21. 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.
22. 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.
23. 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. URL: <http://dx.doi.org/10.1117/12.865335>.
24. Acker J.C., Leptoukh G. Online analysis enhances use of NASA Earth science data // *Eos, Trans., Am. Geophys. Union*. 2007. V. 88. P. 14–17.

25. 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.
26. Levy R.C., Remer L.A., Mattoo S., Vermote E.F., Kaufman Y.J. Second-generation operational algorithm: Retrieval of aerosol properties over land from inversion of Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer spectral reflectance // J. Geophys. Res. 2007. V. 112. D13211.
27. Justice C.O., Giglio L., Korontzi S., Owens J., Morisette J.T., Roy D., Descloitres J., Alleaume S., Petitcolin F., Kaufman Y. The MODIS fire products // Remote Sens. Environ. 2002. V. 83. P. 244–262.
28. 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. Am. Meteorol. Soc. 2001. V. 82. P. 247–267.
29. Ситнов С.А., Мохов И.И. Особенности поля общего содержания озона при атмосферном блокировании над европейской территорией России летом 2010 г. (по спутниковым данным) // Метеорол. и гидрол. 2016. № 1. С. 41–52.
30. Ситнов С.А., Горчаков Г.И., Свириденков М.А., Копейкин В.М., Пономарева Т.Я., Карпов А.В. Влияние атмосферной циркуляции на эволюцию и радиационный форсинг дымового аэрозоля в период пожаров на Европейской части России летом 2010 г. // Исслед. Земли из космоса. 2013. № 2. С. 28–41.
31. 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.
32. Tibaldi S., Molteni F. On the operational predictability of blocking // Tellus A. 1990. V. 42. P. 343–365.

S.A. Sitnov, I.I. Mokhov, A.V. Dzhola. Variations of carbon monoxide in the atmosphere during the atmospheric blocking event over European Russia in summer of 2010 (according to AIRS data).

The spatiotemporal variability of carbon monoxide (CO) during the atmospheric blocking event over European Russia in summer of 2010 is studied using the CO measurements from satellite Atmospheric Infrared Sounder (AIRS) instrument. Total column CO data from AIRS are compared with those from the ground-based spectrometer operated at Zvenigorod Scientific Station of A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics. The peculiarities of CO field evolution conditioned by the regional atmospheric circulation associated with the omega block in the presence of severe wildfires are revealed.