

УДК 551.510.5

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

© 2015 г. В. Н. Арефьев, Р. М. Акименко, **Ф. В. Кашин**, Л. Б. Упэнэк

Научно-производственное объединение “Тайфун”,

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

E-mail: vnaref@rpatyphoon.ru

Поступила в редакцию 26.11.2014 г., после доработки 28.01.2015 г.

Представлены данные измерений с февраля 1998 по январь 2014 гг. объемной концентрации метана в пробах приземного воздуха методом Фурье-спектроскопии. При исключении результатов единичных измерений повышенных концентраций метана, возникающих при температурной инверсии и при пожарах, проведено разделение средних месячных концентраций на региональную естественную фоновую концентрацию метана и его антропогенную добавку. Из фоновой выделена сезонная концентрация. Спектральный анализ выявил большое количество составных колебаний вариаций фоновой концентрации метана с периодами от 3 до 126 месяцев. Модель с использованием эмпирических параметров этих колебаний описывает временные изменения концентрации метана с погрешностью менее 3%. Антропогенная добавка CH_4 в атмосферу имеет в основном случайный характер. За 16 лет наблюдений ее рост составил ~ 23.7 млрд $^{-1}$, что привело к увеличению общей концентрации CH_4 на ту же величину.

Ключевые слова: атмосфера, метан, концентрация, фоновая, сезонная, антропогенная.

DOI: 10.7868/S0002351515060036

ВВЕДЕНИЕ

Атмосферный метан (CH_4) – главный органический газовый компонент атмосферы Земли относится к числу парниковых газов, определяющих температурный режим атмосферы. В толще атмосферы он экспериментально был зарегистрирован спектрометрическим методом в середине XX века [1]. В атмосферу метан поступает из разных природных (естественных) и антропогенных источников. Естественными источниками являются болота, тундра, водоемы, насекомые (главным образом термиты), метангидраты и некоторые геохимические процессы, а антропогенными – рисовые поля, шахты, животные, потери при добыче газа и нефти, горение биомассы, свалки, выхлопы автомобилей. Удаление метана из атмосферы естественным путем происходит главным образом в реакции с радикалом OH. Часть метана исчезает в разнообразных химических и фотохимических процессах, а также поглощается почвенными микроорганизмами [2–5].

Анализ концентрации метана в пузырьках воздуха из кернов льда позволил проследить изменения его содержания за сотни тысяч лет [6, 7]. С середины XVIII века средняя глобальная атмосферная концентрация метана стала возрастать с ~ 700 млрд $^{-1}$ и к настоящему времени достигла 1800–1900 млрд $^{-1}$

[8–10]. Рост коррелирует с увеличением сельскохозяйственной и промышленной деятельности человека, в процессе которых выделяется метан [11]. Таким образом, атмосферный метан состоит из метана естественного и антропогенного происхождения, изменяющихся во времени и в пространстве [2, 5, 11].

В настоящей статье представлены результаты разделения на естественную и антропогенную части данных мониторинга CH_4 , который проводился на научно-исследовательской станции “Обнинск” (OBN) Федерального Государственного бюджетного учреждения “Научно-производственное объединение “Тайфун”. Станция расположена в 105 км на юго-запад от Москвы в городе Обнинске (55.1° N, 36.9° E, 186 м над ур. моря), где при населении около 110 тысяч человек отсутствуют крупные промышленные источники загрязнения атмосферы.

ТЕХНОЛОГИЯ МОНИТОРИНГА МЕТАНА

Концентрация метана в пробах воздуха определялась методом инфракрасной абсорбционной спектроскопии по поглощению излучения в интервале спектра с волновыми числами от 2940 до 3110 см $^{-1}$, содержащем полосу поглощения мета-

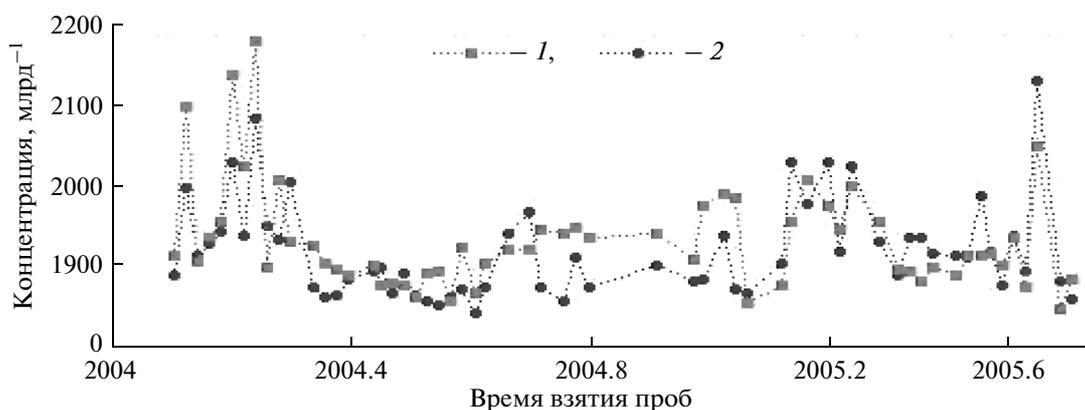


Рис. 1. Результаты измерений в концентрации метана в одних и тех же пробах воздуха: 1 — OBN, 2 — ESRL.

на ν_3 . Аппаратурный комплекс состоит из Фурье-спектрометра и оптической многоходовой кюветы [12, 13].

Концентрация CH_4 находилась сопоставлением экспериментального спектра с рассчитанным для условий эксперимента с использованием параметров линий поглощения метана из базы данных HITRAN [14]. Среднеквадратическое отклонение экспериментального спектра от рассчитанного минимизировалось варьированием концентрации CH_4 в расчетах спектра. Случайная погрешность измерений концентрации CH_4 в пробе воздуха составляет 10 млрд^{-1} [12, 13].

Контроль концентрации метана в разных местах земли проводится на национальных пунктах наблюдений [13, 15–20] и станциях мониторинга Глобальной службы атмосферы Всемирной метеорологической организации (GAW WMO) под методическим руководством NOAA ESRL (The NOAA Earth System Research Laboratory, NOAA, USA) [21]. В рамках проекта CRDF № RG1-2374-OB-02 (2004–2005 гг.) были осуществлены измерения концентрации CH_4 в одних и тех же пробах воздуха в Обнинске и в ESRL. Результаты этих измерений (рис. 1) согласуются удовлетворительно: среднее квадратичное отклонение измерений в 61 пробе составило $\sim 3\%$, а средние значения совпадают в пределах погрешностей единичных измерений ($1929 \pm 66 \text{ млрд}^{-1}$ — OBN и $(1917 \pm 60 \text{ млрд}^{-1})$ — ESRL).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Результаты измерений концентрации CH_4 в пробах приземного воздуха за период с февраля 1998 по январь 2014 г. представлены на рис. 2. Среди более 17 тысяч исследованных проб воздуха примерно в 18% проб наблюдаются концентрации CH_4 повышенные относительно соседних. Примерно 1.6% таких проб (2 на рис. 2) отмечены в теплые пери-

оды ряда лет во время прихода к месту наблюдений воздушных масс при лесных пожарах и горении торфяников [22]. При смене направления ветра концентрация CH_4 быстро уменьшалась до “нормальных” для этого периода величин. Кроме того, возникновение повышенных концентраций ($\sim 16.4\%$ проб; 3 на рис. 2) происходило при слабом ветре в условиях приземной температурной инверсии, препятствующей вертикальному перемешиванию воздуха и способствующей увеличению содержания CH_4 в приземном слое. На рис. 3 приведен характерный пример изменений концентрации CH_4 при слабом ветре ($1.3 \pm 1.0 \text{ м/с}$) и инверсии температуры, которые контролировались на Высотной метеорологической мачте [23] на высотах 2, 120 и 300 м). Увеличение концентрации CH_4 может достигать десятков процентов, но существует короткое время и быстро уменьшается до “нормальной” величины при разрушении инверсии.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

В дальнейшем анализе рассматриваются климатически значимые средние месячные величины концентрации CH_4 (рис. 4). Для их вычисления, прежде всего, из исходных данных единичных измерений (1 рис. 2) исключаются существующие короткое время и не имеющие климатического значения данные, полученные в условиях температурной инверсии и во время пожаров (2 и 3 рис. 2). По вновь полученным данным (4 рис. 2) в каждом месяце вычисляются средние арифметические месячные величины CH_4 ($C_{\text{срм}}$, млрд^{-1} ; 1 рис. 4) и следуя [13, 24–26], выбираются самые минимальные концентрации CH_4 ($C_{\text{мин}}$, млрд^{-1} ; 2 рис. 4), которые, можно полагать, в наибольшей степени определяются естественными, а не антропогенными причинами. Далее $C_{\text{мин}}$ принимаются за минимальные месячные величины концентрации CH_4 .

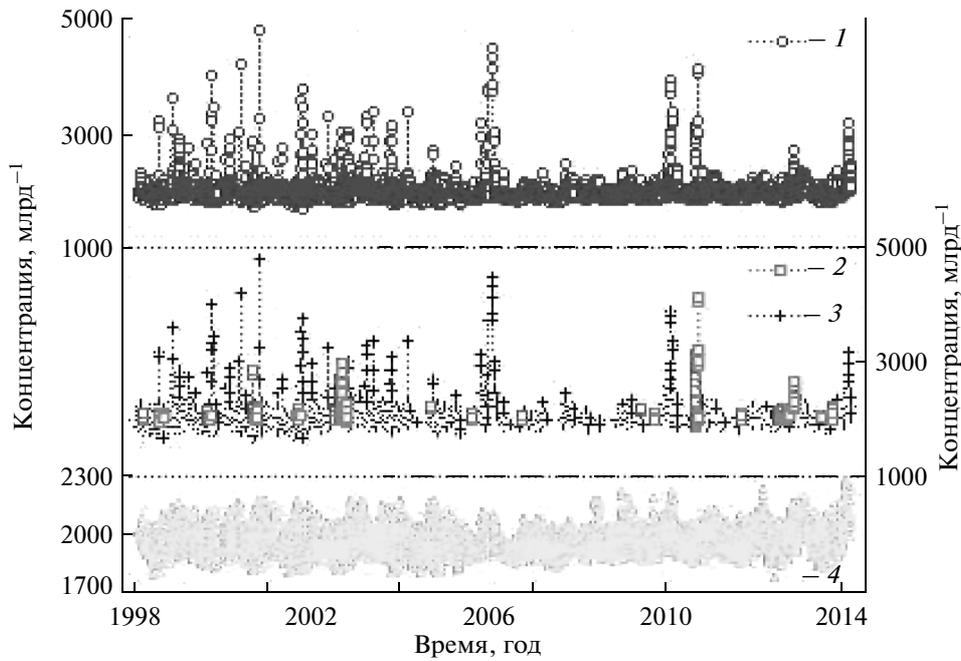


Рис. 2. Концентрация метана в пробах приземного воздуха: 1 – все исходные значения, 2 – при пожарах, 3 – при температурной инверсии, 4 – при отсутствии инверсии и пожаров.

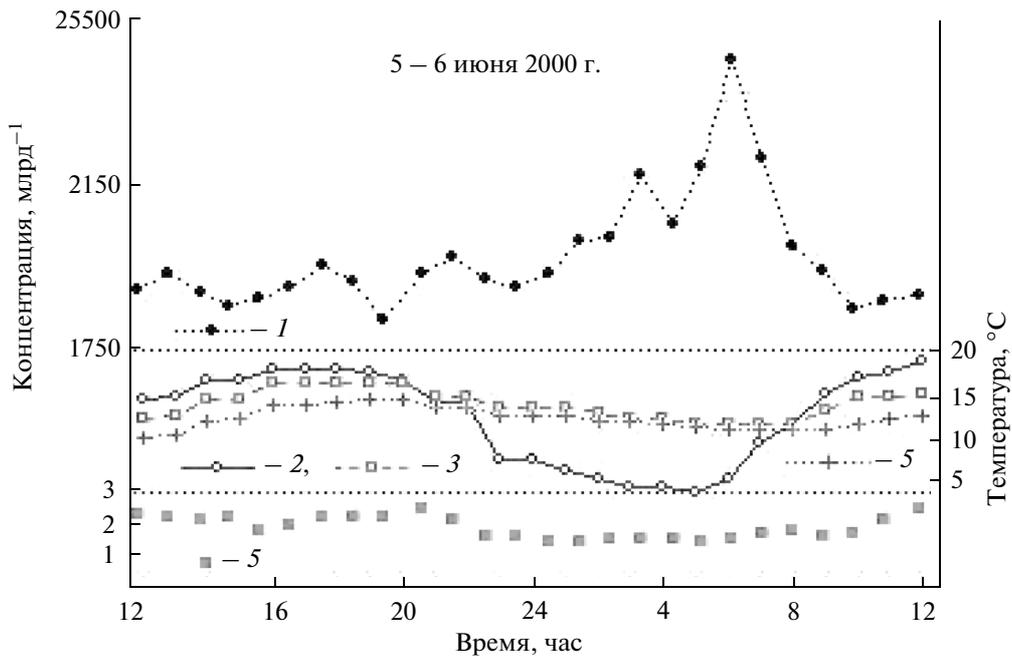


Рис. 3. Концентрация метана при инверсии температуры: 1 – концентрация, 2 - 4 – температура на высотах 2, 120 и 300 м, 5 – скорость ветра.

Погрешности $C_{срм}$ и $C_{мин}$ не превышают 0.05 и 0.5% соответственно.

Средние месячные и минимальные величины CH_4 включают антропогенный тренд, растущий экспоненциально, следуя за увеличением хозяй-

ственной деятельности человечества [4, 27]. На коротком временном интервале 16 лет эту экспоненциальную зависимость можно в пределах погрешностей заменить линейной:

$$C_{лтр} = C_0 + Bt, \quad (1)$$

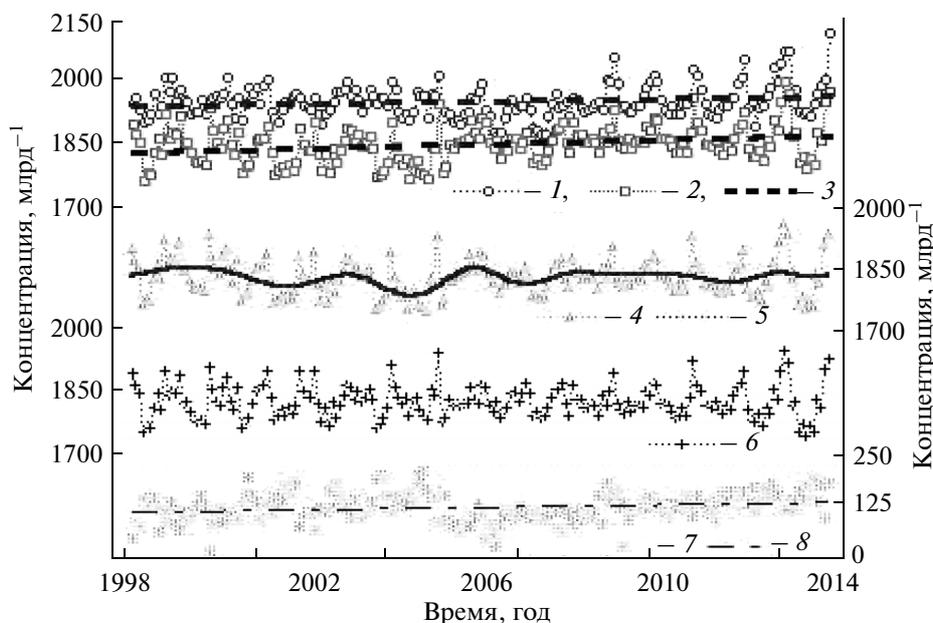


Рис. 4. Концентрация метана: 1 – средние месячные, 2 – минимальные, 3 – их линейные тренды; 4 – фоновые, 5 – сглаженные годовые, 6 – сезонные; 7 – антропогенная добавка и 8 – ее линейный тренд.

где $C_{\text{лтр}}$, млрд⁻¹ – концентрация CH₄ в заданный месяц t , t – порядковый номер месяца измерений; C_0 , млрд⁻¹ – концентрация CH₄ при $t = 0$; B , млрд⁻¹ в мес – показатель линейного тренда.

Вычисленные параметры тренда (3 рис. 4) приведены в табл. 1. Если теперь из минимальных концентраций $C_{\text{мин}}$ исключить трендовую составляющую (Bt), то разность будет определять региональные средние месячные фоновые концентрации CH₄ ($C_{\text{ф}}$, млрд⁻¹; 4 на рис. 4) в месте наблюдений за период с 1998 г. А разность $C_{\text{срм}}$ и $C_{\text{ф}}$ представляет антропогенную добавку ($C_{\text{Ад}}$, млрд⁻¹; 7 рис. 4). В целом рис. 4 подтверждает известные факты наличия сезонных вариаций и положительного тренда CH₄ [11–13, 28–30]. За 16 лет наблюдений концентрация $C_{\text{срм}}$ в линейном приближении выросла на 23.7 млрд⁻¹ (~1.2%).

На рис. 4 также приведены характеризующие изменения CH₄ от года к году годовые (сглаженные для исключения сезонных вариаций по методике

[31]) концентрации CH₄ ($C_{\text{г}}$, млрд⁻¹; 5 на рис. 4). Они показывают, что в изменениях фоновых концентраций прослеживаются помимо сезонных и вариации с большими периодами.

Сезонные внутригодовые вариации фоновых концентраций CH₄ представляет разность $C_{\text{ф}}$ и $C_{\text{г}}$. На рис. 4 они приведены с прибавлением концентрации $C_{\text{г}}$ в начальный месяц измерений ($C_{\text{сез}}$, млрд⁻¹; 6 на рис. 4). Максимумы и минимумы сезонных вариаций CH₄ чаще всего приходятся соответственно на февраль и июль, что типично для средних широт Северного полушария Земли. Средняя амплитуда этих вариаций составляет 6.6% от средней за период измерений концентрации: (1831.9 ± 38.6) млрд⁻¹. Сезонные вариации CH₄ объясняются сезонными изменениями солнечной радиации, ведущими к изменениям мощности источников и стоков CH₄.

Спектральные характеристики концентрации CH₄ исследовались при помощи Фурье-анализа [32] и вейвлет-преобразований [33]. Фурье-ана-

Таблица 1. Параметры линейного тренда

C	C_0 , млрд ⁻¹	B , млрд ⁻¹ в мес.	B , млрд ⁻¹ в год	$B\%$ в год
$C_{\text{срм}}$	1943.6 ± 5.5	0.123 ± 0.052	1.5	0.08
$C_{\text{мин}}$	1832.1 ± 2.3	0.213 ± 0.020	2.6	0.14
$C_{\text{ф}}$	1831.9 ± 5.5	0.000 ± 0.054	–	–
$C_{\text{сез}}$	1831.9 ± 5.6	0.000 ± 0.050	–	–
$C_{\text{Ад}}$	111.4 ± 4.8	0.124 ± 0.043	1.5	1.33

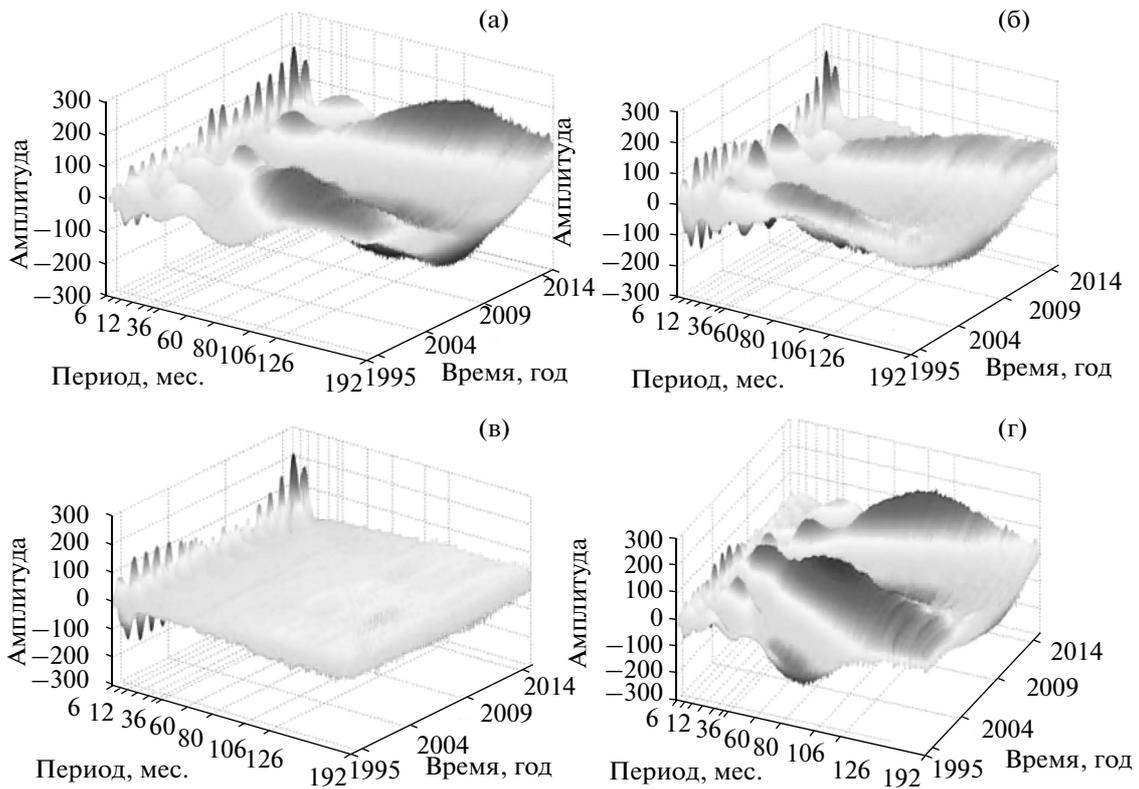


Рис. 5. Частотно-временные изменения концентрации CH_4 : а – среднемесячные, б – фоновые, в – сезонные, г – антропогенные.

лиз при десятикратном удлинении временного ряда данных измерений позволил вычислить первичный спектр C_Φ .

Частотно-временные изменения концентрации CH_4 , полученные при помощи вейвлет-преобразований, демонстрирует рис. 5. Из анализа рис. 4 и 5, следует, что в 2004–2008 г. наблюдаются фоновые и сезонные концентрации, пониженные относительно более высоких концентраций в остальные годы. Существует мнение, что это уменьшение обусловлено уменьшением мощности источников CH_4 из-за обустройства свалок в западных странах [4, 8].

Кроме того, из рис. 5 видно, что отдельные составные колебания не являются чисто периодическими функциями со стабильными периодами и амплитудами, хотя отклонения от гармоничности невелики.

Колебания с $P_i = 3–19$ месяцев обычно относят к сезонным вариациям. Амплитуды наибольшего по величине годового (12 мес) колебания фоновой и сезонной концентраций непостоянны по времени, а фазы в основном стабильны. Фазы и амплитуды колебаний с периодами от 3 до 11 месяцев нестабильны. Амплитуды пульсируют и большие амплитуды повторяются примерно через 2–3 года. Кроме того, они промодулированы случайными ко-

лебаниями слабой интенсивности с периодами меньше месяца. Изменения колебаний с периодами 13–19 месяцев примерно подобны 12-месячному.

Фазы 20–126-месячных колебаний в основном стабильны, а величины амплитуд меняются в небольших пределах.

Модель временных изменений концентрации CH_4 . Для аппроксимации временных изменений фоновой концентрации CH_4 использована модель Райса [34]:

$$C_m(t) = C_0 + \sum A_i \cos(2\pi t/P_i + \Psi_i),$$

где $C_m(t)$, млрд⁻¹ – концентрация CH_4 в заданный месяц t , $t = 1$ – февраль 1998 г., C_0 , млрд⁻¹ – концентрация CH_4 при $t = 0$.

Параметры составных колебаний: амплитуда (A_i), и сдвиг фазы (Ψ_i), вычислялись мультирегрессионным методом [32] по экспериментальным данным (табл. 2). В качестве первого приближения использовались значения полученных в Фурье-анализе периодов (P_i). 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 до тех пор, пока добавление нового колебания не станет

Таблица 2. Подгоночные параметры составных колебаний

P_i , мес.	A_i , млрд ⁻¹	Ψ_i , рад.	P_i , мес.	A_i , млрд ⁻¹	Ψ_i , рад.
3	1.92	-2.46	15	9.38	0.47
4	0.60	2.05	16	7.76	0.05
5	2.08	2.98	18	3.75	1.39
6	8.27	-0.18	21	4.32	0.76
8	2.46	2.90	29	11.12	-1.17
9	5.87	-0.42	36	12.77	2.56
10	3.81	2.09	41	9.19	-3.06
11	4.30	2.54	60	7.34	2.74
12	55.85	-0.13	80	18.18	2.14
13	15.17	0.85	106	45.22	0.70
14	9.25	-1.14	126	38.93	-1.28

$$C_0 = 1831.86 \text{ млрд}^{-1}$$

меньше погрешности. Найденные уточнения периоды P_i (табл. 2) не противоречат литературным данным [35–38], где они соотносятся с известными гелиогеофизическими факторами.

Для расчетов по (2) региональных фоновых средних месячных концентраций $C_{\text{ф}}$ используются все параметры CH_4 из табл. 2, а для средних годовых величин $C_{\text{г}}$ – параметры только с $P_i \geq 20$ мес. (рис. 6). Для описания сезонных временных изменений $C_{\text{сез}}$ достаточно использовать (2) с $P_i \leq 20$ мес. Минимальные концентрации $C_{\text{мин}}$ могут быть вычислены добавлением к $C_{\text{ф}}$ трендовой составляющей (Bt) из (1). Погрешности расчета для всех видов концентрации составила не более ~1%.

Антропогенная добавка. Антропогенная добавка метана в атмосферу ($C_{\text{Ад}}$; 7 на рис. 4) в целом растет и описывается линейной регрессией (табл. 1; 8 на рис. 4). В линейном приближении за 16 лет наблюдений $C_{\text{Ад}}$ увеличилась, как и $C_{\text{срм}}$, на ~23.7 млрд⁻¹ при совпадающей скорости 1.5 млрд⁻¹ в год (табл. 1).

Функция распределения $C_{\text{Ад}}$ близка к нормальной: среднее значение, медиана и мода соответственно равны 123.6, 122.8 и 117.7 млрд⁻¹, т.е. практически совпадают в пределах погрешности, свидетельствуя в пользу случайного характера вариаций $C_{\text{Ад}}$.

Спектр колебаний $C_{\text{Ад}}$ сложный. В короткопериодной части он носит случайный характер.

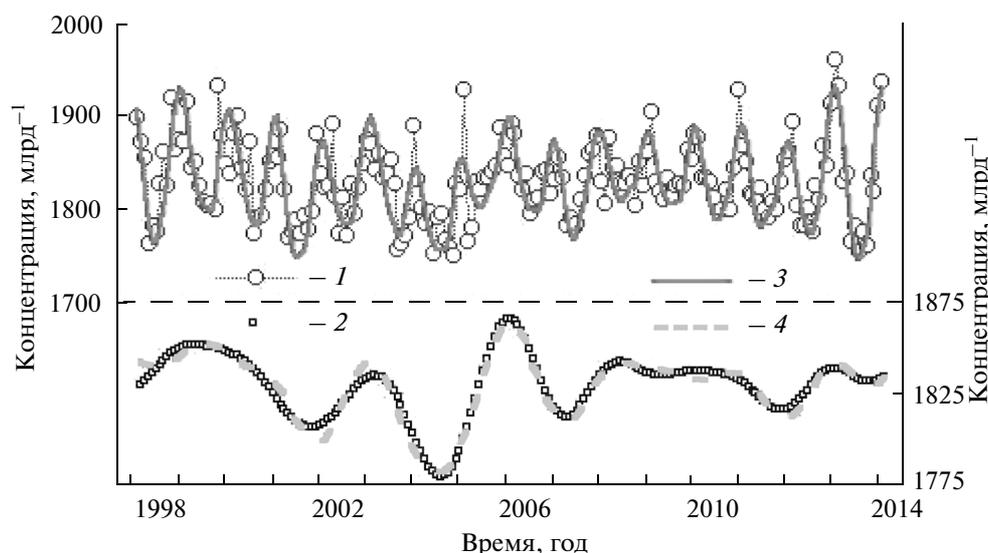


Рис. 6. Измеренные и рассчитанные средние месячные концентрации метана: 1 – фоновые, 2 – сглаженные годовые, 3 и 4 расчет.

Вместе с тем в спектре наблюдаются несколько пиков с периодами 12, 25, 34, 49, 124 мес, которые за исключением 12 мес. отличны от периодов в спектре фоновой концентрации; их природа пока не ясна.

В 2004–2008 гг. наблюдается уменьшение $C_{\text{Ад}}$ (7 на рис. 4), как и у $C_{\text{срм}}$. Это вместе с совпадением у $C_{\text{срм}}$ и $C_{\text{Ад}}$ скоростей роста линейного тренда (табл. 1) может служить аргументом для утверждения, что уменьшение $C_{\text{срм}}$ определяется в основном падением $C_{\text{Ад}}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ концентраций CH_4 в пробах приземного воздуха на станции мониторинга “Обнинск” и сопутствующих метеорологических данных (температуры, ветра) на разных высотах позволил выделить ~18% проб с относительно высокими концентрациями CH_4 , возникающими при температурной инверсии и пожарах. Эти кратковременно существующие концентрации исключены из рассмотрения при определении и анализе климатически значимых средних месячных и минимальных величин концентрации CH_4 , из которых выделены фоновые, сезонные и антропогенные составляющие измеряемой концентрации CH_4 .

Фоновое содержание CH_4 формируется в основном равновесным обменом CH_4 между его естественными источниками и стоками. Сезонные вариации CH_4 объясняются сезонными изменениями солнечной радиации, приводящими к изменениям мощности источников и стоков CH_4 . Максимумы и минимумы сезонных вариаций CH_4 чаще всего приходятся соответственно на февраль и июль.

Спектральный анализ показал, что спектр фоновых концентраций CH_4 включает колебания с периодами от 3 до 126 месяцев, не противоречащими литературным данным, где они соотносятся с рядом известных геологофизических явлений. Статистическая модель с использованием эмпирических параметров этих колебаний описывает временные изменения концентрации CH_4 с погрешностью менее 3%. Надежная привязка составных колебаний к вариациям других геофизических параметров атмосферы встречает определенные трудности, связанные с нестабильностью фаз и амплитуд составных колебаний при значительной дисперсии данных измерений CH_4 .

На фоновое содержание CH_4 , формируемое естественными причинами, накладывается в основном случайно изменяющаяся антропогенная добавка, которая обуславливает общий рост измеряемой концентрации CH_4 , составивший за 16 лет 1.2%.

В данных $C_{\text{Ад}}$ в 2004–2008 гг. наблюдается такое же уменьшение концентрации CH_4 , как и в исходных данных измерений $C_{\text{срм}}$. Установление причин этого уменьшения требует дальнейших исследований.

Авторы выражают благодарность коллегам из ФБГУ “НПО “Тайфун” за участие в проведении измерений и первичной обработке их результатов (лаборатория “Исследования газового и аэрозольного состава атмосферы”) и за предоставление данных измерений температуры 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. *Migeotte M. V.* Methane in earth’s atmosphere // *J. Astroph.* 1948. V. 107. P. 400–403.
2. 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 основной группы авторов. Женева: МГЭИК, 2007. 104 с.
3. Оценочный доклад “Об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации”. Т. I. Изменения климата. Ч. 4. Кароль И.Л., Решетников А.И. Изменения содержания парниковых газов и аэрозоля в атмосфере и их влияние на климат. М.: ГУ“ВНИИГМИ-МЦД”, 2008. С. 112–151.
4. *Бажин Н.М.* Метан в окружающей среде. Аналитический обзор. Сер. Экология. Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 2010. Вып. 93. 56 с.
5. *Исидоров В.А.* Экологическая химия. СПб.: Химиздат, 2001. 304 с.
6. *Котляков В.М.* Собрание сочинений в 6-ти томах (2000–2004) гг. Кн 1. Гляциология Антарктиды. М.: Наука, 2000. 433 с.
7. *Bender M., Sowers T., Brook E.* Gases in ice cores // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* (August 1997). 94(16): 8343–9. doi:10.1073/pnas.94.16.8343. PMID 11607743.
8. *Rigby M., Prinn R.G., Fraser P.J. et al.* Renewed growth of atmospheric methane // *Geophys. Res. Lett.* 2008. V. 35. P. L22805.
9. *Макарова М.В., Курнер О., Тимофеев Ю.М. и др.* Анализ изменчивости атмосферного метана в районе Санкт-Петербурга по данным наземных измерений и моделирования // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.* 2015. Т. 51. № 2. С. 201–209.
10. *Dlugokencky E.J., Houweling S., Bruhwiler L. et al.* Atmospheric methane levels off: Temporary pause or a new steady state? // *Geophys. Res. Lett.* 2003. V. 30. P. 1992, doi: 10.1029/2003GL018126.
11. *Бажин И.М.* Метан в атмосфере // *Соросовский образовательный журнал.* 2000. Т. 6. № 3. С. 52–57.
12. *Baranov Yu.I., Baranova E.L., Bougrim G.I., Kashin F.V.* Temporal variability of methane, carbon oxide and di-

- oxide and dinitrogen oxide in surface air // Proc. SPIE. 2000. V. 4341. P. 438–442.
13. *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.
 14. *Rothman L.S.* The HITRAN 2004 molecular spectroscopic database // J. Quant. Spectr. Radiat. Trans. 2005. V. 96. P. 139–204.
 15. *Беликов И.Б., Бренникмайер К.А.М., Еланский Н.Ф., Ралько А.А.* Приповерхностная концентрация метана и оксидов углерода над континентальной территорией России по результатам экспериментов TROICA // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2006. Т. 42. № 1. С. 50–63.
 16. *Макарова М.В., Поберовский А.В., Вишератин К.Н., Поляков А.В.* Временная изменчивость общего содержания метана в атмосфере вблизи Санкт-Петербурга // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2009. Т. 45. № 6. С. 774–781.
 17. *Sasakawa M., Shimoyama K., Machida T. et al.* Continuous measurements of methane from a tower network over Siberia // Tellus. 2010. V. 62B. № 5. P. 403–416, doi: 10.1111/j.1600-0889.2010.00494.
 18. *Гречко Е.И., Джола А.В.* Спектроскопические измерения содержания CO, CH₄, N₂O в толще атмосферы центральной Арктики (станция СП-28) // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1990. Т. 26. № 5. С. 547–550.
 19. *Решетников А.И., Зинченко А.В., Парамонова Н.Н. и др.* Результаты мониторинга основных парниковых газов на арктических станциях Росгидромета // Тр. ГГО им. А.И. Воейкова. 2011. № 564. С. 223–240.
 20. *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. Алексева Г.В. М.: Paulsen, 2011. С. 170–177.
 21. NOAA/ESRL. <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/>
 22. Глобальный центр мониторинга пожаров, г. Фрайбург, Германия. <http://www/fire/uni-freiburg/de/current/globalfire/>.
 23. <http://typhoon-tower.obninsk.org/ru/>
 24. *Kashin F.* Variations of CO₂ Mixing Ratios in the Air near the Ground in the European Territory of Russia // J. Environ. Sci. Engineer. 2013. V. 2. № 9. P. 531–536.
 25. *Арефьев В.Н., Каменоградский Н.Е., Кашин Ф.В., Шилкин А.В.* Фоновая составляющая концентрации двуокси углерода в приземном воздухе (Станция мониторинга “Обнинск”) // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2014. Т. 50. № 6. С. 655–662.
 26. *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.
 27. *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.
 28. Methane sinks and distribution / Eds: Khalil M.A.K., Shearer M.J., Rasmussen R.A. // Atmospheric Methane: Sources, Sinks and Role in Global Change. Berlin: Springer Verlag, 1993. P. 168–179.
 29. *Гинзбург А.С., Виноградова А.А., Федорова Е.И.* Некоторые особенности сезонного хода содержания метана в атмосфере Северной Евразии // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2011. Т. 47. № 1. С. 50–63.
 30. *Макарова М.В., Курнер О., Тимофеев Ю.М. и др.* Годовой ход и долговременный тренд атмосферного метана в районе Санкт-Петербурга // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2015. Т. 51. № 4. С. 493–501.
 31. *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. № 94. P. 8549–8565.
 32. *Боровиков В.П., Боровиков И.П.* Statistica. Статистический анализ и обработка данных в среде Windows. // М.: ИИД “Филинь”, 1998. 608 с.
 33. *Чуи Ч.К.* Введение в взрывлеты. М.: Мир, 2001. 412 с.
 34. *Рожков В.А.* Теория вероятностей случайных событий, величин и функций с гидрометеорологическими примерами Кн. I. СПб.: прогресс-Погода, 1996. 156 с.
 35. *Keelling C.D., Whorf T.P., Wahlen M. & J. van der Plicht.* Interannual extremes in the rate of rise of atmospheric carbon dioxide since 1980 // Nature. 1995. V. 375. № 6533. P. 666–670.
 36. *Монин А.С., Шишков Ю.А.* О пятилетней цикличности глобальной погоды // ДАН. 1998. Т. 358. № 3. С. 395–398.
 37. *Rivin Yu.R.* The 22-year cycle of geomagnetic activity // Intern. J. Geom. Aeron. 1999. V. 1. № 2. P. 111–116.
 38. *Иванов В.В.* Периодические колебания погоды и климата // УФН. 2002. Т. 172. № 7. С. 777–811.

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

© 2015 г. В. Н. Арефьев, Р. М. Акименко, **Ф. В. Кашин**, Л. Б. Упэнэк

Научно-производственное объединение “Тайфун”,

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

E-mail: vnaref@rpatyphoon.ru

Поступила в редакцию 26.11.2014 г., после доработки 28.01.2015 г.

Представлены данные измерений с февраля 1998 по январь 2014 гг. объемной концентрации метана в пробах приземного воздуха методом Фурье-спектроскопии. При исключении результатов единичных измерений повышенных концентраций метана, возникающих при температурной инверсии и при пожарах, проведено разделение средних месячных концентраций на региональную естественную фоновую концентрацию метана и его антропогенную добавку. Из фоновой выделена сезонная концентрация. Спектральный анализ выявил большое количество составных колебаний вариаций фоновой концентрации метана с периодами от 3 до 126 месяцев. Модель с использованием эмпирических параметров этих колебаний описывает временные изменения концентрации метана с погрешностью менее 3%. Антропогенная добавка CH_4 в атмосферу имеет в основном случайный характер. За 16 лет наблюдений ее рост составил ~ 23.7 млрд⁻¹, что привело к увеличению общей концентрации CH_4 на ту же величину.

Ключевые слова: атмосфера, метан, концентрация, фоновая, сезонная, антропогенная.