

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ АНОМАЛЬНУЮ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ОКИСИ УГЛЕРОДА В РАЙОНЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

© 2007 г. М. В. Макарова, В. С. Косцов, А. В. Поберовский

Санкт-Петербургский государственный университет  
198504 Санкт-Петербург, Петродворец, ул. Ульяновская, 1  
E-mail: vlad@troll.phys.spbu.ru

Поступила в редакцию 06.12.2006 г., после доработки 15.02.2007 г.

Проанализированы результаты измерений спектроскопическим методом общего содержания окиси углерода в районе Санкт-Петербурга в период лесных пожаров в августе–сентябре 2002 г. С помощью модели HYSPLIT рассчитаны траектории воздушных масс и получено распространение CO в мезомасштабе в период измерений. На основе расчетов по модели HYSPLIT и результатов измерений общего содержания окиси углерода получена оценка удельной интенсивности эмиссии CO в псковском лесном пожаре 28 августа–8 сентября 2002 г., которая составила 0.17–0.26 кг/м<sup>2</sup>. Данная оценка может быть использована для определения интегральной эмиссии CO в атмосферу за счет пожаров в лесах Северо-запада РФ, а также для модельных расчетов полей концентрации CO в атмосфере. Оценка эмиссии CO при лесных пожарах, осуществленная для наземных измерений, может быть также реализована для спутниковых измерений в том случае, если они позволяют получать информацию о содержании CO в нижних слоях тропосферы (0–2 км).

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Окись углерода (CO) является одной из важнейших газовых компонент, контролирующих окислительную способность тропосферы (посредством реакции с OH). CO является показателем антропогенной загрязненности воздуха и оказывает влияние на концентрацию озона в тропосфере [1]. В связи с важной ролью, которую играет окись углерода в тропосферной химии, исследование CO продолжает оставаться актуальной задачей. Осуществляются спутниковые программы MORITT [2], SCIAMACHY [3] и др., в которых сделан особый акцент на измерениях содержания CO в тропосфере. В 2005 г. создана специальная рабочая группа, в задачи которой входит координация экспериментальных и теоретических исследований, посвященных атмосферной окиси углерода [4]. Продолжаются измерения CO на международных сетях наземных станций: NOAA и NDACC. Сеть NOAA проводит локальные газохроматографические измерения приземных концентраций различных газов, в том числе и CO, более пятнадцати лет [5]. Сеть NDACC (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change, ранее эта сеть именовалась NDSC) с 1991 г. осуществляет измерения характеристик аэрозольного и газового состава в стратосфере и тропосфере. При этом для восстановления общего содержания и элементов вертикального распределения концентрации CO на сети станций NDACC используются спектры высокого

разрешения, регистрируемые Фурье-спектрометрами [6]. На территории России спектроскопические измерения общего содержания CO в атмосфере ведутся в НИИФ СПбГУ [7], ИФА РАН [8] и ИЭМ [9]. Осуществляется программа комплексного исследования газового и аэрозольного состава атмосферы при помощи передвижной обсерватории ТРОЙКА (Транспортируемая обсерватория для исследования и контроля атмосферы) [10].

Экспериментальная информация используется для анализа пространственно-временной изменчивости CO в атмосфере, а также в той или иной мере усваивается атмосферными моделями различного пространственного масштаба и разрешения [4]. Совместный анализ экспериментальных данных и результатов моделирования позволяет выявить наиболее значимые факторы, определяющие изменчивость окиси углерода в атмосфере, а также оценить достоверность транспортно-фотохимических моделей и их прогнозов. Это особенно важно, поскольку современные модели, дополненные результатами сетевых и спутниковых измерений, подошли к возможности оперативного прогноза химического состава воздуха в региональном масштабе (например, модели MOSAGE, BOLCHEM, CHIMERE и др.) [11]. Методы “обратного моделирования”, основанные на минимизации рассогласований между измеряемыми и моделируемыми значениями содержания CO, позволяют более точно определять интенсивности различных ис-

точников окиси углерода. Примером может служить совместное использование модели MOZART и результатов спутникового эксперимента MORITT для 2000–2003 гг. [12].

Настоящая работа посвящена анализу изменения общего содержания окиси углерода в районе Санкт-Петербурга в период лесных пожаров в августе 2002 г.

С помощью модели HYSPLIT рассчитаны траектории воздушных масс и распространение CO в атмосфере от очага лесного пожара, расположенного в Псковской и Новгородской областях. Как результат расчета эволюции струи CO от источников с известным местоположением и площадью при учете измерений общего содержания CO непосредственно в шлейфе, получена оценка интенсивности эмиссии CO от рассматриваемого источника (в данном случае таким источником был псковский лесной пожар 4–6 сентября 2002 г.). Обсуждается возможность использования аналогичного подхода к оценке эмиссий CO при лесных пожарах при наличии спутниковых измерений содержания CO в нижней тропосфере.

## 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

Спектроскопические измерения общего содержания окиси углерода (для которого в дальнейшем будем использовать обозначение  $Q$ ) постоянно проводятся в НИИ физики Санкт-Петербургского государственного университета, начиная с 1995 г. [7]. Полученный массив данных позволяет проводить анализ изменчивости этой атмосферной компоненты в различных временных масштабах – от дневного хода до тренда [7]. Для окиси углерода характерны значительные сезонные колебания с максимумом в феврале–марте, имеющие амплитуду около 25% от среднего значения  $Q$ . Изменения  $Q$  в масштабах нескольких суток обычно составляют не более 5%, однако в нескольких случаях были зарегистрированы и существенно большие значения изменчивости. Погрешность среднедневных значений общего содержания составляет 1–4% [7]. Анализ таких случаев позволяет выявить наиболее важные факторы, ответственные за наблюдаемые вариации общего содержания CO. Отметим, что рассматриваемые нами изменения обычно происходят в течение 2–5 дней, что существенно меньше времени жизни CO в атмосфере [1], поэтому маловероятно, что причиной этих изменений служат химические процессы в атмосфере.

## 3. МОДЕЛЬ HYSPLIT

Модель HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) – законченная вычислительная система, созданная совместными усилиями сотрудников NOAA и Australia's Bureau of

Meteorology [13]. HYSPLIT позволяет проводить как простые расчеты траектории движения элемента воздушной массы, так и моделирование процессов распространения и осаждения примеси в атмосфере (при использовании дополнительных дисперсионных модулей). Расчеты с использованием модели HYSPLIT могут быть осуществлены как через Интернет (при посредстве системы READY на сайте <http://www.arl.noaa.gov/ready>), так и на персональном компьютере (для чего необходимо загрузить исполняемый файл модели HYSPLIT и метеорологические базы данных с того же сайта). Во избежание чрезмерной вычислительной загруженности сервера, интернет-версия модели имеет ряд ограничений.

## 4. ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ЭМИССИИ ОКИСИ УГЛЕРОДА ПРИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРАХ

Анализ наземных спектроскопических измерений общего содержания CO, проведенных при определенных специфических атмосферных условиях и дополненных результатами моделирования (HYSPLIT), а также необходимой спутниковой и метеорологической информацией, в ряде случаев позволяет не только уверенно указать фактор, оказавший влияние на результаты измерений, но также получить количественные оценки этого фактора. Период мощных лесных пожаров конца августа–начала сентября 2002 г. с интенсивной эмиссией CO в атмосферу, рассматриваемый нами как яркий пример связи аномальных изменений общего содержания окиси углерода с процессами адвекции, дает возможность оценить интенсивность действующих в это время источников CO.

Подробно рассмотрим изменения общего содержания окиси углерода ( $Q$ ), наблюдавшиеся в районе Санкт-Петербурга 28 августа–9 сентября 2002 г. Выбор периода обусловлен наличием мощных источников окиси углерода – сильных лесных пожаров на территории России (как в Сибири, так и на Европейской части РФ). В таких условиях процесс адвекции должен существенно сказываться на наблюдаемых значениях  $Q$ . В августе–сентябре 2002 г. они были повышенными из-за большого количества лесных пожаров на всей территории России (и в Европе, и в Сибири). Спектроскопические измерения CO конца августа–начала сентября 2002 г. включают в себя один день измерений (6 сентября) непосредственно в дымовой струе от очагов лесных пожаров Ленинградской, Псковской и Новгородской областей. Известное местоположение пожаров позволяет с помощью дисперсионного блока HYSPLIT провести моделирование распространения струи примеси в атмосфере. Сравнение результатов моделирования с результатами измерений общего содержания окиси углеро-

да в струе позволяет дать оценку интенсивности эмиссии СО при лесных пожарах.

Наземные спектроскопические измерения проводились в выбранный период в течение семи дней: 28 августа, 2, 3, 4, 6, 8 и 9 сентября, их результаты приведены в табл. 1. Рекордное значение ( $0.63 \pm 0.05 \times 10^{19}$  мол/см<sup>2</sup> (за весь период спектроскопических наблюдений в районе Санкт-Петербурга) было зарегистрировано 6 сентября 2002 г. Общее содержание СО для 28 августа и 8 сентября меньше рекордного значения примерно в два раза. Еще более низкие значения общего содержания получены 2, 3 и 4 сентября, однако и эти значения нельзя назвать фоновыми (по сравнению, например, с результатами измерений  $Q$  за тот же период 2000 или 2001 гг.).

При помощи модели HYSPLIT для всех указанных дней измерений были рассчитаны пятисуточные обратные траектории движения воздушных масс для пункта проведения спектроскопических измерений  $Q$  (Санкт-Петербург – Петродворец, 59.88°N, 29.83°E) на высотах 50, 1500 и 3000 м над ур. моря. Термин “обратная траектория” здесь и далее означает кривую, описываемую при движении элементарным объемом воздуха перед приходом в заданную географическую точку. Далее для краткости будем сокращать “обратные траектории движения воздушных масс” до “обратные траектории”.

Изменения направления переноса, повлекшие такие сильные изменения  $Q$ , происходили с 28 августа по 8 сентября дважды: 29 августа–1 сентября и 5 сентября. Воздух, пришедший 28 августа в район Санкт-Петербурга, аккумулировал в себе продукты горения с территорий лесных пожаров Европы. Это наглядно демонстрируют обратные траектории (рис. 1), которые имеют вид петли, расположенной над континентом. И, как следствие, значения общего содержания СО, зарегистрированные в этот день (табл. 1), являются одними из самых высоких за весь период измерений, превышая на 36% годовой максимум – среднее значение за февраль, составляющее  $0.29 \times 10^{19}$  мол/см<sup>2</sup>.

Изменение направления переноса воздушных масс 29 августа–1 сентября повлекло за собой уменьшение общего содержания окиси углерода в атмосфере почти в два раза. Разница в общем содержании для 28 августа и 2 сентября составила  $0.18 \times 10^{19}$  мол/см<sup>2</sup>. В период 2, 3 и 4 сентября преобладал перенос относительно чистого воздуха со стороны Скандинавии и Северной Атлантики (обратные траектории, построенные для 2 сентября, приведены на рис. 2). Условия, в которых проводились измерения 6 сентября, можно охарактеризовать как экстремальные: Санкт-Петербург и его ближайшие пригороды находились в дымовых шлейфах от лесных пожаров Ленин-

**Таблица 1.** Результаты спектроскопических измерений общего содержания СО ( $Q$ ) в районе Санкт-Петербурга в период 28 августа–9 сентября

Дата	$Q, \times 10^{19}$ мол/см <sup>2</sup>
28.08.2002	$0.393 \pm 0.008$
02.09.2002	$0.217 \pm 0.003$
03.09.2002	$0.258 \pm 0.01$
04.09.2002	$0.198 \pm 0.008$
06.09.2002	$0.63 \pm 0.05$
08.09.2002	$0.338 \pm 0.01$
09.09.2002	$0.331 \pm 0.01$

градской, Псковской и Новгородской областей. Это также подтверждает спутниковый снимок NOAA AVHRR, сделанный 4 сентября 2002 г. (рис. 3) [14], где прослеживается не только расположение очагов лесных пожаров на северо-западе РФ, но и четко видно направление распространения струй дыма (северо-запад). Наиболее интенсивный очаг горения (назовем его псковский) выделен нами кружком. Его площадь, согласно спутниковым изображениям, составляет порядка 1000 км<sup>2</sup>. Для 5, 6 сентября была рассчитана эволюция струи для этого лесного пожара. Моделирование распространения струи примеси в атмосфере осуществлялось при помощи дисперсионной части модели HYSPLIT. При этом задавался целый ряд параметров, среди которых: дата и время, период моделирования, положение источника примеси, его интенсивность в относительных единицах и т.д. [13]. На рис. 4 приведены результаты моделирования распространения продуктов горения 6 сентября 2002 г., осредненные за трехчасовой период (с 13 до 16 часов). Результаты моделирования свидетельствуют, что шлейф накрывал территорию Санкт-Петербурга и его пригородов. К сожалению, в нашем распоряжении отсутствуют спутниковые изображения дымовой струи 6 сентября.

Используя обратные траектории и результаты моделирования распространения струи примеси в атмосфере, можно провести своего рода классификацию результатов измерений общего содержания СО для рассматриваемого периода 28 августа–9 сентября 2002 г., разделяя их по масштабам и удаленности влияющих источников (табл. 2). В первой группе наблюдаемые значения  $Q$  определялись в основном источниками глобального масштаба. Во второй группе к влиянию глобальных источников добавляется влияние региональных источников (лесных пожаров Европейской части РФ). К третьей группе относятся непосредственные измерения в струях лесных пожаров (мезомасштаб, локальный масштаб) на фоне вклада источников первых двух групп. Отметим тот факт, что при наличии интенсивных источников СО

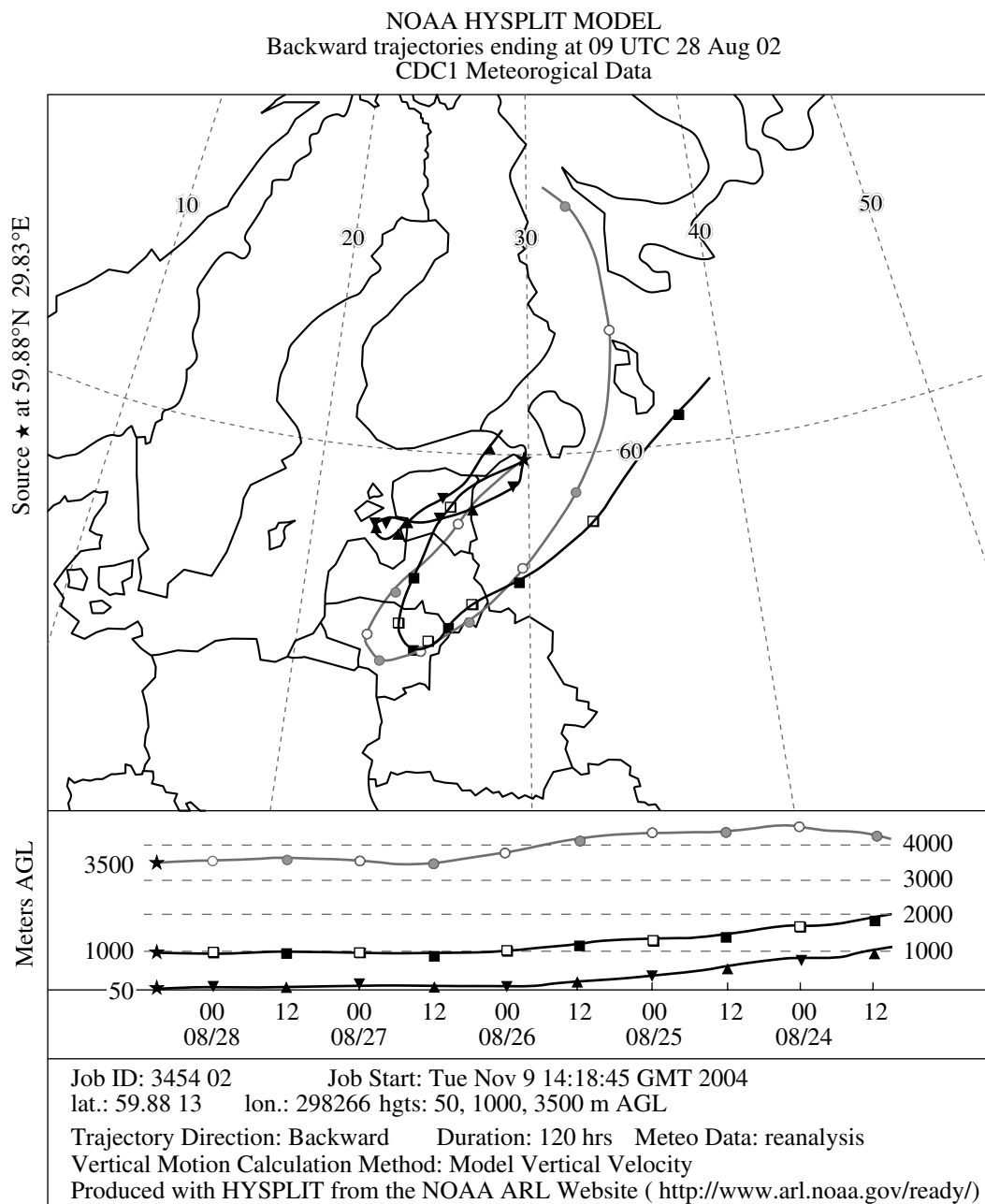


Рис. 1. Обратные траектории движения воздушных масс для 28 августа 2002 г.

процессы трансформации воздушных масс приводят к изменениям общего содержания примерно в полтора–два раза. Разницу между значениями  $Q$  для третьей и второй группы, составляющую  $\sim 0.28 \times 10^{19}$  мол/см<sup>2</sup>, можно рассматривать как оценку содержания CO в струях от лесных пожаров (обозначим ее как  $w_p$ ) для 6 сентября.

Результаты расчета эволюции струи CO от источников с известным местоположением и площадью, а также наличие измерений общего содержания CO непосредственно в шлейфе делают воз-

можным провести оценку интенсивности эмиссии CO от рассматриваемого источника CO. Такой подход был применен для псковского лесного пожара (28 августа–8 сентября 2002 г.). При этом был использован ряд оценочных величин и приближений. Поскольку наблюдалась высокая задымленность, то псковский очаг классифицировался как лесной низовой или торфяной пожар [15].

Дисперсионная часть модели HYSPLIT позволяет проводить расчеты распространения примеси только для случая точечного источника. Поэтому

NOAA HYSPLIT MODEL  
Backward trajectories ending at 09 UTC 02 Sep 02  
CDC1 Meteorological Data

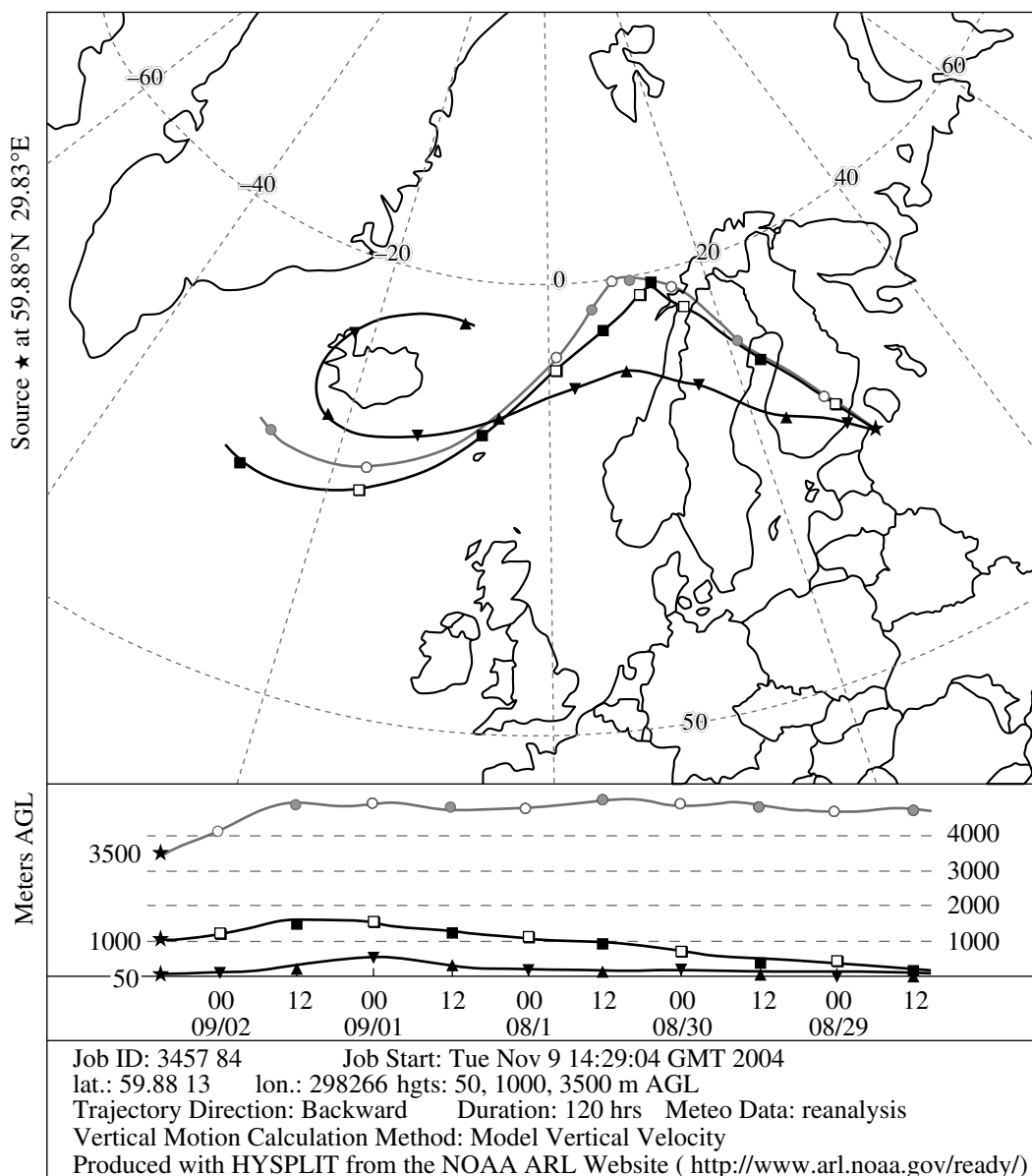


Рис. 2. Обратные траектории движения воздушных масс для 2 сентября 2002 г.

мы полагали псковский пожар точечным источником. Значение интегральной эмиссии ( $R_m$ ) CO в модельных расчетах можно выбирать произвольным образом, поскольку в модели HYSPLIT единица массы – произвольная величина. В нашем случае  $R_m = 4$  ед. м./час, где ед. м. – единица массы. Рассчитанная дисперсионной моделью концентрация примеси (CO) будет выражена в единицах массы на кубический метр [13]. Для лесных низовых или торфяных пожаров практически весь шлейф с продуктами горения расположен в нижнем слое тропосферы 0–3 км [16], поскольку, в отличие от

верховых пожаров, интенсивная конвекция в этом случае не развивается. Средняя концентрация в модели рассчитывалась именно для этого (0–3 км) диапазона высот. Различные градации серого цвета на рис. 4 соответствуют областям с различной средней концентрацией примеси (C<sub>m</sub>). Видно, что Санкт-Петербург попадает в область концентраций от  $10^{-12}$  до  $10^{-13}$  [ед. м/м<sup>3</sup>]. Расчеты показали, что для места проведения спектроскопических измерений средняя добавочная концентрация CO в слое 0–3 км в струе псковского пожара составила:  $C_m \approx 3 \times 10^{-13}$  [ед. м/м<sup>3</sup>].

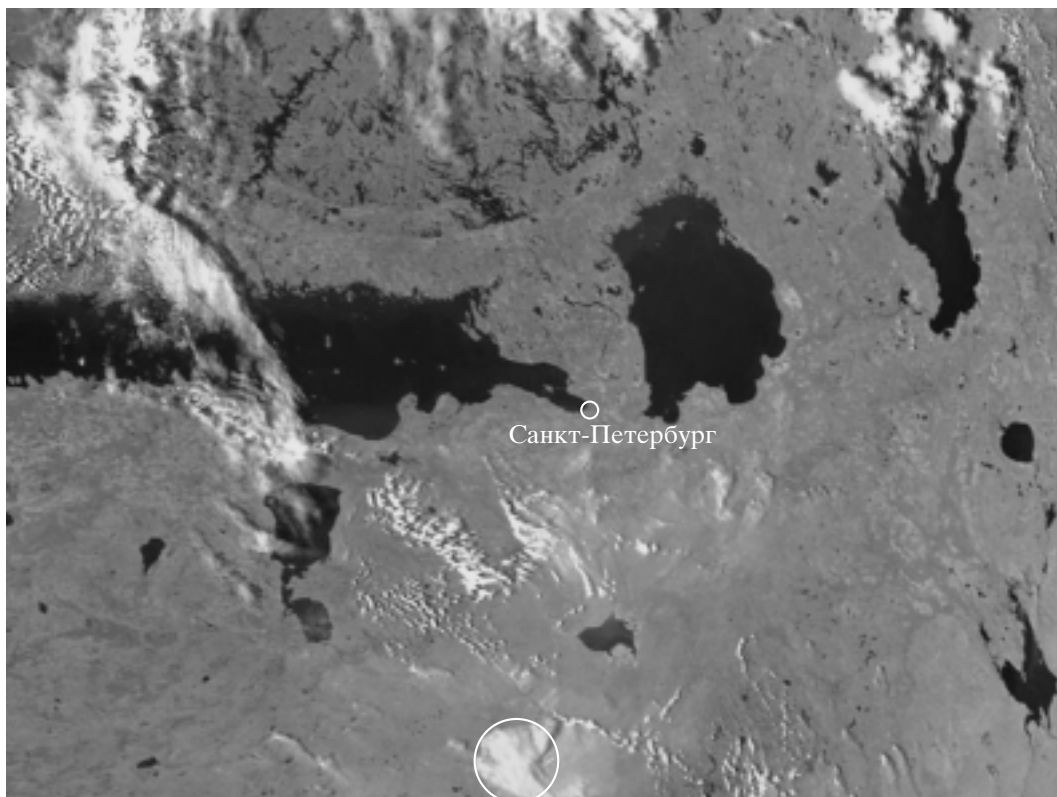


Рис. 3. Спутниковый снимок NOAA AVHRR (4 сентября 2002 г.) с очагами лесных пожаров на северо-западе РФ.

Имеющаяся экспериментальная оценка общего содержания CO в струе лесных пожаров ( $w_f = 0.28 \times 10^{19}$  мол/см<sup>2</sup>) позволяет определить добавочную концентрацию в трехкилометровом слое  $C_e$  (но уже в абсолютных единицах):

$$C_e = w_f/3 \text{ км} = 0.093 \times 10^{14} \text{ мол/см}^3$$

(или  $2.7 \times 10^{-4}$  г/м<sup>3</sup>).

**Таблица 2.** Классификация результатов измерений общего содержания CO ( $Q$ ) для периода 28 августа–9 сентября 2002 г.

Группа	Дата	Среднее значение $Q$ , мол/см <sup>2</sup>	Примечание
1	2–4 сентября	$(0.22 \pm 0.02) \times 10^{19}$	“Фоновые” значения
2	28 авг., 8–9 сентября	$(0.35 \pm 0.03) \times 10^{19}$	Влияние региональных источников – лесных пожаров Европейской части РФ
3	6 сентября	$(0.63 \pm 0.05) \times 10^{19}$	Измерения в струях лесных пожаров

Используя пропорцию

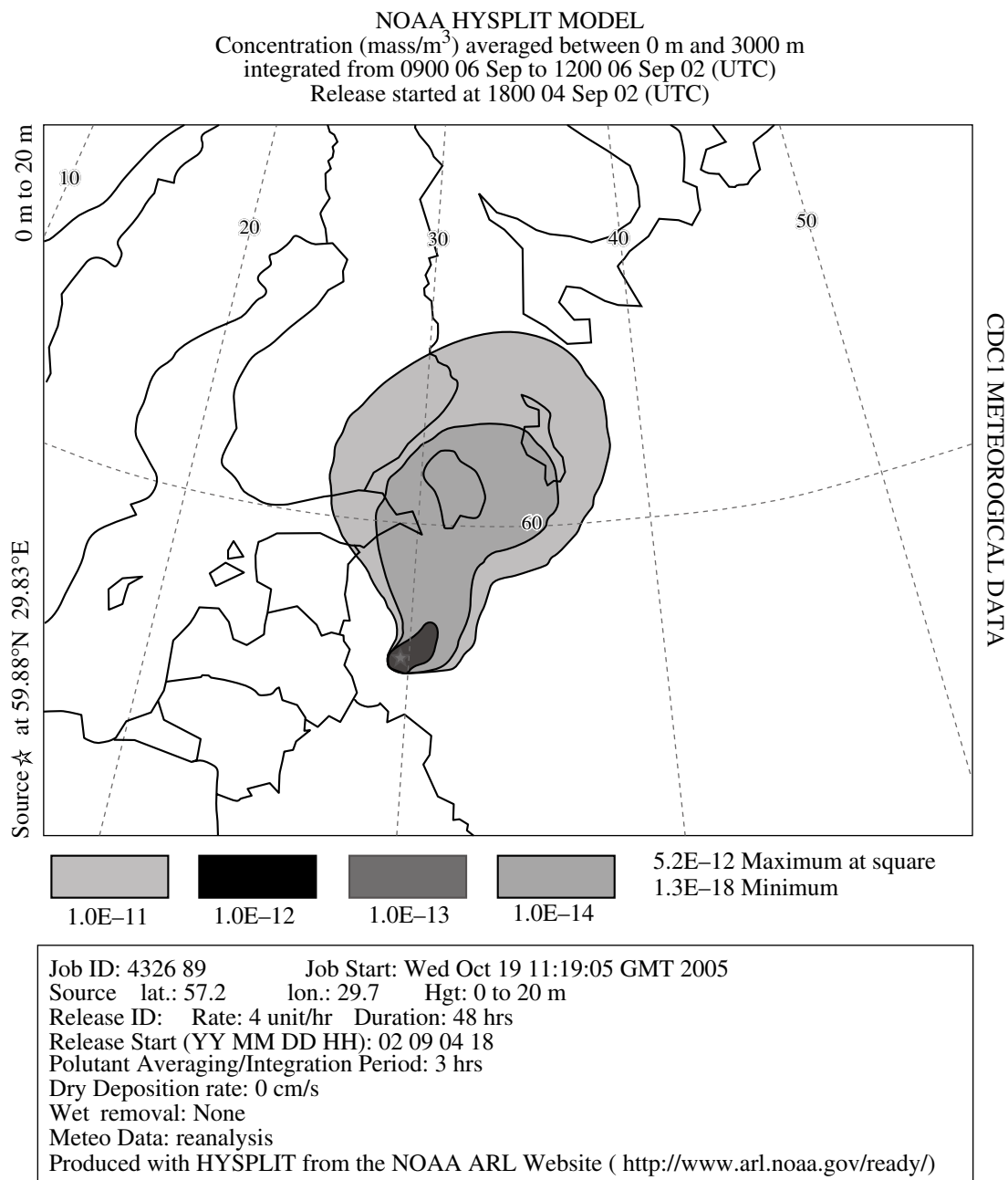
$$Re/C_e = Rm/C_m$$

и зная величины  $C_e$ ,  $R_m$ ,  $C_m$ , можно определить экспериментальное значение интегральной скорости эмиссии псковского пожара  $Re$ . Полученная нами экспериментальная оценка скорости эмиссии CO со всей площади псковского пожара составляет  $Re = 3.6 \times 10^9$  г/ч. Интенсивность эмиссии CO с единицы площади лесного пожара (где  $S$  – площадь пожара):

$$I = Re/S \approx 3.6 \text{ г/(ч м}^2\text{)}.$$

Оценки выбросов CO (в случае лесных пожаров) приведены в литературе в основном в виде значений удельной эмиссии  $M$ , характеризующей полное количество CO, которое при горении выделила единица площади леса. Поэтому для сравнения с независимыми результатами нам необходимо знать период горения лесного массива. При низовых или торфяных пожарах период горения  $T$  лесного (торфяного) массива обычно составляет 2–3 сут [17]:  $T = 48\text{--}72$  ч. В нашем случае это подтверждается тем, что интенсивное горение псковского очага, уже зарегистрированное спутником 4 сентября, продолжалось как минимум до 6 сентября. Таким образом,

$$M = IT \approx 0.17\text{--}0.26 \text{ кг/м}^2.$$



**Рис. 4.** Результаты моделирования распространения продуктов горения с помощью дисперсионного блока модели HYSPLIT для 6 сентября 2002 г. (осреднение за период с 13 до 16 ч).

В табл. 3 для сравнения приведены опубликованные оценки величины  $M$ , полученные для пожаров в лесах высоких широт Северного полушария [17, 18].

Согласно этим данным, диапазон независимых оценок величины  $M$  для лесов высоких широт Северного полушария составляет 0.124–0.425 кг/м<sup>2</sup>: результаты, полученные различными авторами, расходятся более чем в три раза. Видно, что наш результат (0.17–0.26 кг/м<sup>2</sup>) наиболее близок к зна-

чению  $M = 0.213$  кг/м<sup>2</sup> [18]. Учитывая, что в случае низовых пожаров преобладает именно тлеющая фаза, совпадение двух оценок позволяет сделать вывод о том, что при расчетах интегральной эмиссии CO от лесных пожаров высоких широт Северного полушария целесообразно использовать значения удельной эмиссии  $M \sim 0.2$  кг/м<sup>2</sup>. Отметим, что полученное нами значение величины  $M$  в два раза ниже приведенного в работе [17] (0.425 кг/м<sup>2</sup>).

**Таблица 3.** Значения удельной эмиссии окиси углерода  $M$  при лесных пожарах

Источник (ссылка)	Значение $M$ , кг/м <sup>2</sup>	Комментарии
Настоящая работа	0.17–0.26	Низовой пожар (преобладание тления)
Donald R. Cahoon Jr. et al. [18]	0.124	Фаза активного горения
Donald R. Cahoon Jr. et al. [18]	0.213	Фаза тления
Jane Liu et al. [17]	0.425	Эмиссия CO не разделена на фазы горения и тления

Аналогичные оценки эмиссий CO при лесных пожарах возможны при наличии спутниковых измерений общего содержания CO (или содержания CO в нижней тропосфере). Поля CO, построенные по спутниковым измерениям, позволят в случае интенсивных очагов горения не только оценить интенсивность эмиссии CO, но и наглядно сопоставить результаты моделирования распространения струи CO (HYSPLIT) с областями аномальных значений CO. Следует отметить, однако, что результаты спутниковых экспериментов (MOPITT, SCIAMACHY) пока не позволяют уверенно получать данные о содержании CO в слоях тропосферы 0–2 км. Поскольку именно этот слой характеризуется самыми значительными изменениями содержания CO за счет действия наземных источников (например, тех же лесных пожаров), использование спутниковых данных при описанном подходе может дать значительные погрешности.

### ВЫВОДЫ

1. Проанализированы результаты измерений спектроскопическим методом общего содержания окиси углерода  $Q$  в районе Санкт-Петербурга в период лесных пожаров в августе 2002 г. С помощью модели HYSPLIT рассчитаны траектории воздушных масс и получено распространение CO в мезомасштабе в период измерений.

2. На основе расчетов по модели HYSPLIT и результатов измерений  $Q$  получена оценка удельной интенсивности эмиссии CO в псковском лесном пожаре 28 августа–8 сентября 2002 г., которая составила 0.17–0.26 кг/м<sup>2</sup>. Данная оценка может быть использована для определения интегральной эмиссии CO в атмосферу за счет пожаров в лесах северо-запада РФ, а также в модельных расчетах.

3. Оценка эмиссии CO при лесных пожарах, осуществленная для наземных измерений, может быть также реализована для спутниковых измере-

ний в том случае, если они позволяют получать информацию о содержании CO в нижних слоях тропосферы (0–2 км).

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации МК-1836.2005.5, грантов Минобрнауки России РНП.2.1.1.4166, РПН.2.2.1.1.3836.

Авторы выражают признательность NOAA Air Resources Laboratory (ARL) за возможность использования модели HYSPLIT на сайте READY (<http://www.arl.noaa.gov/ready.html>).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- IPCC Third Assessment Report – Climate Change 2001: The Scientific Basis [http://www.grida.no/climate/ipcc\\_tar/wg1/index.htm](http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/index.htm).
- Интернет-ресурс спутникового эксперимента MOPITT. <http://www.eos.ucar.edu/mopitt/>
- Интернет-ресурс спутникового эксперимента SCIAMACHY. <http://www.sciamachy.de/>
- Joint WMO/GAW-ACCENT Workshop on the Global Tropospheric Carbon Monoxide Observations System, Quality Assurance and Applications, 24–26 October 2005, Empa Dubendorf, Switzerland. [http://www.empa.ch/plugin/template/empa/\\*43899/---/l=2](http://www.empa.ch/plugin/template/empa/*43899/---/l=2)
- Интернет-ресурс лаборатории NOAA/CMDL. <http://www.cmdl.noaa.gov>
- Интернет-ресурс международной сети NDACC. <http://www.ndsc.ncep.noaa.gov/>
- Макарова М.В., Поберовский А.В., Тимофеев Ю.М. Временная изменчивость общего содержания окиси углерода в атмосфере в районе Санкт-Петербурга. // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана, 2004. Т. 40. № 3. С. 355–365.
- Yurganov L.N., Grechko E.I., Dzholia A.V. Long-term measurements of carbon monoxide over Russia using a spectrometer of medium resolution. // Recent Res. Devel. Geophysics. № 4. 2002. P. 249–265. ISBN 81-7736-076-0.
- Kashin F.V. Measurements of Greenhouse Gases Contents in the Air Near the Ground, in the Atmospheric Boundary Layer and in the Atmospheric Column to Study Their Variability. <http://www.geocities.com/leonidyurganov/papers/kashinCOCH4CO2.pdf>
- Интернет – ресурс международного проекта TROICA. <http://troica.org/troica.html>
- Flentje H., Berresheim H., Schultz M. Applications of CO Observations in the Development of Next Generation Forecast Models. Joint WMO/GAW-ACCENT Workshop on the Global Tropospheric Carbon Monoxide Observations System, Quality Assurance and Applications, 24–26 October 2005, Empa Dubendorf, Switzerland. [http://www.empa.ch/plugin/template/empa/\\*43899/---/l=2](http://www.empa.ch/plugin/template/empa/*43899/---/l=2)
- G. Petron, V. Yudin, C. Granier et al. The need for high-quality CO data in chemical transport models and data assimilation. Joint WMO/GAW-ACCENT Workshop on the Global Tropospheric Carbon Monoxide Observations System, Quality Assurance and Applications, 24–26 October 2005, Empa Dubendorf, Switzerland. [http://www.empa.ch/plugin/template/empa/\\*43908/---/l=2](http://www.empa.ch/plugin/template/empa/*43908/---/l=2)



13. *Draxler R.R., Rolph G.D., HYSPLIT* (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model access via NOAA ARL READY Website, 2003, (<http://www.arl.noaa.gov/eady/hysplit4.html>). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD.
14. Интернет-ресурс Гидрометцентра Санкт-Петербурга: спутниковые изображения лесных пожаров. [http://adm.meteo.nw.ru/SatImages/Fire/09041407Ptr\\_10.jpg](http://adm.meteo.nw.ru/SatImages/Fire/09041407Ptr_10.jpg)
15. Интернет-ресурс “Природные пожары”. [http://www.tcmp.nm.ru/Rescuer/Rescuer's%20Guidebook/ch149\\_fires.htm](http://www.tcmp.nm.ru/Rescuer/Rescuer's%20Guidebook/ch149_fires.htm)
16. *Ferguson S.A. et al.* Vertical distribution of nighttime smoke following the wildland biomass fire in boreal Alaska // *J. Geophys. Res.* 2003. V. 108. № D23. 4743, doi: 10.1029/2002JD003324.
17. *Liu J. et al.* Satellite mapping of CO emission from forest fires in Northwest America using MOPITT measurements // *Rem. Sens. Environ.* 2005. V. 95 P. 502–516.
18. *Cahoon D.R. et al.* Satellite analysis of the severe 1987 forest fires in northern China and southeastern Siberia. [http://asdwww.larc.nasa.gov/biomass\\_burn/sat\\_anal.html](http://asdwww.larc.nasa.gov/biomass_burn/sat_anal.html).