

УДК 551.510.41.551;510.42

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВТОРЖЕНИЙ ВОЗДУХА ИЗ ВЕРХНЕЙ ТРОПОСФЕРЫ НА ОБЩЕЕ СОДЕРЖАНИЕ СО В РАЙОНЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

© 2008 г. М. В. Макарова*, Г. А. Алексеенков**, В. С. Косцов*, А. В. Поберовский*

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

**Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт
199397 Санкт-Петербург, ул. Беринга, 38
Поступила в редакцию 06.06.2007 г.

На основе спектроскопических измерений общего содержания СО, обратных траекторий движения воздушных масс (модель HYSPLIT) и метеорологической информации исследовано влияние затока воздуха из верхних слоев тропосферы на общее содержание СО. Показано, что наблюдавшиеся случаи вторжения субстратосферного, верхнетропосферного воздуха определяют минимальные значения общего содержания СО в конце января–конце марта. Вторжение воздуха из верхнетропосферных слоев может вызывать уменьшение значений общего содержания СО до 30% (от средних значений). На примере 31 января 2000 г. продемонстрировано влияние затока арктического воздуха из верхней тропосферы на общее содержание СО для района Санкт-Петербурга: результаты измерений общего содержания СО в районе Санкт-Петербурга и на полярной станции Kiguna (NDACC) согласуются в пределах 1% (в том случае, если при сопоставлении учтен процесс вертикального перемещения объемов воздуха). Таким образом, для корректного совместного анализа результатов измерений общего содержания СО для различных наблюдательных станций необходимо привлечение информации о траекториях движения воздушных масс.

ВВЕДЕНИЕ

Оксид углерода (СО) – химически активная компонента, влияющая на содержание трех важнейших компонент земной атмосферы: тропосферного озона (O_3), метана (CH_4) и двуоксида углерода (CO_2). Радикал гидроксила (ОН) является основным стоком окиси углерода и метана в тропосфере, поэтому оксид углерода одновременно контролирует содержание CH_4 и окислительную способность тропосферы (ОН). Процессы окисления СО, в зависимости от содержания окислов азота, могут приводить как к образованию, так и разрушению тропосферного озона. Например, при наличии достаточно высокого содержания окиси азота (NO), реакции окисления СО приводят к образованию тропосферного озона [1, 2]. Концентрации, достаточные для образования O_3 могут достигаться для индустриально развитых регионов средних широт Северного полушария, а также в верхних слоях тропосферы тропических широт (где значительное количество NO формируется молниями). При низких содержаниях окиси азота в тропосфере (что более характерно для Южного полушария) имеет место другая цепочка реакций с участием СО, которая ведет к разрушению тропосферного O_3 [1]. Конечным продуктом

при окислении СО в обоих случаях является двуокись углерода (важнейший парниковый газ).

Атмосферные динамические процессы оказывают существенное влияние как на локальные значения концентрации, так и на общее содержание СО в атмосфере. Во многих случаях происхождение воздушной массы позволяет объяснить наблюдающиеся изменения газового состава атмосферы [3–8]. Так, например, аномально высокие значения общего содержания СО в Петербурге во второй половине лета–начале осени связаны с приходом воздуха (обогащенного СО) из районов, где наблюдаются мощные лесные пожары. В таких условиях процессы трансформации воздушных масс особенно сильно влияют на наблюдающиеся значения общего содержания СО в атмосфере [9]. Существенное повышение значений (~25% от среднегодовых) содержания СО в атмосфере в холодное время года связано с высокой интенсивностью антропогенных источников СО, а также с низкими концентрациями радикала гидроксила в тропосфере (основного стока СО). При восточном, северо-восточном переносе воздушные массы, аккумулирующие выбросы материковых источников (например, Санкт-Петербурга), могут приводить к дополнительному увеличению измеряемых значений общего содержания СО на

20–30% (от средних, характерных для этого времени года). Фоновые значения CO обычно регистрируются при поступлении атлантического воздуха [9].

Наряду с адвекцией, вертикальные движения воздуха также оказывают влияние на содержание газа в атмосфере [10]. Ячейки циркуляции атмосферы и связанные с ними вертикальные движения воздуха приводят к значительным изменениям концентрации малых газовых составляющих атмосферы [6]. На высокогорных станциях отчетливо прослеживаются периоды, когда восходящими потоками воздуха выносятся загрязнения из нижней тропосферы в более высокие слои [11]. Случаи возрастания концентрации O₃, обусловленные процессами вторжения стратосферного и субстратосферного воздуха в нижележащие слои тропосферы, зарегистрированы на Кисловодской научной станции ИФА РАН (~2070 м над уровнем моря, 43°44' N, 42°43' E) [12].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Основной целью данной работы являлась оценка влияния вторжений воздуха из верхней тропосферы на изменения общего содержания CO для Санкт-Петербурга. Исследование основано на результатах спектроскопических измерений общего содержания CO [13, 14], анализе траекторий движения воздушных масс (модель HYSPLIT) [15] и метеорологической информации [16, 17]. Совместный анализ массива средненежных значений общего содержания CO для района Санкт-Петербурга (1997–2005) и обратных траекторий движений воздушных масс позволил выбрать периоды (их семь), иллюстрирующие влияние вертикальных перемещений воздушных масс на общее содержание CO. В большинстве случаев – это нисходящие движения воздуха, наблюдавшиеся преимущественно в холодное время года. Три из семи случаев зарегистрированы в конце января–феврале: 31 января 2000 г., 21 февраля 2003 г. и 21 февраля 2004 г. Отметим, что интенсивные вторжения субстратосферного, верхнетропосферного воздуха – явление относительно редкое. В эти периоды можно ожидать снижения концентрации окиси углерода в нижних тропосферных слоях и, как следствие, уменьшения измеряемых значений общего содержания CO.

Оптические (спектроскопические) измерения общего содержания CO требуют определенных погодных условий: ясное небо либо разрывы в облачности. Поэтому выбор наглядных примеров, демонстрирующих влияние конкретного динамического процесса на общее содержание более сложен, чем в случае непрерывных измерений (например, локальных газохроматографических) [3, 11, 12]. Необходимо, чтобы в период смены воздушных масс было проведено несколько дней

измерений. Распределение конкретных дней измерений в этом периоде должно было таким, чтобы была возможность проследить влияние рассматриваемого динамического процесса в атмосфере на общее содержание газа.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Рассмотрим подробнее результаты измерений общего содержания CO для района Санкт-Петербурга, полученные с конца января по конец марта в 1997–2005 гг. (см. рис. 1). Именно этот двухмесячный период соответствует максимуму годового хода общего содержания CO [13, 18]. Он характеризуется относительно небольшой (по сравнению с другими месяцами) межгодовой изменчивостью средних значений общего содержания CO, что наглядно демонстрирует годовые хода общего содержания CO для 1997–2004 гг. (см. рис. 2) [18]. Исключение составляет лишь 1999 г., когда в январе–феврале отмечались аномально высокие значения общего содержания CO [13]. За 9 лет в период с конца января по конец марта измерения проводились в течение 114 дней. Среднее значение общего содержания CO за указанный период составило $w_{cp} = 0.290 \times 10^{19}$ мол/см², среднеквадратическое отклонение $\sigma = 0.025 \times 10^{19}$ мол/см². Минимальное $(0.221 \pm 0.003) \times 10^{19}$ мол/см² и максимальное $(0.37 \pm 0.01) \times 10^{19}$ мол/см² значения (среднедневные) были зарегистрированы 21 февраля 2004 г. и 27 февраля 1999 г. соответственно. Количество высоких значений, выходящих за пределы коридоров $w_{cp} \pm \sigma$ и $w_{cp} \pm 2\sigma$, значительно больше, чем низких (см. рис. 1). Это связано с тем, что измерения проводятся на материковой станции, и наблюдаемые значения общего содержания CO зависят от мощности действующих источников окиси углерода.

За девять лет измерений три самых низких средненежных значения (для периода конца января–конца марта) были зарегистрированы при вторжениях воздуха из верхних тропосферных слоев: 31 января 2000 г., 21 февраля 2003 г. и 21 февраля 2004 г. (см. рис. 1). Отличительной особенностью этих трех дней является резкое уменьшение значения общего содержания CO по сравнению с соседними днями (на 14% 31 января 2000 г. и 21 февраля 2003 г. и на 30% 21 февраля 2004 г.). Без анализа дополнительной метеорологической информации, траекторий движения воздушных масс такие случаи могут быть приняты за промахи при проведении и обработке эксперимента. Самое значительное падение общего содержания CO наблюдалось 21 февраля 2004 г. и связано оно с вторжением верхнетропосферного воздуха, сформировавшегося над южной Атлантикой. Все три случая интересны для анализа, однако, с нашей точки зрения, период 29 января–01 февраля 2000 г. наиболее удачен для дальнейшего, более подробного рассмотрения.

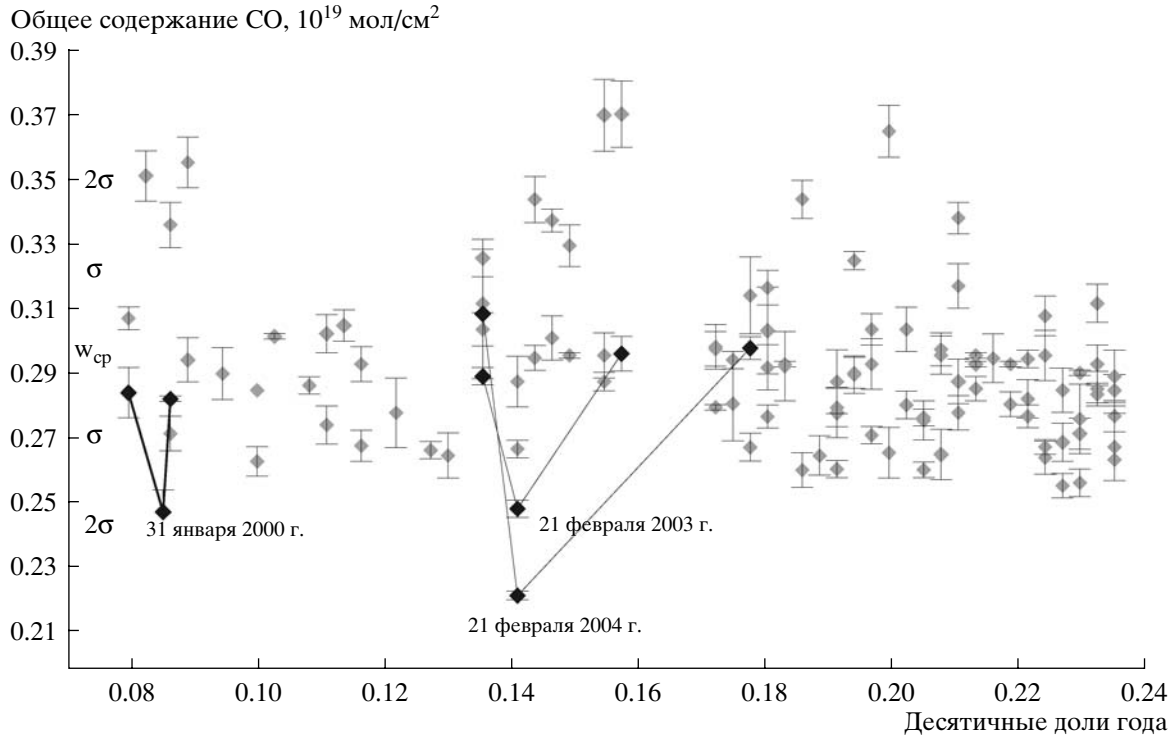


Рис. 1. Результаты измерений общего содержания CO для района Санкт-Петербурга (конец января–конец марта 1997–2005 гг.)

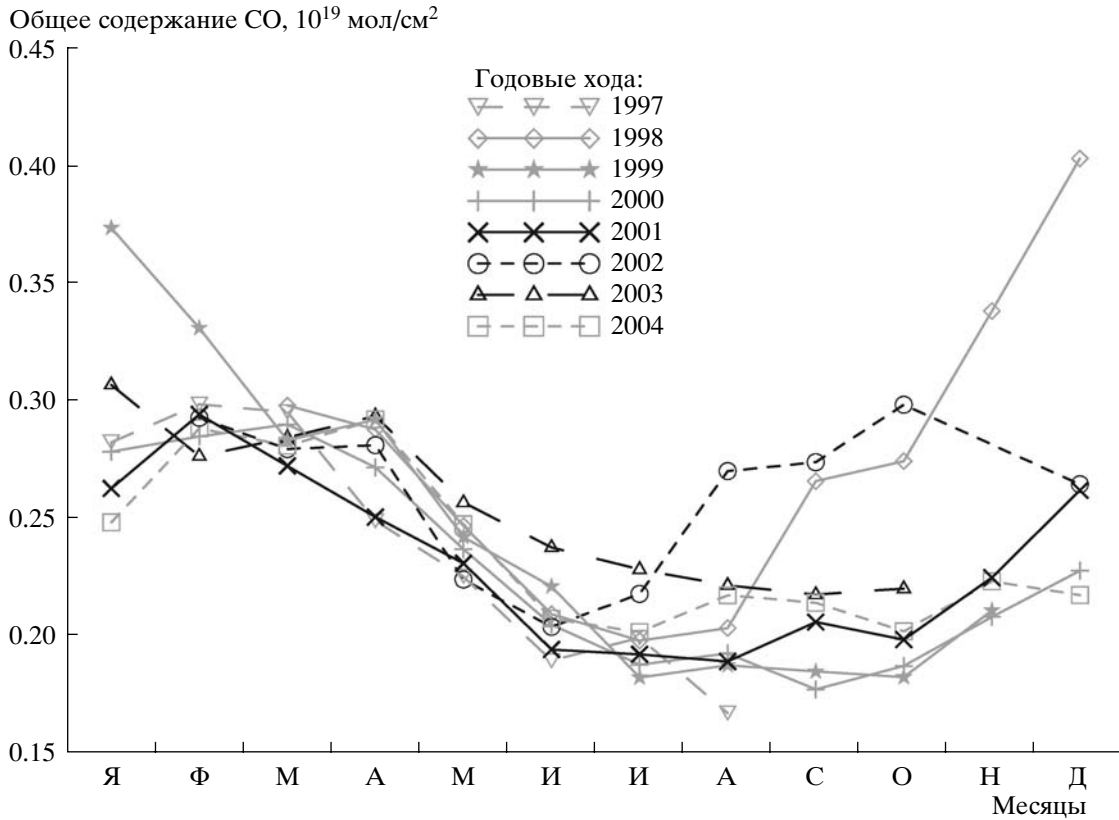


Рис. 2. Годовые хода общего содержания CO для 1997–2004 гг.

Таблица 1. Значения общего содержания CO и H₂O для района Санкт-Петербурга (С) и Kiguna (К)

Дата/станция	Вертикальные движения воздушных масс	Общее содержание CO, 10 ¹⁹ мол/см ²	Общее содержание H ₂ O, г/см ²
28.01.2000 (К)	–	0.2331 ± 0.0005	
29.01.2000 (С)	–	0.284 ± 0.005	0.51
30.01.2000 (С)	–	–	0.70(мз)
31.01.2000 (С)	нисходящие	0.244 ± 0.004	0.20
01.02.2000 (С)	–	0.282 ± 0.005	0.36
02.02.2000 (К)	–	0.2453 ± 0.0005	

Спектроскопические измерения общего содержания CO и H₂O в районе Санкт-Петербурга проводились 29, 31 января и 1 февраля. Результаты измерений приведены в табл. 1. Общее содержание водяного пара для 30 января получено по данным метеозондирования в пос. Воейково (что помечено в таблице буквами “мз”). Из табл. 1 видно, что 31 января в районе Санкт-Петербурга наблюдалось значительное падение как общего содержания CO, так и общего содержания водяного пара. Разница результатов измерений CO 29 января–31 января и 1 февраля–31 января составила в первом случае 14% от среднего значения общего содержания для этого периода и 13% во втором случае (это сравнимо с амплитудой сезонных изменений CO в атмосфере ~25%).

На рис. 3 представлены пятисуточные обратные траектории движения воздушных масс (HYSPPLIT) в район Санкт-Петербурга (Петродворец, 59°88' N, 29°83' E) 31 января 2000 г. В верхней части рис. 3

приведены горизонтальные проекции траекторий движения воздуха, на нижней - вертикальные. Конечная точка траекторий (Петродворец, 59°88' N, 29°83' E) на графиках отмечена звездочками. Нисходящие движения воздуха отчетливо видны на нижней части рис. 3: именно 31 января 2000 г. имел место заток арктического воздуха из верхних тропосферных слоев. Интенсивных вертикальных движений воздуха для соседних дней 29, 30 января и 1 февраля не наблюдалось, что, например, видно из рис. 4, где приведены результаты расчета обратных траекторий движения воздуха для 29 января 2000 г.

Вторжение арктического воздуха в умеренные широты обычно происходит в тылу циклонов (за холодными фронтами). В общих чертах обрисовем синоптическую ситуацию рассматриваемого периода, останавливаясь на интересующих нас особенностях. Для этого были проанализированы карты абсолютной барической топографии AT500 [17], где прослеживается движение североатлантического циклона через Скандинавию и далее на северо-восток. Санкт-Петербург оказался под его влиянием 29–31 января. Понижение давления, повышение температуры до положительных значений (1.4°C), сплошная облачность и осадки (см. табл. 2, где приведены метеоданные станции в пос. Воейково [16]) свидетельствуют о том, что 30 января Санкт-Петербург находился в теплом секторе циклона. В ночь с 30 на 31 января наблюдалось прохождение холодного фронта (сопровождавшееся сильными осадками в виде ливневого снега, понижением температуры, изменением направления ветра), после которого и последовало вторжение арктического воздуха. Арктическому воздуху сопутствовало прояснение (которое, как видно из табл. 2, наблюдалось

Таблица 2. Метеонаблюдения в течение 31 января 2000 г. на метеостанции в пос. Воейково (Санкт-Петербург, № 26063, 59°58' N 30°18' E)

Время местное	Температура воздуха, °C	Давление на ур. моря, гПа	Относительная влажность, %	Точка росы, °C	Направление и сила ветра, град и м/с	Облачность, балл	Высота и форма нижней границы облачности	Явления (код КН-01)
00:00	+2.0	974	97	+1.6	200, 3	10	450 м (Ns)	(02) Облачность без изменений
03:00	0.0	978	97	-0.4	261, 5	10	800 м (Ns)	(26) Ливневый снег (в прош. час)
06:00	-1.0	983	74	-4.6	280, 6	10	1250 м (Ac)	(85) Небольшой ливневый снег
09:00	-3.0	986	75	-6.4	270, 4	9	800 м (As)	(02) Облачность без изменений
12:00	-3.0	988	64	-8.2	279, 5	3	3000 м (Ci)	
15:00	-3.0	990	54	-10.1	311, 3	1	3000 м (Ci)	
18:00	-5.0	994	63	-10.3	270, 1	0	3000 м (Ci)	
21:00	-6.0	996	79	-8.7	261, 2	0	3000 м (Ci)	

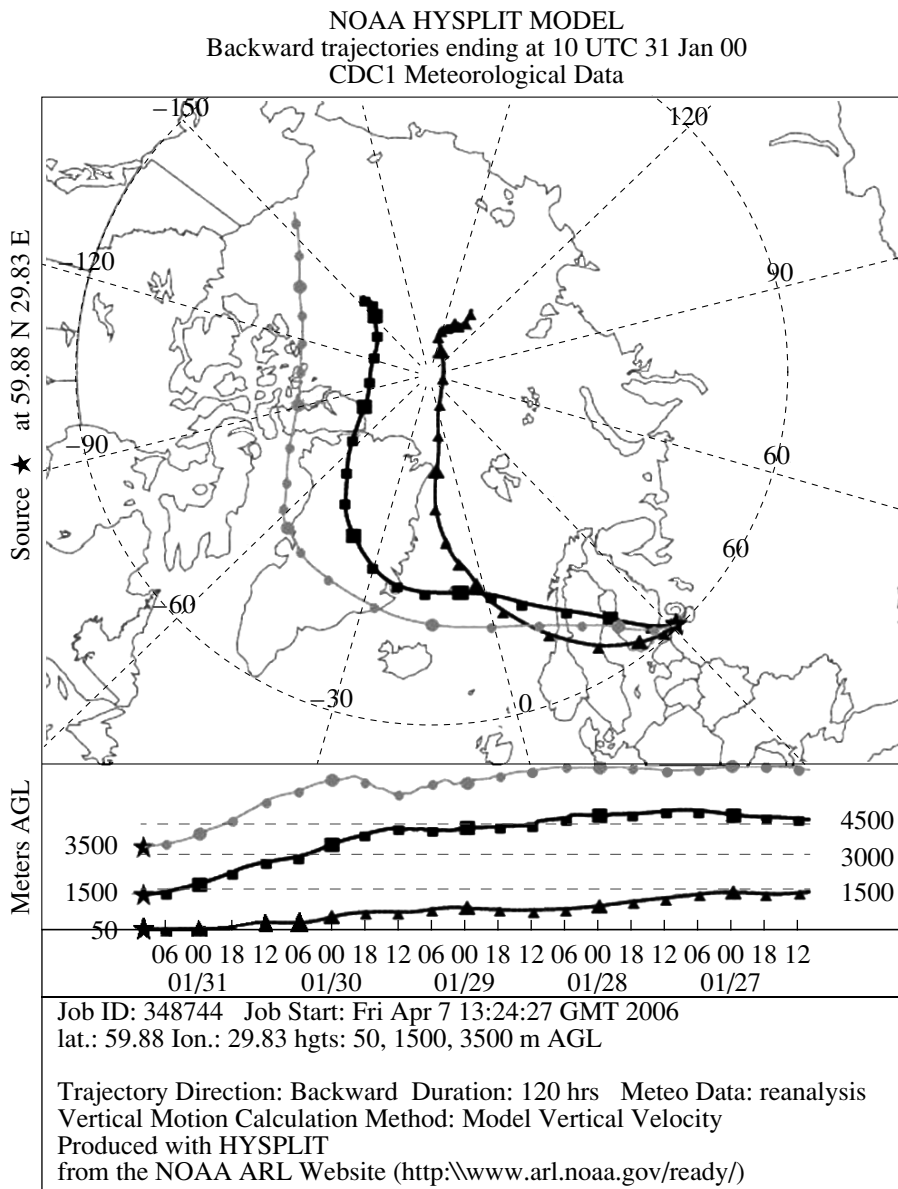


Рис. 3. Обратные траектории движения воздушных масс для 31 января 2000 г.

уже с 15 часов), позволившее провести спектроскопические измерения. На рис. 5 представлено семейство карт, построенное для 15 часов (местного времени) 31 января 2000 г. [17]. Области низких температур и влажности в виде “языков”, расположенные в тылу циклона и являющиеся результатом вторжения холодных сухих арктических воздушных масс отчетливо видны на картах АТ 500 и 850 (где нанесены температуры), а также на карте АТ 700 (относительная влажность). В приземных метеоданных влияние нисходящих потоков сухого холодного воздуха из верхних тропосферных слоев было уже заметно с 6 часов утра. В 12 часов начинается прояснение, в 15 часов относительная влажность достигает своего минимального значе-

ния – 54% (хотя падение температуры продолжается до 18 часов) [16]. Отметим, что спектроскопические измерения общего содержания CO 31 января проводились в период с 13 часов до 16 часов, когда Санкт-Петербург находился в центре арктического “языка”.

Оценим те изменения общего содержания CO, которые должны были произойти при вторжении воздуха из арктических тропосферных слоев выше 3 км (когда воздух с более низкой концентрацией CO из вышележащих слоев замещает богатый окисью углерода нижнетропосферный континентальный воздух). Для этого используем результаты измерений общего содержания CO на сети станций NDACC [14, 19]. Интерес представ-

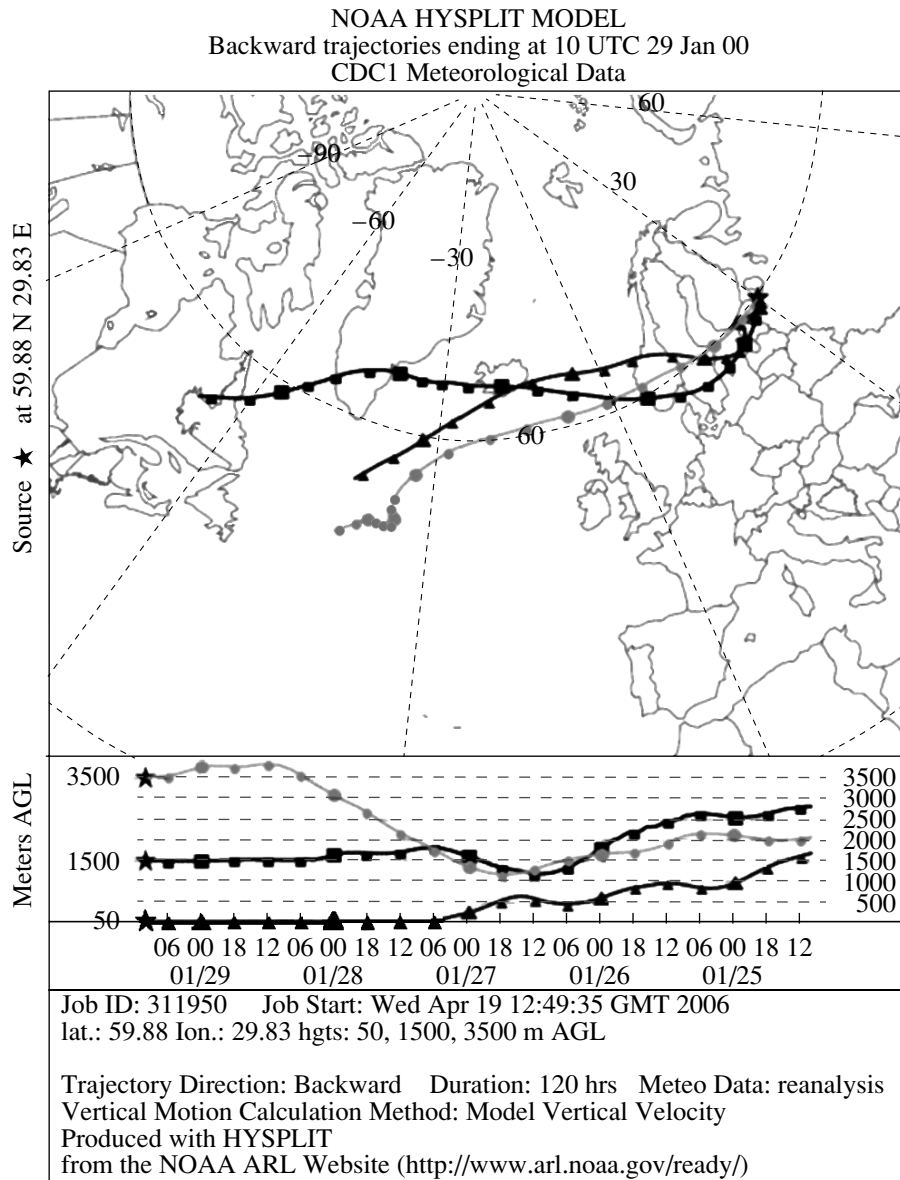


Рис. 4. Обратные траектории движения воздушных масс для 29 января 2000 г.

ляют две станции NDACC: Ny-Alesund и Kiruna. Обе они расположены северо-западнее Санкт-Петербурга: именно из тех районов в наш город поступали воздушные массы 31 января 2000 г. Наиболее близко к интересующему нас периоду (29 января–1 февраля 2000 г.) проводились измерения только на станции Kiruna (67°84' N, 20°41' E, 419 м над ур. моря): данные по общему содержанию окиси углерода имеются для 28 января и 2 февраля 2000 г. Результаты для этих дней измерений приведены в табл. 1, среднее значение общего содержания CO составило 0.239×10^{19} мол/см². Вертикальное распределение концентрации CO, заимствованное из модели AFGL86 [20] и приведенное к значению общего содержания на станции

Kiruna (0.239×10^{19} мол/см²), показано на рис. 6 (информацией о вертикальном распределении концентрации CO для выбранного периода в районах Санкт-Петербурга и Kiruna, мы не располагаем: измерения вертикального распределения CO в атмосфере имеют пока спорадический характер или находятся в закрытом доступе). Определив с помощью обратных траекторий высоты, откуда опустился воздух 31 января 2000 г. в район Санкт-Петербурга, можно достаточно легко сформировать локальный профиль концентрации CO для района Санкт-Петербурга. Значение концентрации CO (31 января в районе Санкт-Петербурга), например, на высоте 1 км будет определяться арктическим воздухом, поступившим с высот

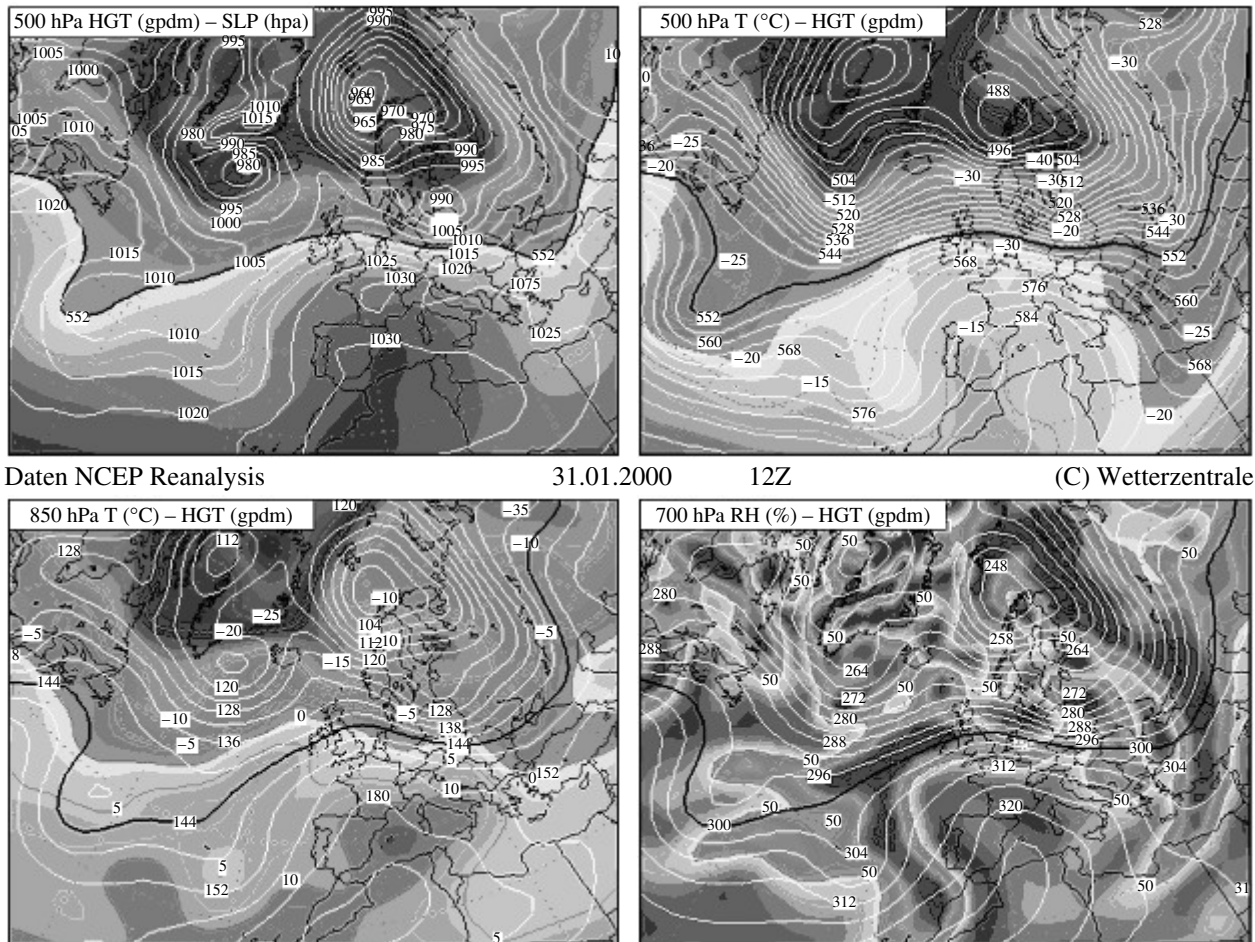


Рис. 5. Семейство карт (АТ500 с давлением на уровне моря, АТ 500, 850 с температурами, АТ 700 с относительной влажностью) для 15 часов (местного времени) 31 января 2000 г. [17].

около 3.5 км над ур. моря (см. рис. 6). Аналогично преобразуем значения концентраций СО для всех высот в тропосфере. На рис. 6 стрелками схематически показано, каким образом было сформировано вертикальное распределение концентрации СО для Санкт-Петербурга (на основе профиля для Kiruna). Таким образом, профиль концентрации СО для Санкт-Петербурга получен трансформацией среднего профиля [20] на основе информации о вертикальных движениях для рассматриваемого региона и времени.

Общее содержание, рассчитанное для нового специфического профиля (для Санкт-Петербурга), составило 0.242×10^{19} мол/см² и представляет собой “теоретическую” оценку общего содержания для 31 января 2000 г. Разница с результатом измерений 31 января (0.244×10^{19} мол/см²) составила ~1%. Полученное согласие результатов можно считать очень хорошим, что подтверждает достоверность предложенного нами механизма. В случае, если бы мы осуществили такую же, как в предыдущем параграфе, цепочку рассужде-

ний, но отталкивались не от общего содержания СО в Kiruna, а от среднего значения общего содержания в Санкт-Петербурге (0.283×10^{19} мол/см²), то “теоретическая оценка” составила бы $\sim 0.269 \times 10^{19}$ мол/см². Это на 10% выше экспериментального значения общего содержания СО (0.244×10^{19} мол/см²).

Таким образом, при затоке воздуха из верхних тропосферных слоев общее содержание СО в существенной степени зависит от воздушного бассейна, где был сформирован вторгшийся воздух. В холодное время года в арктическом воздухе содержание СО в тропосферных слоях (выше 3.5 км) примерно на 8% меньше, чем для района Санкт-Петербурга. Низкое общее содержание 31 января 2000 г. обусловлено не только процессом опускания воздуха из вышележащих слоев, но также и происхождением опустившихся воздушных масс (в данном случае – арктическим происхождением). Это необходимо учитывать для получения корректных результатов при сопоставлении данных измерений общего содержания СО, получен-

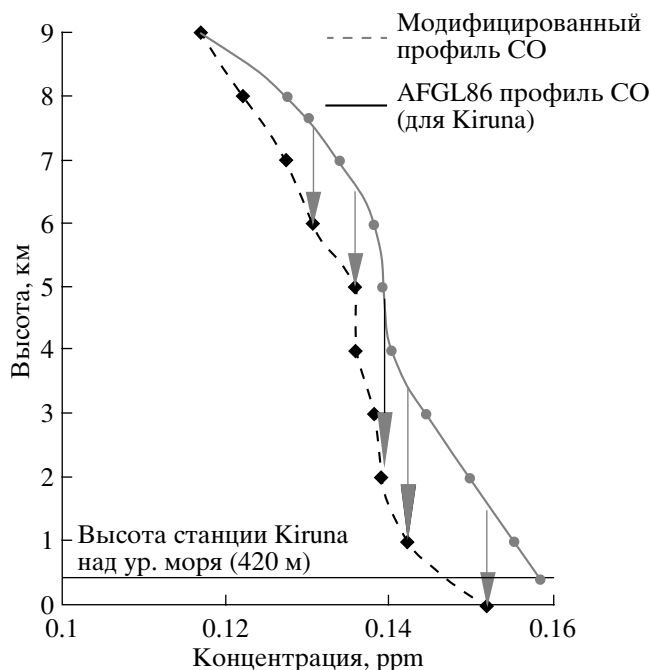


Рис. 6. Профили концентрации CO в тропосфере: сплошная линия – профиль AFGL86, соответствующий общему содержанию CO на станции Kiruna; штриховая линия – профиль над Санкт-Петербургом. Стрелками обозначены нисходящие движения воздуха, формирующие вертикальное распределение концентрации CO в районе Санкт-Петербурга.

ных на различных станциях (как например, Санкт-Петербург и Kiruna).

ВЫВОДЫ

Исследование влияния затока воздуха из верхних слоев тропосферы на общее содержание CO в районе Санкт-Петербурга, проведенное на основе спектроскопических измерений, моделирования обратных траекторий движения воздушных масс и метеорологической информации, показало:

1. Минимальные значения общего содержания CO в период с конца января по конец марта, зарегистрированные во время десятилетней серии наблюдений 1995–2005 гг., наблюдались при затоках воздуха из верхних тропосферных слоев (31 января 2000 г., 21 февраля 2003 г. и 21 февраля 2004 г.).

2. Вторжение воздуха из верхнетропосферных слоев в умеренные широты может вызывать существенное уменьшение значений общего содержания CO – до 30% (от средних значений). Изменения общего содержания CO в случае наблюдающегося нисходящего потока воздуха зависят не только от высот, с которых опустилась воздушная масса, но и от воздушного бассейна, где она сформировалась. При вторжении арктического

воздуха (из верхней тропосферы) изменения составляют около 15%, атлантического – до 30%.

3. Анализ вторжения арктических воздушных масс 31 января 2000 г. показал, что измерения общего содержания CO в районе Санкт-Петербурга и на станции Kiruna (NDACC) согласуются в пределах 1%, если при сопоставлении учитывать процесс вертикального перемещения объемов воздуха. Содержание CO в тропосферных слоях выше 3.5 км для арктического воздушного бассейна (в холодное время года) на 8% меньше, чем для района Санкт-Петербурга.

4. При сопоставлении и совместном анализе результатов измерений общего содержания CO для различных наблюдательных станций необходимо учитывать информацию о происхождении воздушных масс. Учет вертикальных движений воздуха и процессов адвекции позволяет в ряде случаев объяснить наблюдаемые расхождения в значениях общего содержания CO.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 07-05-00708-а, 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

1. Scales and Global Changes: Spatial and Temporal Variability in Biospheric and Geospheric Processes / Eds: T. Rosswall, R.G. Woodmansee, P.G. Risser. Scientific Committee on Problems of Environment: New York: Published by John Wiley & Sons Ltd, Paris: ICSU Press, 1988.
2. Crutzen P.J., Lawrence M.G., Poschl U. On the background photochemistry of tropospheric ozone // Tellus. 1999. V. 51A-B. P. 123–146.
3. Локощенко М.А., Еланский Н.Ф. Динамика загрязнения приземного воздуха при прохождении холодного фронта // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2006. Т. 42. № 2. С. 167–175.
4. Макарова М.В., Поберовский А.В., Яговкина С.В и др. Исследование процессов формирования поля метана в атмосфере Северо-Западного региона Российской Федерации // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2006. Т. 42. № 2. С. 237–249.
5. Bergamaschi P., Braunlich M., Marik T., Brenninkmeijer C.A.M. Measurements of the carbon and hydrogen isotopes of atmospheric methane at Izana, Tenerife: Seasonal cycles and synoptic-scale variations // J. Geophys. Res. 2000. V. 105. № D11. P. 14531–14546.
6. Muhle J., Zahn A., Brenninkmeijer C.A.M. et al. Air mass classification during the INDOEX R/V Ronald Brown cruise using measurements of nonmethane hydrocarbons, CH₄, CO₂, CO, ¹⁴CO, and δ¹⁸O(CO) //

- J. Geophys. Res. 2002. V. 107. № D19. P. 8021. doi:10.1029/2001JD000730.
7. *Bertschi I.T., Jaffe D.A., Jaegle L. et al.* PHOBEA/ITCT 2002 airborne observations of transpacific transport of ozone, CO, volatile organic compounds, and aerosols to the northeast Pacific: Impact of Asian anthropogenic and Siberian boreal fire emissions // J. Geophys. Res. 2004. V. 109. D23S12. doi: 10.1029/2003JD004328.
 8. *Lobert J.M., Harris J.M.* Trace gases and air mass origin at Kaashidhoo, Indian Ocean // J. Geophys. Res. 2002. V. 107. № D19. P. 8013. doi: 10.1029/2001JD000731.
 9. *Макарова М.В., Косцов В.С., Поберовский А.В.* Исследование факторов, определяющих аномальную изменчивость общего содержания окиси углерода в районе Санкт-Петербурга, на основе экспериментальных данных и модели HYSPLIT // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2007. Т. 43. № 5 (в печати).
 10. *Shia R.-L., Liang M.-C., Miller C.E., Yung Y.L.* CO₂ in the upper troposphere: Influence of stratosphere-troposphere exchange // Geophys. Res. Lett. 2006. V. 33. L14814. doi: 10.1029/2006GL026141.
 11. *Tsutsumi Y., Matsueda H.* Relationship of ozone and CO at the summit of Mt. Fuji (35.35° N, 138.73° E, 3776 m above sea level) in summer 1997 // Atmospheric Environment. 2000. V. 34. P. 553–561.
 12. *Шакина Н.П., Иванова А.Р., Кузнецова И.Н.* Волны холода и их проявление в озонметрических данных кислородской высокогорной научной станции // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2004. Т. 40. № 4. С. 485–500.
 13. *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.
 14. Интернет-ресурс международной сети NDACC. <http://www.ndsc.ncsr.noaa.gov/>
 15. *Draxler R.R., Rolph G.D.* HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model access via NOAA ARL READY Website (<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD. 2003.
 16. Сервер “Погода России” (архив погоды): <http://meteo.infospace.ru>.
 17. Исторический архив метеорологических полей NCER: <http://www.wetterzentrale.de/topkarten/fsreaeur.html>.
 18. *Makarova M.V., Osipov S.I., Poberovskii A.V.* Results of carbon monoxide total column amount measurements near St. Petersburg (Russia). Joint WMO/GAW-ACCENT Workshop on the Global Tropospheric Carbon Monoxide Observations System, Quality Assurance and Applications, 24–26 October 2005, Empa Dübendorf, Switzerland. http://www.empa.ch/plugin/template/empa/*43903/—/l=2
 19. Интернет-ресурс British Atmospheric Data Centre (BADC): <http://badc.nerc.ac.uk/home/>
 20. *Anderson G.P., Clough S.A., Kneizys F.X. et al.* AFGL Atmospheric Constituent Profiles (0–120 km). Air Force Geophysics Laboratory. Hanscom, Massachusetts. Environmental research papers. № 954. 1986. P. 43.

Assessment of the Influence of Air Invasions from the Upper Troposphere on the CO Total Column Amount in the St. Petersburg Region

M. V. Makarova^a, G. A. Alekseenkov^b, V. S. Kostsov^a, and A. V. Poberovskii^a

^a St. Petersburg State University, Ul'yanovskaya ul. 1, Petrodvorets, St. Petersburg, 198504 Russia
e-mail: zaits@troll.phys.spbu.ru

^b Arctic and Antarctic Research Institute, ul. Beringa 38, St. Petersburg, 199226 Russia
e-mail: alexa@aari.nw.ru

Abstract—The influence of air invasions from the upper troposphere on the CO total column amount is studied on the basis of spectroscopic measurements of the CO total column amount, backward trajectories of air-mass motions (the HYSPLIT model), and meteorological data. It is shown that the observed invasions of substratospheric and upper-troposphere air masses determine the minimum CO total column amount in late January–late March. The invasion of air masses from the upper troposphere can result in a decrease in the CO total column amount to 30% (of its mean values). Using January 31, 2000, as an example, we show the influence of the invasion of Arctic air masses from the upper troposphere on the CO total column amount in the St. Petersburg region: the results of measurements of the CO total column amount in the St. Petersburg region and at the Kiruna polar station (NDACC) are in agreement to within 1% if the vertical transport of air masses is taken into account. Thus, for a correct combined analysis of measurement data on the CO total column amount for different observation stations, it is necessary to use data on air-mass trajectories.