

УДК 551.510.5

ФОНОВАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ДВУОКИСИ УГЛЕРОДА В ПРИЗЕМНОМ ВОЗДУХЕ (СТАНЦИЯ МОНИТОРИНГА “ОБНИНСК”)

© 2014 г. В. Н. Арефьев, Н. Е. Каменоградский, Ф. В. Кашин, А. В. Шилкин

Научно-производственное объединение “Тайфун”

249038 Обнинск, Калужская обл., ул. Победы, 4

E-mail: nikita@rpatyphoon.ru

Поступила в редакцию 02.04.2014 г., после доработки 22.05.2014 г.

Представлены данные измерений методом Фурье-спектроскопии объемной концентрации двуокиси углерода в пробах приземного воздуха в европейской части России. Анализ этих данных показал, что временные изменения концентрации CO_2 включают ~18% относительно высоких, кратковременно существующих концентраций, возникающих при температурной инверсии и при пожарах. Проведено разделение результатов измерений на региональную естественную фоновую концентрацию CO_2 и его антропогенную добавку. Из фоновой выделена сезонная концентрация. Максимумы и минимумы сезонных вариаций CO_2 чаще всего приходится соответственно на февраль и июль при средней амплитуде (20.2 ± 3.8) млн⁻¹. Коэффициент парной корреляции сезонных концентраций CO_2 с температурой равен -0.85 . Спектральный анализ выявил большое количество составных колебаний вариаций фоновой концентрации CO_2 с периодами от 2 до 126 месяцев. Простая модель с использованием параметров этих колебаний описывает временные изменения фоновой концентрации CO_2 с погрешностью менее 1%. Антропогенная добавка CO_2 в атмосферу состоит из случайной составляющей и долговременного тренда. За 13 лет наблюдений антропогенная добавка составила ~33 млн⁻¹ при средней скорости роста ~2.04 млн⁻¹ в год.

Ключевые слова: атмосфера, двуокись углерода, концентрация, фоновая, сезонная, антропогенная добавка.

DOI: 10.7868/S0002351514060030

ВВЕДЕНИЕ

Двуокись углерода (углекислый газ, CO_2) относится к основным атмосферным парниковым газам, которые влияют на тепловой баланс и, следовательно, погоду и климат Земли. Содержание CO_2 в атмосфере формируется естественными его источниками/стоками и постоянно растущей добавкой, обусловленной промышленной деятельностью человека [1–6]. Определенный интерес представляет задача разделения измеряемой концентрации углекислого газа в приземном воздухе на естественную региональную фоновую часть и антропогенную добавку.

В настоящей статье представлены результаты такого разделения и анализа данных мониторинга CO_2 в пробах приземного воздуха, полученных на научно-исследовательской станции мониторинга атмосферы ФБГУ НПО “Тайфун”, расположенной в 105 км на юго-запад от Москвы в г. Обнинске (55.1° N, 36.9° E, 186 м над уровнем моря), где практически отсутствуют местные мощные промышленные источники CO_2 .

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Концентрация CO_2 в пробах приземного воздуха измерялась при помощи комплекса аппаратуры, состоящего из Фурье-спектрометра с компьютером и оптической многоходовой кюветы. Случайная погрешность единичного измерения концентрации CO_2 , определенная по воспроизводимости величин концентрации в эталонных и естественных газовых смесях, составляет ± 1 млн⁻¹. Комплекс, предназначенный для регистрации одновременно нескольких атмосферных газов, методики измерений и результаты сравнений данных измерений в одних и тех же пробах воздуха, выполненных независимо в Обнинске и в NOAA ESRL (The NOAA Earth System Research Laboratory, USA [7]) описаны в [8–11].

На рис. 1 представлены результаты измерений концентрации CO_2 в более чем 17 тысячах проб приземного воздуха за период с февраля 1998 по январь 2014 г. (1 на рис. 1), которые в целом подтверждают известные факты сезонных вариаций и постоянного роста концентрации CO_2 . Наблюдаются также относительно повышенные концентрации (~16.6%

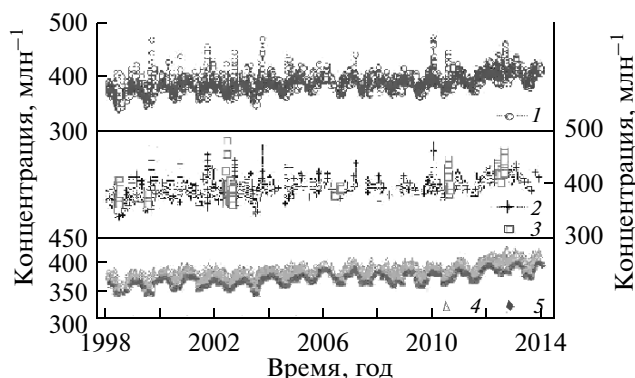


Рис. 1. Концентрация углекислого газа в пробах приземного воздуха (1 – все исходные значения, 2 – значения при температурной инверсии, 3 – высокие значения при пожарах, 4 – значения при отсутствии инверсии и пожаров, 5 – минимальные месячные значения).

от всех проб; 2 на рис. 1) при слабом ветре в условиях образовавшейся приземной температурной инверсии, препятствующей вертикальному перемешиванию воздуха и поэтому способствующей увеличению содержания CO_2 в приземном слое. Увеличение концентрации CO_2 может достигать десятков процентов, хотя позднее величины концентрации быстро уменьшаются при разрушении инверсии.

На рис. 2 приведен характерный пример изменений концентрации CO_2 (1 на рис. 2) при инверсии температуры, которая контролировалась на Высотной метеорологической мачте [12, 13] на высотах 2, 120 и 300 м (2–4 на рис. 2). Скорость ветра при этом изменялась в пределах (1.0 ± 0.7) м/с (5 на рис. 2).

Самые большие концентрации CO_2 (~1.5% от всех проб; 3 на рис. 1), отмечены в теплые периоды ряда лет. Их возникновение вызвано приходом к пункту наблюдений обогащенных углекислым газом воздушных масс во время сильных лесных пожаров и длительного горения торфяников [14–17], а также при местных пожарах и палах сухой травы. В этих случаях при смене направления ветра концентрация CO_2 быстро уменьшалась.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

В дальнейшем анализе рассматриваются климатически значимые средние месячные величины концентрации CO_2 ($C_{\text{срм}}$, млн⁻¹; 1 на рис. 3), вычисленные как средние значения по данным измерений в течение месяца за исключением данных, полученных в условиях температурной инверсии и во время пожаров (4 на рис. 1). Далее из экспериментальных данных в каждом месяце выбираются самые минимальные величины кон-

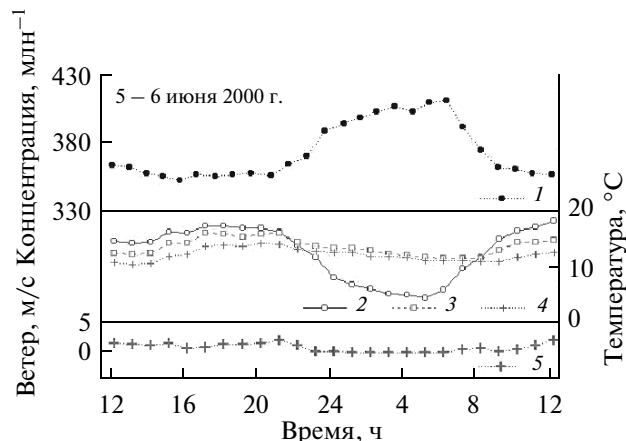


Рис. 2. Рост концентрации CO_2 при инверсии температуры (1 – концентрация, 2–4 – температура на высотах 2, 120 и 300 м, 5 – скорость ветра).

центрации CO_2 ($C_{\text{мин}}$, млн⁻¹; 2 на рис. 3). Можно, так же как и в [12, 15, 18, 19], полагать, что $C_{\text{мин}}$ в наибольшей степени определяются естественными причинами.

При анализе роста CO_2 за длительный период в [6] показано, что антропогенная добавка увеличивается экспоненциально, следуя за увеличением человеческой популяции, с которой коррелирует увеличение хозяйственной активности человечества. На коротком временном интервале 16 лет эту зависимость можно в пределах погрешностей заменить линейной:

$$C_{\text{лтр}} = C_0 + Bt/12, \quad (1)$$

где $C_{\text{лтр}}$, млн⁻¹ – концентрация CO_2 в заданный месяц t , t – порядковый номер месяца измерений;

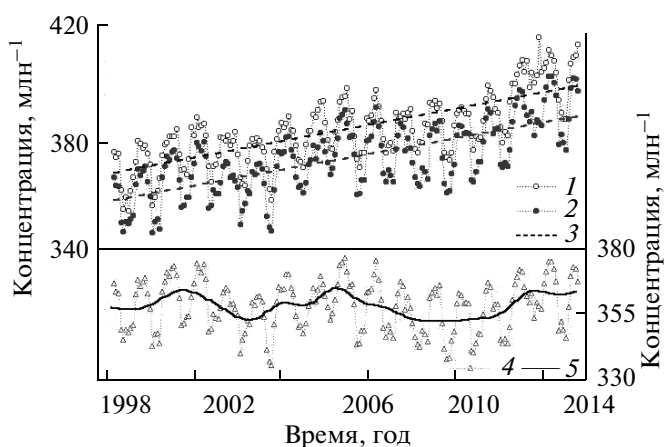


Рис. 3. Средние месячные (1), минимальные (2) концентрации CO_2 и их линейные тренды (3); фоновые (4) и сглаженные фоновые (5) концентрации CO_2 .

Таблица 1. Характеристики линейного тренда концентрации CO₂ с февраля 1998 по январь 2014 г.

$C_{\text{лтр}}$	$C_0, \text{млн}^{-1}$	$B, \text{млн}^{-1} \text{ в год}$	$B\% \text{ в год}$	$t = 1$
$C_{\text{срм}}$	368.38 ± 1.29	2.076 ± 0.012	0.56 ± 0.03	Февраль 1998
$C_{\text{мин}}$	358.95 ± 1.43	1.996 ± 0.013	0.56 ± 0.03	Февраль 1998

$C_0, \text{млн}^{-1}$ – концентрация CO₂ при $t = 0$; $B, \text{млн}^{-1} \text{ в год}$ – показатель линейного тренда.

В табл. 1 для 192 месяцев наблюдений приведены характеристики линейного тренда для $C_{\text{срм}}$ и $C_{\text{мин}}$, из которых следует, что линейный тренд $C_{\text{срм}}$ и $C_{\text{мин}}$ одинаков и близок к среднему глобальному за рассматриваемый период [7]. Это может служить дополнительным аргументом в пользу антропогенного происхождения постоянного положительного тренда CO₂. Если теперь исключить из минимальных концентраций $C_{\text{мин}}$ трендовую составляющую ($Bt/12$), то разность будет практически полностью определять региональные фоновые концентрации CO₂ ($C_{\text{ф}}, \text{млн}^{-1}$; 4 на рис. 3) в месте наблюдений. А разность $C_{\text{срм}}$ и $C_{\text{ф}}$ представляет антропогенную добавку.

Сезонные вариации фоновых концентраций CO₂.

На рис. 3 так же приведены характеризующие изменения от года к году “сглаженные” (т.е. с исключенными по методике [20] сезонными вариациями) концентрации CO₂ ($C_{\text{сг}}, \text{млн}^{-1}$; 5 на рис. 3). Они показывают, что в изменениях фоновых концентраций прослеживаются помимо сезонных и другие вариации с периодами больше года (>12 мес).

Для оценки параметров сезонных вариаций CO₂, обусловленных в основном сезонными изменениями его обмена между атмосферой и биотой, из фоновых значений $C_{\text{ф}}$, вычтены $C_{\text{сг}}$, т.е. исключены изменения с периодами больше года и

получены чисто сезонные внутригодовые вариации ($C_{\text{сез}}, \text{млн}^{-1}$). На рис. 4 они представлены вместе с усредненным за период наблюдений годовым сезонным ходом CO₂. Из рис. 4 видно, что максимумы и минимумы сезонных вариаций CO₂ чаще всего приходятся соответственно на февраль и июль, что типично для средних широт Северного полушария Земли. Средняя амплитуда $C_{\text{сез}}$ составляет $(20.1 \pm 3.8) \text{млн}^{-1}$ при средней за период измерений фоновой концентрации: $(357.2 \pm 8.1) \text{млн}^{-1}$.

На рис. 4 приведена так же средняя месячная температура, а в табл. 2 – отрицательные коэффициенты ее парной корреляции с значениями $C_{\text{срм}}, C_{\text{мин}}, C_{\text{ф}}, C_{\text{сез}}$. Наибольший по модулю коэффициент корреляции с сезонными изменениями температуры имеют изменения $C_{\text{сез}}$.

Коэффициент вариации (процентное отношение стандартного отклонения к среднему значению) для $C_{\text{сез}}$ составляет 2.1%, что указывает на определенную консервативность естественной сезонной изменчивости CO₂.

Спектральные характеристики фоновой концентрации CO₂. Спектры $C_{\text{ф}}, C_{\text{сг}}$ и $C_{\text{сез}}$ вычислены при помощи классического Фурье-анализа [21] при искусственном многократном удлинении временного ряда экспериментальных данных, что позволило выявить дополнительно некоторые длиннопериодные колебания (рис. 5).

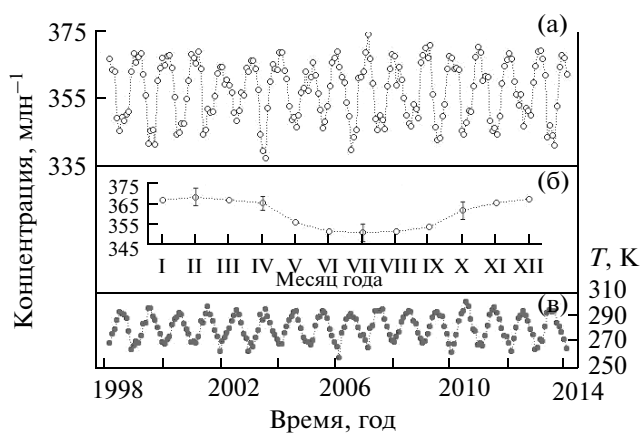


Рис. 4. Сезонные вариации (а) и средний сезонный ход концентрации CO₂ (б) (вертикальные отрезки – диапазоны изменений концентрации в течение месяца), сезонные вариации температуры (в).

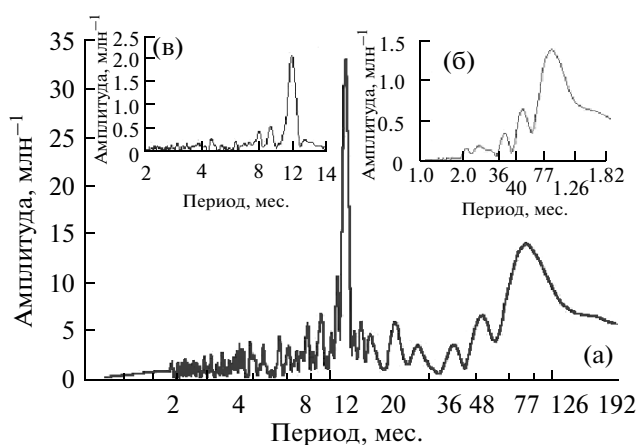


Рис. 5. Спектр колебаний концентраций CO₂. (а – фоновых, б – сглаженных, в – сезонных).

Таблица 2. Коэффициенты корреляции температуры и концентрации CO_2

$C_{\text{срм}}$	$C_{\text{мин}}$	$C_{\text{ф}}$	$C_{\text{сез}}$
-0.48	-0.54	-0.78	-0.85

Полученные периоды составных колебаний не противоречат литературным данным (например, [22–27]), где они соотносятся с различными известными гелиогеофизическими явлениями.

Частотно-временную динамику колебаний фоновой концентрации CO_2 , полученную при помощи вейвлет-преобразований [28], демонстрирует рис. 6. Из приведенных на нем данных видно, что не все выявленные составные колебания CO_2 являются чисто гармоническими функциями со стабильными во времени периодами и амплитудами, но отклонения от гармоничности невелики.

Колебания с $P_i = 3–19$ месяцев характеризуют сезонные изменения. Фаза годового (12 мес.) ко-

лебания в основном стабильна, а его амплитуда, превосходящая амплитуды остальных колебаний, непостоянна. Это колебание определяет примерно 80% изменчивости концентрации CO_2 . Фазы и амплитуды колебаний с периодами от 3 до 11 месяцев нестабильны. Амплитуды пульсируют, и различие в их величинах может достигать 2-х раз. Большие амплитуды повторяются примерно через 2–3 года. Кроме того, в этом интервале спектра (рис. 5) виден также ряд слабоинтенсивных колебаний, имеющих сложную структуру и внешне схожий со спектром случайных флуктуаций концентрации CO_2 , вызываемых сменой воздушных масс в месте наблюдения с периодами меньше месяца. Характер изменений амплитуд колебаний с периодами от 13 до 19 месяцев примерно подобен 12-месячному. Фазы этих колебаний в основном стабильны, только в 2001–2002 и 2004 г. имело место нарушение фаз 11- и 15-месячных колебаний.

Фазы 20- и 48-месячных колебаний стабильны за исключением нарушения фаз в 2008 и 2009 гг. у

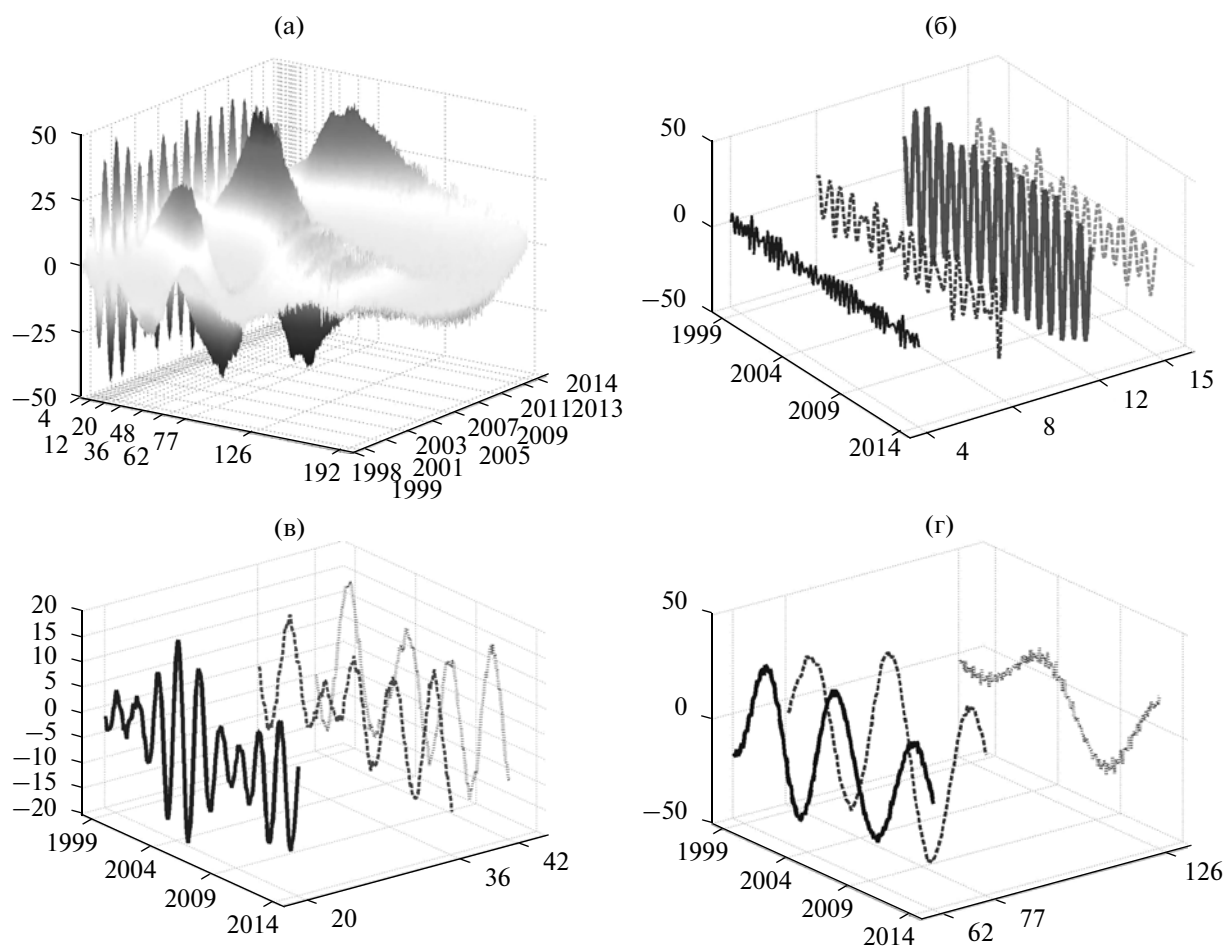


Рис. 6. Частотно-временная изменчивость концентрации CO_2 (а – фоновая, б, в и г – отдельные составные колебания фоновой концентрации. Вертикальные шкалы – амплитуды колебаний, отн. ед.).

Таблица 3. Параметры составных колебаний

$C_0 = 358.102 \pm 0.051$					
P_i	A_i	Ψ_i	P_i	A_i	Ψ_i
3 ± 0.5	0.69 ± 0.3	0.34 ± 0.5	16 ± 1	0.97 ± 0.4	2.53 ± 0.4
4 ± 0.5	1.23 ± 0.3	2.29 ± 0.3	19 ± 1	0.49 ± 0.3	0.53 ± 0.3
5 ± 0.5	1.44 ± 0.3	-3.03 ± 1.6	20 ± 2	1.52 ± 0.5	2.07 ± 0.4
6 ± 0.5	0.48 ± 0.3	0.78 ± 0.3	24 ± 2	1.36 ± 0.4	0.35 ± 0.3
8 ± 0.5	1.72 ± 0.3	1.84 ± 0.2	30 ± 2	1.00 ± 0.4	-0.19 ± 0.5
9 ± 0.5	1.29 ± 0.3	0.47 ± 0.8	36 ± 3	2.17 ± 0.5	0.59 ± 0.4
11 ± 1	1.09 ± 0.4	-0.94 ± 0.4	42 ± 3	2.71 ± 0.9	-0.05 ± 0.5
12	10.84 ± 0.4	-0.09 ± 0.1	48 ± 3	1.48 ± 1.0	-1.09 ± 0.9
13 ± 1	0.56 ± 0.4	-1.58 ± 0.8	62 ± 6	2.41 ± 1.0	-1.91 ± 0.4
14 ± 1	0.93 ± 0.4	0.95 ± 0.4	77 ± 5	5.47 ± 0.7	-2.20 ± 0.2
15 ± 1	0.48 ± 0.4	1.06 ± 0.7	126 ± 6	2.69 ± 0.6	2.82 ± 0.2

42-месячного колебания. Амплитуды этих колебаний несколько возрастают в 2004–2006 гг. Относительно стабильны фазы и амплитуды 62- и 77-месячных колебаний. Параметры 126-месячного колебания стабильны.

Модель временных изменений концентрации CO_2 . Для аппроксимации временных изменений концентраций CO_2 использована модель Райса [20]:

$$C_m(t) = C_{лтр} + \sum A_i \cos(2\pi t / P_i + \Psi_i), \quad (2)$$

где $C_m(t)$ – концентрация CO_2 в заданный месяц t , $t = 1$ – февраль 1998 года; $C_{лтр}$ – линейный тренд минимальных CO_2 (табл. 1).

Параметры основных составных колебаний: период (P_i , мес.), амплитуда (A_i , $млн^{-1}$) и сдвиг фазы (Ψ_i) вычислялись мультирегрессионным методом по экспериментальным данным. В качестве первого приближения использовались значения полученных в Фурье-анализе периодов. Сначала вычислялись параметры самого большого 12-месячного колебания, а потом, исключив его, снова уточнялись периоды колебаний при помощи Фурье-анализа и вычислялись параметры следующего, наибольшего колебания и так далее. В завершение для дальнейшего уточнения параметров рассчитывалась сумма сразу всех колебаний. Вычисленные параметры колебаний приведены в табл. 3.

Для расчета по (2) минимальных концентраций $C_{мин}$ используются параметры CO_2 из табл. 3 и тренд из табл. 1, а для описания региональных фоновых $C_ф$ из вычисленных $C_{мин}$ вычитается трендовая составляющая ($Bt/12$) из (1).

Для описания изменений C_t и $C_{сез}$ достаточно использовать такой же расчет, как для $C_ф$, но с параметрами колебаний с $P_i \geq 20$ мес. и с $P_i \leq 20$ мес. соответственно.

Погрешность расчета для всех видов концентрации составила около ~ 3 $млн^{-1}$. Такое согласие данных измерений и модели (рис. 7) свидетельствует о том, что изменения фоновых концентраций CO_2 в приземном слое атмосферы в основном обусловлены известными периодическими геофизическими явлениями. Некоторые отличия в отдельные годы измеренных концентраций CO_2 от расчетов, вероятно, связаны, в первую очередь, с влиянием неперiodических геофизических явлений, а также, возможно, с неполным исключением антропогенной добавки.

АНТРОПОГЕННАЯ ДОБАВКА

Антропогенная добавка CO_2 в атмосферу (АД, $млн^{-1}$ – разность между $C_{срм}$ и $C_ф$), показанная на

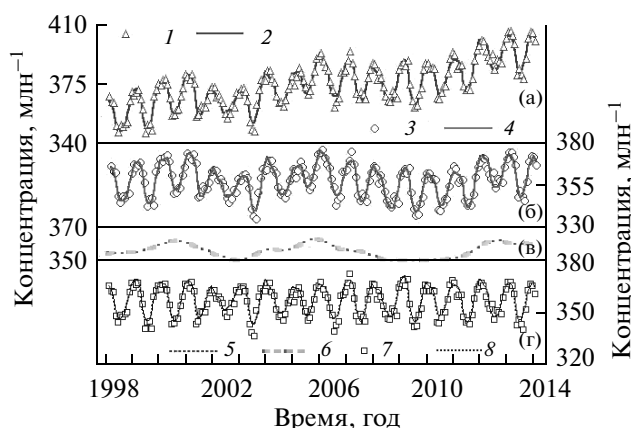


Рис. 7. Измеренные и рассчитанные средние месячные концентрации CO_2 : минимальные (а, 1 и 2), фоновые (б, 3 и 4), сглаженные фоновые (в, 5 и 6), сезонные (г, 7 и 8). (Нечетные – экспериментальные, четные – расчетные).

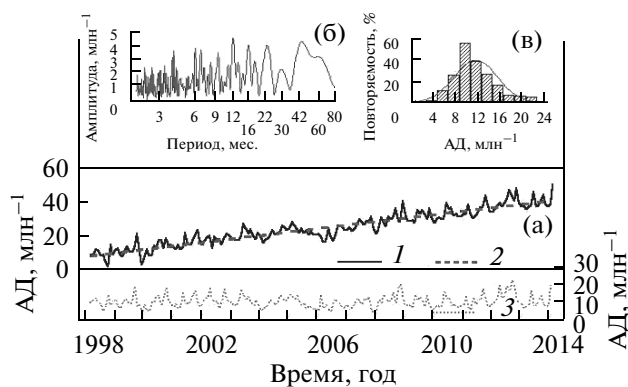


Рис. 8. Характеристики антропогенной добавки CO_2 : Величины АД – 1, линейный тренд – 2 и их разность – 3.

рис. 8, состоит из постоянно растущей случайной компоненты. Рост описывается линейной регрессией:

$$\text{АД} = (9.43 \pm 0.52) + (0.17 \pm 0.05)t, \quad (3)$$

где t – порядковый номер месяца с начала измерений.

В линейном приближении за 16 лет наблюдений антропогенная добавка CO_2 увеличилась на $\sim 33 \text{ млн}^{-1}$ при средней скорости роста $\sim 2.04 \text{ млн}^{-1}$ в год.

Вид спектра колебаний (рис. 8б) и функция распределения величин АД (рис. 8в) указывают на случайный характер изменений величин АД (3 на рис. 8а). Распределение величин АД близко к нормальному распределению: величины среднего значения (10.86 млн^{-1}), медианы (10.20 млн^{-1}) и моды (9.5 млн^{-1}) согласуются в пределах погрешностей. Небольшая вытянутость распределения АД в сторону больших значений определяется, скорее всего, увеличением эмиссии CO_2 за счет усиления отопления в холодное время года. Коэффициент вариации величин АД составляет $\sim 36\%$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты мониторинга концентрации CO_2 в пробах приземного воздуха методом Фурье-спектроскопии в европейской части России показали, что временные изменения концентрации CO_2 складываются из $\sim 18\%$ относительно высоких, кратковременно существующих концентраций, возникающих при температурной инверсии и пожарах, и $\sim 80\%$ концентраций, включающих фоновую составляющую и антропогенную добавку. Полагая, что минимальные значения измеряемых концентраций CO_2 обусловлены в основном естествен-

ными причинами, данные измерений разделены на региональные фоновые концентрации CO_2 и антропогенную добавку.

Фоновое содержание CO_2 формируется в основном равновесным обменом CO_2 между атмосферой и биосферой и изменяется в зависимости от внешних, как правило, периодических гелиогеофизических условий. На него накладывается антропогенная добавка, состоящая из растущих выбросов CO_2 индустриального происхождения.

Максимумы и минимумы сезонных вариаций концентрации CO_2 типичны для средних широт Северного полушария Земли. Средняя амплитуда сезонных вариаций в годовом цикле составляет $(20.1 \pm 3.8) \text{ млн}^{-1}$. Коэффициент парной корреляции сезонных концентрации CO_2 с температурой равен -0.85 . Изменениям сезонной концентрации присущ определенный консерватизм, её коэффициент вариаций 2.1% .

Спектральный анализ выявил большое количество составных колебаний вариаций фоновой концентрации CO_2 с периодами от 2 до 126 месяцев. Величины полученных периодов не противостоят многочисленным литературным данным. Простая модель с использованием параметров этих колебаний хорошо описывает временные изменения фоновой концентрации CO_2 , свидетельствуя о том, что изменения фоновой концентрации CO_2 в приземном слое атмосферы в основном обусловлены известными естественными гелиогеофизическими явлениями. Однако надежная привязка составных колебаний к вариациям других геофизических явлений встречает определенные трудности. Для многопараметрической нелинейной системы, какой является атмосфера, характерные времена развития и затухания пульсаций атмосферных параметров связаны с релаксационными процессами, что отражается в определенной нестабильности фаз и амплитуд составных колебаний, а также в значительной дисперсии данных наблюдений.

Антропогенная добавка CO_2 в атмосферу в целом состоит из постоянно растущих случайно изменяющихся величин с коэффициентом вариации $\sim 36\%$. В линейном приближении антропогенная добавка CO_2 за 16 лет увеличилась на $\sim 33 \text{ млн}^{-1}$ при средней скорости роста $\sim 2.04 \text{ млн}^{-1}$ в год.

Авторы выражают благодарность коллегам из ФБГУ “НПО “Тайфун” за участие в измерениях и обработке их результатов (лаборатория “Исследования газового и аэрозольного состава атмосферы”) и за предоставление данных измерений

метеопараметров на ВММ (лаборатория “Физика пограничного слоя атмосферы и тропической метеорологии”).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 14-05-00113).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Keeling C.D., Harris T.B., Wilkins E.M. Concentration of atmospheric carbon dioxide at 500 and 700 millibars // J. Geophys. Res. 1968. V. 73. № 14. P. 4511–4528.
2. Bolin B., Bischof W. Variations of the carbon dioxide content of the atmosphere in the Northern Hemisphere // Tellus. 1970. V. 22. № 4. P. 431–442.
3. Антропогенные изменения климата / Под ред. Будыко М.И., Израэль Ю.А. Л.: Гидрометеоздат, 1987. 405 с.
4. МГЭИК, 2007: Изменение климата, 2007 г.: Обобщающий доклад. Вклад рабочих групп I, II и III в Четвертый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата / Под ред. Пачаури Р.К., Райзингера А. и др. Женева: МГЭИК, 104 с.
5. Canadel J.G., Le Quere C., Raupach M.R. et al. Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks // Proc. of the National Academy of Sciences. 2007. V. 104. № 47. P. 18866–18870. 10.1073/pnas.0702737104.
6. Hofmann D.J., Butler J.H., Tans P.P. A new look at atmospheric carbon dioxide // Atmos. Envir. 2009. V. 43. № 12. P. 2084–2086.
7. NOAA/ESRL. <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/>.
8. Арефьев В.Н., Баранов Ю.И., Баранова Е.Л. и др. Изменчивость содержания метана в приземном слое и в толще атмосферы // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2004. Т. 40. № 3. С. 403–409.
9. Кашин Ф.В. Результаты измерений углекислого газа в пограничном слое атмосферы в Обнинске. – Международный симпозиум стран СНГ “Атмосферная радиация и динамика” (МСАРД – 2009) 22–26 июня 2009 г. Тез. докл. СПб. 47 с.
10. Акименко Р.М., Арефьев В.Н., Баранов Ю.И. и др. Окись углерода в приземном воздухе (станция мониторинга Обнинск) // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2010. Т. 46. № 1. С. 33–39.
11. Kashin F.V. Variations of CO₂ mixing ratios in the air near the ground in the European territory of Russia // J. Envir. Sci. Engineer. A. 2013. V. 2. № 9. P. 531–536.
12. Иванов В.Н. Использование высотной метеорологической мачты ИЭМ для изучения пограничного слоя атмосферы // Труды ИЭМ. Вып. 12. М.: Гидрометеоздат, 1970. 144 с.
13. <http://typhoon-tower.obninsk.org/ru/>.
14. Page S., Siegert F., Rieley J. et al. The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997 // Nature. 2002. V. 420 (6911). P. 61–65.
15. Воробьев Ю.Л. Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы / Под ред. Ю.Л. Воробьева. М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2004. 312 с.
16. Глобальный центр мониторинга пожаров, г. Фрайбург, Германия. <http://www/fire/uni-freiburg/de/current/globalfire/>.
17. Еланский Н.Ф., Мохов И.И., Беликов И.Б. и др. Газовый состав атмосферного воздуха в г. Москве в экстремальных условиях лета 2010 г. // ДАН. 2010. 437. № 1. С. 90–96.
18. Виноградова А.А., Федорова Е.И., Беликов И.Б. и др. Временные изменения концентрации углекислого газа и метана в городских условиях // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2007. Т. 43. № 5. С. 651–663.
19. Кашин Ф.В., Парамонова Н.Н., Привалов Н.И. Результаты мониторинга концентраций углекислого газа и метана в приземном воздухе в Антарктиде на станции Новолазаревская в 2007–2009 гг. // Метеорологические и геофизические исследования / Под ред. Алексеева Г.В. М.: Paulsen, 2011. 352 с.
20. Thoning K.W., Tans P.P., Komhyr W.D. Atmospheric carbon dioxide at Mauna Loa Observatory. 2. Analysis of the NOAA GMCC data, 1974–1985 // J. Geophys. Res. 1989. V. 94. № D6. P. 8549–8565.
21. Рожков В.А. Теория вероятностей случайных событий, величин и функций с гидрометеорологическими примерами. Кн I. СПб.: Прогресс-Погода, 1996. 156 с.
22. Borisenkov Ye.P., Tsvetkov A.V., Eddy J.A. Combined effect of Earth orbit perturbations and Solar activity on terrestrial insolation // J. Atm. Sci. 1985. V. 42. № 9. P. 933–940.
23. Keeling C.D., Whorf T.P., Wahlen M. van der Plicht J. Interannual extremes in the rate of rise of atmospheric carbon dioxide since 1980 // Nature. 1995. V. 375(6533): P. 666–670.
24. Монин А.С., Шишков Ю.А. О пятилетней цикличности глобальной погоды // ДАН. 1998. Т. 358. № 3. С. 395–398.
25. Rivin Yu.R. The 22-year cycle of geomagnetic activity // Intern. J. Geom. Aeron. 1999. V. 1. № 2. P. 111–116.
26. Иванов В.В. Периодические колебания погоды и климата // УФН. 2002. Т. 172. № 7. С. 777–811.
27. Labitzke K. The global signal of the 11-year sunspot cycle in the atmosphere: when do we need the QBO? // Meteor. Zeitschr. 2003. V. 12. № 4. P. 209–216.
28. Чуи Ч.К. Введение в вэйвлеты. М.: Мир, 2001. 416 с.

BACKGROUND COMPONENT OF CARBON DIOXIDE CONCENTRATION IN THE NEAR-SURFACE AIR

V. N. Aref'ev, N. E. Kamenogradskii, F. V. Kashin, and A. V. Shilkin

Taifun Research and Production Company, Kaluga oblast, Obninsk, Russia

e-mail: nikita@rpatyphoon.ru

Received April 2, 2014; in revised form May 22, 2014

Abstract—The data on measurements of carbon dioxide concentrations in the near-surface air in the territory of the European part of Russia using Fourier transform spectroscopy are presented. Analysis of these data showed that temporal variations in CO₂ concentrations included ~18% of relatively high, short-lived concentrations that appear during temperature inversions and fires. The measurement results are separated into the regional natural background CO₂ concentration and the anthropogenic admixture. The seasonal component is distinguished in the background CO₂ concentration. The maximums and minimums of seasonal CO₂ variations fall most often within February and July, respectively, at an average amplitude of 20.2 ± 3.8 ppm. The coefficient of pair correlation between seasonal CO₂ concentrations and temperature is -0.85 . Spectral analysis revealed a large number of composite oscillations of the background CO₂ concentration, from 2 to 126 months in period. A simple model using the parameters of these oscillations describes the temporal variations in background CO₂ concentration with an error of less than 1%. The anthropogenic admixture of CO₂ into the atmosphere consists of a random component and a long-term trend. For 13 years of observations, the anthropogenic admixture was ~33 ppm at an average growth rate of ~2.04 ppm/yr.

Keywords: atmosphere, carbon dioxide, concentration, background addition, seasonal addition, anthropogenic admixture