

## СЕЗОННЫЕ ВАРИАЦИИ ПРИЗЕМНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ СО И ОЗОНА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ СИБИРИ: НАБЛЮДЕНИЯ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Ю.А. Штабкин, К.В. Моисеенко

## SEASONAL VARIATIONS OF CO AND OZONE NEAR-SURFACE CONCENTRATIONS IN CENTRAL SIBERIA: OBSERVATIONS AND MODEL SIMULATIONS

Yu.A. Shtabkin, K.V. Moeseyenko

На основе транспортно-химической модели GEOS-Chem проведена количественная оценка вкладов климатически значимых источников эмиссий в Северной Евразии в наблюдаемую сезонную изменчивость приземной концентрации СО и озона в центральной Сибири по данным измерений на высотной мачте ZOTTO. Показано, что формирование устойчивого континентального шлейфа загрязнений от источников в Западной Европе, на Европейской территории России и юге Сибири играет важную роль в региональном балансе приземного СО и озона в течение всего года.

We use chemical-transport model GEOS-Chem to estimate the impact of climate-relevant gases emissions sources in the Northern Eurasia to the observed seasonal variability of surface CO and ozone concentrations in central Siberia, according to ZOTTO measurements. We show that the formation of a stable continental pollution plume from sources in Western Europe, European territory of Russia and southern Siberia plays an important role in the regional balance of surface CO and ozone during the whole year.

### Введение

Исследования состава приземной атмосферы занимают отдельное место в атмосферной химии, поскольку именно этот слой непосредственно связан с планетарными биологическими процессами и наиболее важными природными и антропогенными источниками малых атмосферных газов. Основу наблюдений долговременных вариаций состава приземного воздуха составляют мировые и региональные сети станций фоновоего мониторинга [Müller, 2008], не охватывающие, к сожалению, территорию России. Частично данный пробел восполняется долговременными наблюдениями на станции атмосферного мониторинга (высотной мачте) ZOTTO (Zotino Tall Tower Observatory), введенной в эксплуатацию в начале 2007 г. на базе исследовательского полигона Института леса им. В.Н. Сукачева РАН (Красноярск).

Составной частью наблюдений в ZOTTO являются измерения концентрации монооксида углерода (СО) и окислов азота (NO<sub>x</sub>), ведущиеся с января 2007. Ценность подобных наблюдений определяется исключительно важной ролью данных соединений в атмосферной химии: содержание СО в атмосфере, наряду с летучими органическими соединениями (ЛОС) и окислами азота (NO<sub>x</sub>), является одним из основных факторов, определяющих окислительные свойства атмосферы и запускающих тропосферные каталитические циклы с образованием и разрушением озона [Crutzen, 1999].

В данной работе анализируются природные и антропогенные факторы сезонной изменчивости СО и озона. Количественные оценки вкладов антропогенного и биогенного сигналов в наблюдаемую изменчивость СО и вклада антропогенного сигнала в наблюдаемую изменчивость озона проведены с использованием глобальной транспортно-химической модели GEOS-Chem.

### 1. Методология

#### 1.1. Наблюдения СО на высотной мачте

Высотная мачта ZOTTO (60.80° N, 89.35° E) рас-

положена на восточной окраине Западно-Сибирской равнины в 30 км к западу от реки Енисей в 450 км к северу от Красноярска. В холодный период года станция оказывается примерно на климатологической границе полярного фронта, которая в теплый период года проходит значительно севернее. Эта особенность важна с точки зрения дальнего переноса, поскольку район станции, в зависимости от конкретного режима атмосферной циркуляции, может находиться как под влиянием подветренного шлейфа умеренно загрязненного воздуха, формируемого источниками эмиссий в Западной и Восточной Европе, так и в зоне влияния эмиссий от индустриальных районов юга Сибири и (в теплый период) шлейфов продуктов горения от природных пожаров в Сибири и на северо-востоке континента [Kozlova, 2009].

#### 1.2. Модель Geos-Chem

Оценка вклада дальнего переноса в наблюдаемую сезонную изменчивость СО и О<sub>3</sub> на станции выполнена на основе трехмерной глобальной химико-транспортной модели GEOS-Chem (версия 9-01-03, общее описание дано в [Bey et al., 2001]). GEOS-Chem — численная глобальная модель состава атмосферы, учитывающая все основные природные и антропогенные источники и стоки химических активных газов и аэрозолей. Двух- и трехмерные поля метеорологических параметров с временным разрешением 3 или 6 ч берутся из системы GEOS-GMAO (Goddard Earth Observing System – NASA Global Modeling Assimilation Office). В данной работе использовалась расчетная сетка 4°×5°, имеющая 47 уровней по вертикали с переменным шагом. Для задания антропогенных эмиссий используются данные EDGAR3.2, для учета эмиссий от природных пожаров используются данные GFED3, природные эмиссии газов и аэрозолей рассчитываются с помощью встроеной модели MEGAN2.1.

### 2. Результаты

В работе использовались данные наблюдений СО за 2007–2011 гг., на их основе были рассчитаны

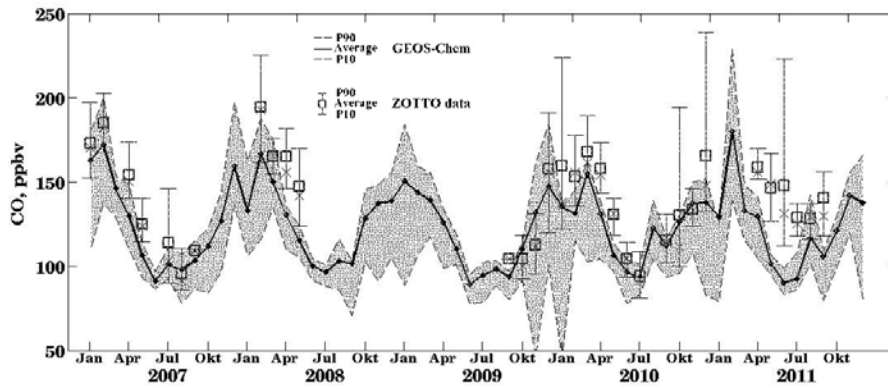


Рис. 1. Среднесуточные концентрации CO по данным наблюдений ZOTTO и расчетов GEOS-Chem в 2007–2011 гг. Приведены статистики по месяцам: P10, P90 – перцентили,  $\bar{Y}$  – среднее.

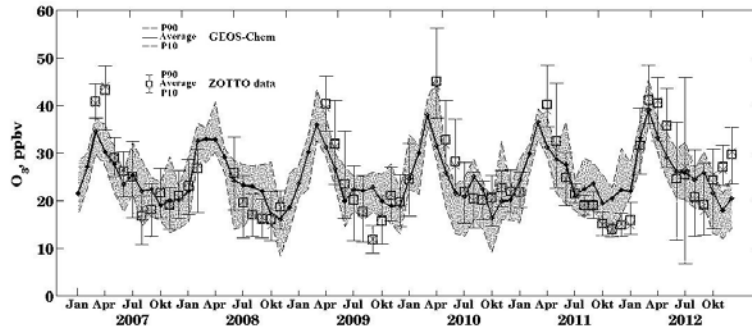


Рис. 2. Среднесуточные концентрации озона по данным наблюдений ZOTTO и расчетов GEOS-Chem в 2007–2012 гг. Приведены статистики по месяцам: P10, P90 – перцентили,  $\bar{Y}$  – среднее.

Таблица 1

Атмосферный отклик в поле CO (АО, ppbv) для станции ZOTTO на эмиссии CO в отдельных регионах (см. рис. 3)

Регион	Зима			Лето		
	Антропогенные	Пожары	Биогенные	Антропогенные	Пожары	Биогенные
NETR	0.62	0.02	0.13	0.06	0.28	1.45
SETR	21.78	0.41	0.36	3.11	1.45	2.66
NS	0.81	0.06	1.88	0.23	1.51	7.07
SWS	19.20	0.13	1.08	2.64	0.99	10.00
SES	1.03	0.16	0.19	0.03	0.95	1.53
NFE	0.01	0.69	1.11	<0.01	3.21	1.25
SFE	0.35	0.19	0.35	0.15	0.92	0.46
EU	12.75	0.05	1.34	3.54	0.05	1.68

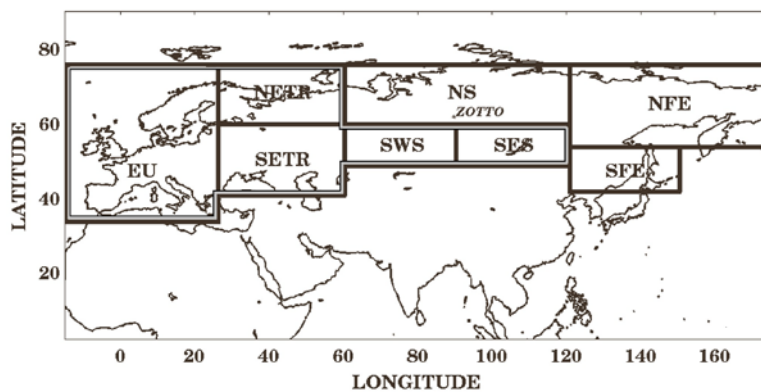


Рис. 3. Географические районы, выбранные для расчетов АО: NETR – север ЕТР (60–75° N, 37–60° E), SETR – юг и средняя полоса ЕТР (41–60° N, 37–60° E), NS – север Сибири (60–75° N, 60–120° E), SWS – юг Западной Сибири (49–60° N, 60–90° E), SES – юг Восточной Сибири (49–60° N, 90–120° E), NFE – север Дальнего Востока (54–75° N, 120–180° E), SFE – юг Дальнего Востока (42–54° N, 120–150° E), EU – Западная Европа (35–75° N, 15–37° E).

среднесуточные и среднемесячные значения и проведено сравнение получившихся величин с данными численного моделирования (рис. 1). Аналогичные операции были проведены с данными наблюдений O<sub>3</sub> за период с 2007 по 2012 гг. (рис. 2).

Полученные результаты позволяют утверждать, что текущая версия модели GEOS-Chem позволяет корректно воспроизводить главные особенности сезонного хода CO и озона в фоновых континентальных условиях. Вслед за этим были рассчитаны значения

Атмосферный отклик в поле озона (ppbv) для станции ZOTTO на антропогенные эмиссии в отдельных регионах (см. рис. 3).

Время года Эмиссии	Зима	Весна	Лето	Осень
50 % CO	0.26	0.28	0.17	0.22
50 % NO <sub>x</sub>	-1.02	2.05	2.59	1.16
50 % CO+NO <sub>x</sub>	-0.91	1.62	2.19	1.03
0 % CO+NO <sub>x</sub>	-0.35	5.86	5.33	3.98

атмосферного отклика ( $AO_P = \chi(CO)_0 - \chi(CO)_{REF}$ ) на антропогенные и биогенные эмиссии CO, а также выбросы от пожаров в отдельных регионах (см. рис. 3) для района наблюдательной станции. Итоги обозначенных расчетов приведены в табл. 1. Полученные результаты позволили выделить регионы, оказывающие наибольшее влияние на район ZOTTO (на рис. 3 выделены светлой рамкой), для этих регионов были рассчитаны значения АО полей озона на антропогенные эмиссии по нескольким сценариям (см. табл. 2).

### 3. Заключение

Наличие антропогенных источников загрязнений в Европе и на ЕТР обуславливает шлейф антропогенных эмиссий. Его влияние прослеживается в результатах расчетов для CO, при этом шлейф оказывает сильное влияние на региональный баланс приземного озона. Полученные результаты свидетельствуют о NO<sub>x</sub>-контролируемом режиме генерации фонового озона. Роль CO не велика, однако его эмиссии оказывают существенное влияние на процессы генерации озона в условиях антропогенного загрязнения NO<sub>x</sub>.

Работа выполнена при финансовой поддержке по грантам РФФИ №14-05-31071 и №15-35-21061, а также по проекту РНФ №14-47-00049.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Bey I. et al. Global modeling of tropospheric chemistry with assimilated meteorology: Model description and evaluation // *J. Geophys. Res.* 2001. V. 106. P. 23073–23096.
- Crutzen P.J., Mark G.L., Poschl U. On the background photochemistry of tropospheric ozone // *Tellus.* 1999. N. 51A-B. P. 123–146.
- Kozlova E.A. et al. Methodology and calibration for continuous measurements of biogeochemical trace gas and O<sub>2</sub> concentrations from a 300-m tall tower in central Siberia // *Atmos. Meas. Tech. Discuss.* 2009. N. 1. P. 281–330.
- Müller G. et al. WMO Global Atmosphere Watch (GAW). Strategic Plan: 2008–2015 // World Meteorological Organization. 2008. GAW Report N. 172.

*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия*