

УДК 551.510.41; 551.510.42

ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ МЕТАНА В АТМОСФЕРЕ ВБЛИЗИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

© 2009 г. М. В. Макарова*, А. В. Поберовский*, К. Н. Вишератин**, А. В. Поляков*

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

**Научно-производственное объединение “Тайфун”
249038 Обнинск, Калужская обл., ул. Победы, 4
E-mail: kvisher@typhoon.obninsk.ru

Поступила в редакцию 18.06.2008 г., после доработки 01.10.2008 г.

Представлены результаты измерений содержания метана во всей толще атмосферы в районе Санкт-Петербурга за период 1991–2007 гг. Показано, что средний годовой ход общего содержания (ОС) метана за этот период характеризуется максимальными значениями в декабре–январе и минимальными в июне–августе при амплитуде годового хода ~3.6%. При этом годовые изменения ОС метана для отдельных лет могут существенно отличаться от полученного среднего годового хода. Статистически значимого линейного тренда ОС CH_4 за период 1991–2007 гг. не выявлено. Полученные оценки показателя линейного тренда имеют противоположные знаки для зимних и летних месяцев (положительный для января $0.6 \pm 0.2\%/год$ и февраля $0.4 \pm 0.2\%/год$ и отрицательные для июля $0.3 \pm 0.2\%/год$ и августа $0.2 \pm 0.1\%/год$), что свидетельствует о тенденции увеличения амплитуды годового хода ОС CH_4 . Проведенный спектральный анализ ряда общего содержания CH_4 показал, что для периода 1991–2007 гг. с достоверностью 95% выделяются следующие гармоники: 12 мес (годовая гармоника), 32 мес (квадидвухлетние осцилляции), 55 мес (4.5 года), которые проявляются также в рядах метеорологических величин и общего содержания озона.

1. ВВЕДЕНИЕ

К важнейшим парниковым газам земной атмосферы относятся: водяной пар, углекислый газ, метан и закись азота. По сравнению с доиндустриальным периодом содержание CO_2 и CH_4 в атмосфере возросло примерно в два раза. Относительный вклад метана в радиационный форсинг в настоящее время составляет около 20% [1]. Метан играет заметную роль в тропосферной и стратосферной химии: в тропосфере важны его реакции с гидроксидом и озоном, в стратосфере он служит источником водяного пара и водорода, а также стоком хлора [2].

Локальные приземные измерения концентрации метана осуществляются на сетях станций NOAA/GMD (США) и AGAGE (международная сеть, при поддержке NASA) [1]. Сеть станций NDACC (Network for Detection Atmospheric Chemistry Change) осуществляет регулярные спектроскопические измерения общего содержания (ОС) метана (а также в ряде случаев и элементов вертикальных профилей CH_4) по высокоразрешенным ИК спектрам прямой солнечной радиации [3]. В России спектроскопический метод начал использоваться в ИФА РАН с 1974 г. [4, 5] с применением спектрометров среднего спектрального разрешения. В настоящее время регулярные наземные спектроскопические измерения ОС метана в России осуществ-

ляются на трех станциях: в НИИФ СПбГУ (вблизи Санкт-Петербурга), на Звенигородской научной базе (ЗНБ) ИФА РАН и в ИЭМ (Обнинск) [6, 7].

В НИИФ СПбГУ спектроскопические измерения ОС CH_4 проводятся с 1991 г. [8–10] в пригороде Санкт-Петербурга (Ст. Петергоф), расположенном в 25 км от центра города (59.9°N , 29.9°E , 20 м над ур. моря). Описание аппаратуры и методики интерпретации этих измерений содержатся в работах [8, 9]. В настоящей работе анализируются результаты измерения ОС метана, накопленные более чем за 15-летний период (с января 1991 по 2007 гг.).

2. АНАЛИЗ ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ МЕТАНА

2.1. Общая характеристика временной изменчивости значений общего содержания метана

Результаты измерений ОС метана, приведенные на рис. 1, включают в себя около 1100 среднесуточных значений величины ОС CH_4 . Количество дневных измерений, начиная с 1998 г., возросло по сравнению с предыдущим периодом, что связано не с увеличением количества солнечных дней, а с более полным использованием случаев кратковременных прояснений для проведения измерений. Особенно-

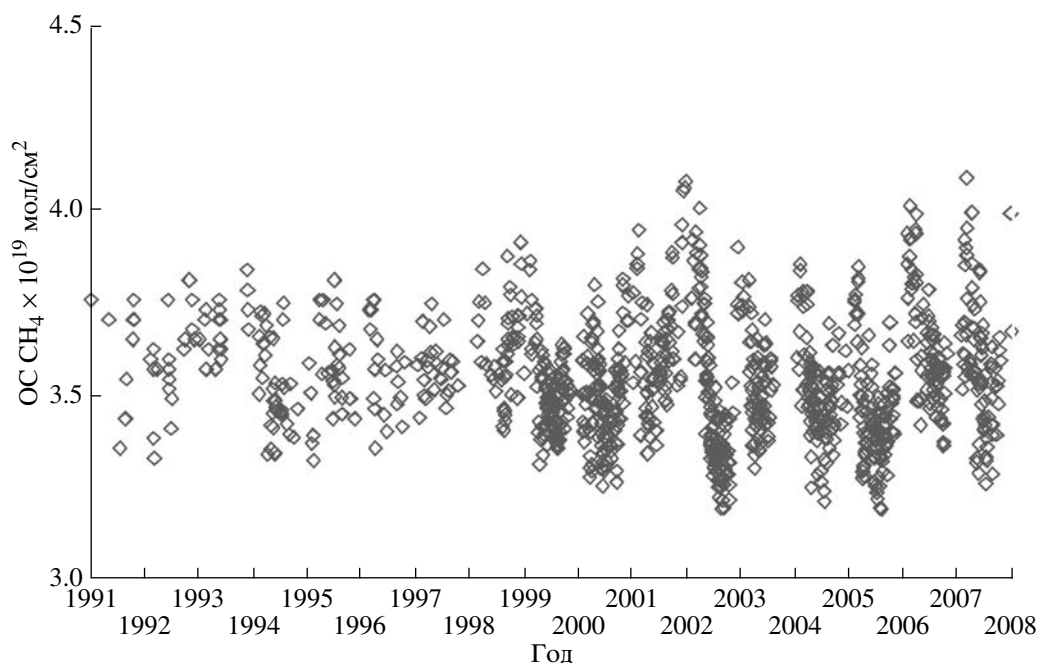


Рис. 1. Среднедневные значения ОС CH_4 вблизи Санкт-Петербурга.

стью спектроскопических измерений является их зависимость от погодных условий (необходимо чистое небо или достаточные для проведения наблюдений разрывы облачности). В осенне-зимнее время количество измерений дополнительно сокращается в силу короткого светового дня. Отметим, что влияние погодных условий и длительности светлого времени суток на количество измерений имеет место для всех спектроскопических измерений.

Среднедневное значение ОС CH_4 вычислялось как средневзвешенное значение единичных измерений ОС CH_4 в течение дня. В качестве веса отдельного измерения использовалась величина, обратно пропорциональная значению среднеквадратического рассогласования между измеренным и рассчитанным спектрами солнечного излучения. Эта величина является объективной оценкой качества решения обратной задачи по определению ОС газа. Случайная погрешность единичного измерения общего содержания метана составляет 4–6% [8]. Погрешность среднедневного значения ОС CH_4 обычно составляет 1–3% и зависит от метеоусловий [8–10].

В табл. 1 приведены экстремальные (максимальное w_{\max} и минимальное w_{\min}) значения ОС CH_4 , среднее значение (w_{avr}), медиана (w_{med}), среднеквадратическое отклонение (σ), коэффициент

асимметрии μ_a и эксцесса μ_e . По результатам измерений ОС CH_4 вблизи Санкт-Петербурга минимальное среднедневное значение наблюдалось 27 июля 2005 г., максимальное – 21 февраля 2007 г.

Смысл некоторых из статистических характеристик наглядно виден на рис. 2, где приведена гистограмма частоты повторяемости значений ОС CH_4 . Значения величин w_{med} и w_{avr} , отмеченные на рисунке вертикальными линиями, очень близки (при симметричном распределении случайной величины медиана совпадает со средним значением). Положительный коэффициент асимметрии указывает на отклонение распределения, представленного на рис. 2, в сторону больших значений (что проявляется как более длинный “хвост” в области больших значений ОС CH_4). Значение коэффициента эксцесса μ_e невелико, но его положительное значение свидетельствует о более остроконечном, чем нормальное, распределении.

2.2. Годовой ход содержания CH_4

Временной ход ОС CH_4 содержит периодические сезонные, долговременные, а также нерегулярные изменения. Для характеристики сезонных изменений ОС CH_4 вблизи Санкт-Петербурга приведен рис. 3, демонстрирующий средний годовой ход для

Таблица 1. Статистические характеристики ряда ОС CH_4

$w_{\max} \times 10^{19}$ мол/см ²	$w_{\min} \times 10^{19}$ мол/см ²	$w_{\text{avr}} \times 10^{19}$ мол/см ²	$w_{\text{med}} \times 10^{19}$ мол/см ²	$\sigma \times 10^{19}$ мол/см ²	μ_a	μ_e
4.09	3.19	3.54	3.52	0.16	0.2	0.5

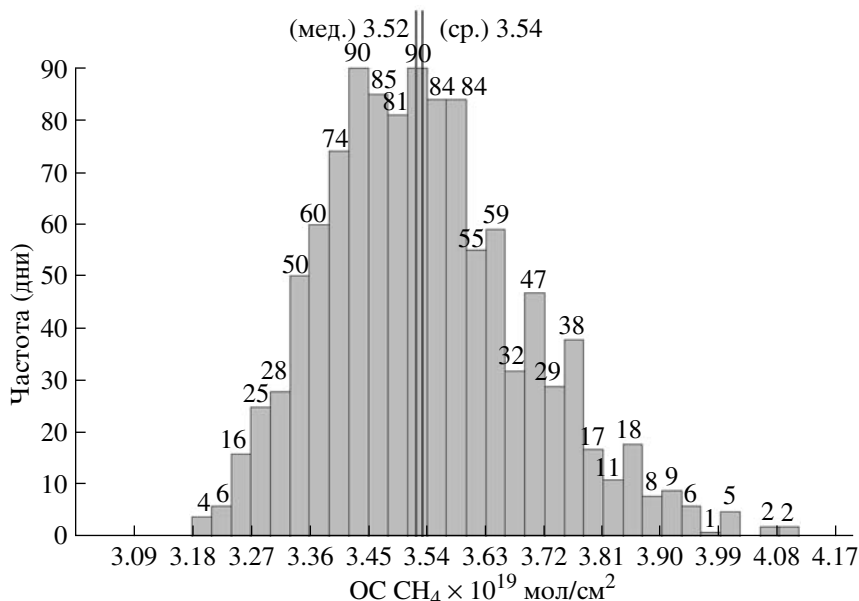


Рис. 2. Гистограмма частоты повторяемости значений ОС CH₄.

всего периода наблюдений (1991–2007 гг.), а также примеры годового хода для различных лет наблюдений (2001, 2002, 2006, 2007 гг.).

Полученный средний годовой (еще называемый сезонным) ход ОС CH₄ за 1991–2007 гг. характеризуется максимальными значениями в декабре–январе и минимальными в июне–августе. Амплитуда его составляет ~3.6%. Из рис. 3 видно, что характер годовых изменений для отдельных лет измерений может существенным образом отличаться от полученного среднего годового хода. Сезонные изменения, наблюдавшиеся в 2007 г., близки к среднему годово-

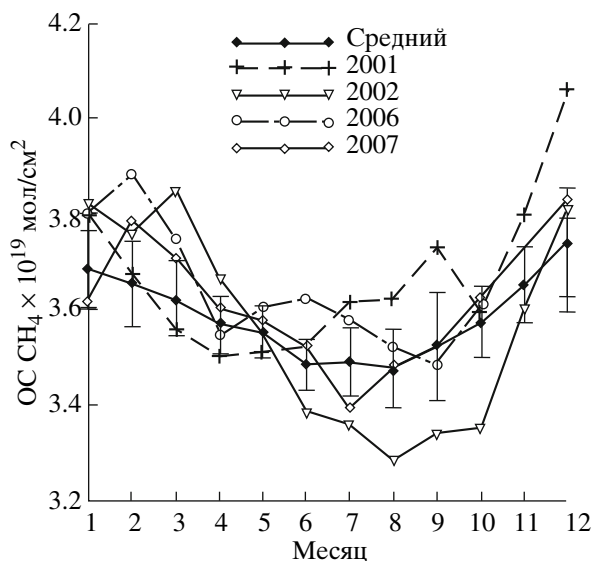


Рис. 3. Годовой ход общего содержания метана вблизи Санкт-Петербурга.

му ходу, но (по сравнению с ним) имеют более высокие значения ОС CH₄ в феврале–марте и резко выраженный минимум в июле. В 2006 г. наблюдался локальный максимум в мае–июле, минимумы ОС CH₄ для этого года отмечены в апреле и сентябре. В 2001 и 2002 гг. минимальные значения наблюдались в апреле и в августе соответственно. Амплитуда годового хода для конкретного года (см. рис. 3) может существенно отличаться от среднего ее значения (~3.6%). Так, например, в 2002 г. амплитуда годового хода составила ~8%. Различия в характере сезонной изменчивости интенсивности источников и стоков CH₄ от года к году, влияющей на количество метана в атмосфере [11]. Например, глубокий минимум летом 2002 г., скорее всего, обусловлен сухой и жаркой погодой, что привело к уменьшению эмиссии CH₄, вызванному пересыханием заболоченных мест (мощного естественного источника метана в северо-западном регионе).

Наблюдаемая межгодовая изменчивость среднего годового хода ОС CH₄ характеризуется среднеквадратическими отклонениями (σ_m), рассчитанными для каждого месяца и приведенными на рис. 3. С апреля по август значения σ_m для Санкт-Петербурга меньше (минимум – май–июнь), чем для осенне-зимнего периода. Это связано частично с небольшим количеством дней наблюдений в осеннее и зимнее время, а также с большей изменчивостью ОС CH₄ в холодный период (причиной чего может являться увеличение интенсивности антропогенных источников осенью и зимой).

Приземные отношения смеси CH₄ (q_0) для двух ближайших по широте станций NOAA CMDL (Baltic, 55.5° N, 16.7° E и Iceland, 63.2° N, 20.2° W) имеют

сезонные изменения, по характеру аналогичные вариациям ОС CH_4 для Санкт-Петербурга [12]. Однако амплитуды годового хода для приземных отношений смеси на станциях NOAA CMDL не превышают 1.5–2% [12].

2.3. Долговременные изменения (тренды) содержания CH_4

Для оценок долговременных изменений (трендов) ОС CH_4 (r , %/год) были использованы среднемесячные значения ОС CH_4 . Это позволило избавиться от необходимости исключения сезонного хода ОС метана и проводить расчеты только для тех месяцев, которые обеспечены достаточным количеством наземных измерений. Значения r для двух периодов (1991–2002 гг. и 1991–2007 гг.), приведены в табл. 2. При расчетах использовалась линейная регрессия (метод наименьших квадратов) для месяцев, наиболее обеспеченных данными. На рис. 4 в графическом виде представлена зависимость показателя линейного тренда r от месяца (период 1991–2007 гг.) совместно с погрешностями оценок r .

Здесь важно подчеркнуть, что для периода 1991–2002 гг. (см. табл. 2) статистически значимого линейного тренда выявлено не было: погрешности определения величин r превышают сами значения r . Для периода 1991–2007 гг. в январе–феврале, июле–октябре значения r выше их погрешностей. Показатели линейного тренда для этих месяцев имеют противоположные знаки: положительный для января–февраля и отрицательный для июля–августа. Полученные значения r не позволяют сделать однозначного вывода о тренде ОС метана для рассматриваемого периода. Значение коэффициента корреляции, рассчитанное для всего ряда среднедневных ОС CH_4 (имеется в виду корреляция между массивом среднедневных значений и временем) показало отсутствие значимого линейного тренда для всего ряда наблюдений.

Различные знаки величины r для зимних ($r > 0$) и летних ($r < 0$) месяцев свидетельствуют об увеличении амплитуды годового хода ОС CH_4 для Санкт-Петербурга в период 1991–2007 гг. Увеличение амплитуды годового хода ОС CH_4 может быть связано с уменьшением времени жизни метана в атмосфере [11, 13, 14]. В качестве основной причины этих явлений предполагается глобальное перераспределение источников метана (возрастающее влияние Азии). Такой вывод, например, основан на результатах расчетов времени жизни CH_4 , полученных с помощью трехмерной глобальной модели атмосферы [14, 15].

Приведем для сравнения оценки трендов ОС CH_4 , опубликованные по результатам наземных спектроскопических измерений на других станциях. По данным долговременных (более 30 лет) наблюдений на ЗНБ ИФА РАН, рост ОС CH_4 за период

Таблица 2. Показатели линейного тренда (r) ОС CH_4 для двух периодов измерений

Месяц	r , % в год	
	1991–2002	1991–2007
Январь	–	0.6 ± 0.2
Февраль	0.3 ± 0.6	0.4 ± 0.2
Март	-0.2 ± 0.6	0.1 ± 0.3
Апрель	-0.3 ± 0.7	-0.2 ± 0.3
Май	-0.6 ± 0.6	-0.1 ± 0.2
Июнь	-0.2 ± 0.5	-0.2 ± 0.2
Июль	-0.2 ± 0.6	-0.3 ± 0.2
Август	-0.4 ± 0.5	-0.2 ± 0.1
Сентябрь	–	-0.4 ± 0.2
Октябрь	–	-0.5 ± 0.1

1974–2007 гг. составлял $\sim 0.5\%/год$, в 2001–2007 гг. рост снизился до $\sim 0.2\%/год$ [16].

Результаты измерений CH_4 в приземном слое и во всей толще атмосферы, проводимые в ИЭМ, показали, что в линейном приближении рост концентрации CH_4 в приземном воздухе за период с января 1998 по декабрь 2001 г. составил примерно $0.003 \text{ млн}^{-1}/год$ ($\sim 0.2\%/год$) [6]. Рост концентрации CH_4 в столбе атмосферы за период с мая 1998 по апрель 2001 г. составил около $0.008 \text{ млн}^{-1}/год$ ($\sim 0.5\%/год$) [6].

На станциях сети NDACC [17], наиболее близко расположенных к Санкт-Петербургу, в период 1995–2005 гг. наблюдался небольшой положительный линейный тренд (табл. 3). Максимальное значение тренда отмечено на станции Harestua (распо-

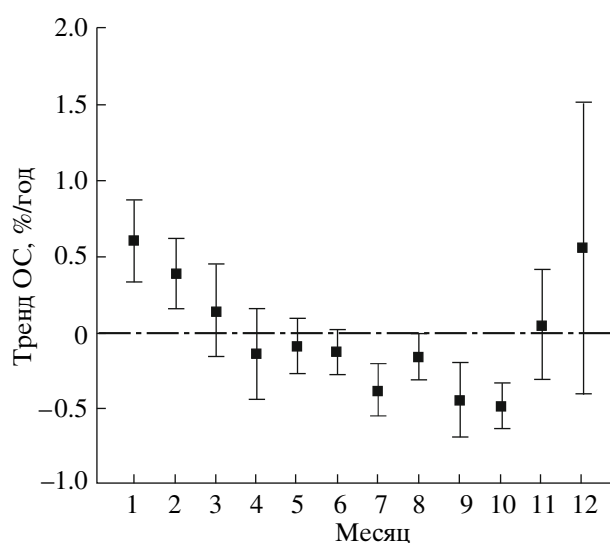


Рис. 4. Значения показателя линейного тренда r для различных месяцев за период 1991–2007 гг.

ложенной на той же широте, что и Санкт-Петербург), минимальное – на высокогорной станции Zugspitze. Видно, что величина тренда ОС CH_4 зависит от географического положения пункта проведения измерений.

Среди восьми станций (Санкт-Петербург, Звенигород и 6 станций NDACC) минимальное значение показателя линейного тренда наблюдалось для Санкт-Петербурга (отсутствие роста) в 1991–2007 гг., максимальное – для Обнинска в 1998–2001 гг. Здесь необходимо отметить, что можно говорить только о качественном сравнении трендов для этих станций, поскольку временные периоды различны, различны также и методы, использовавшиеся при оценке долговременных изменений ОС CH_4 .

Значительное количество информации о приземных концентрациях метана получено на наземных станциях двух систем наблюдений (NOAA/GMD и AGAGE). Это обычно океанические или прибрежные станции, расположенные в удалении от интенсивных источников метана. Используемое при этом оборудование характеризуется высокой точностью. Измерения показывают, что за последние 25 лет содержание метана увеличилось примерно на 25%, однако в последние годы скорости роста существенно снизились. В конце 70-х–начале 80-х гг. значение \dot{g} составляло более 1%/год, в 1999–2005 гг. достигло низких значений, близких к нулю [12]. Как и для общего содержания метана, наблюдаются региональные вариации трендов приземной концентрации метана.

2.4. Спектральный анализ ОС CH_4

Спектральный анализ ОС CH_4 проводился для ряда среднемесячных значений за период наблюдений 1991–2007 гг. Среднемесячные данные по общему содержанию метана представляют ряд длиной 161 мес. Данные для каждого месяца были получены путем усреднения среднедневных значений. При этом был использован алгоритм модифицированного классического Фурье-анализа, который используется для исследования временных рядов, содержащих неравномерно расположенные пропуски [18–20]. Этот метод имеет ряд преимуществ (в частности, более высокую точность, чем классический Фурье-анализ) особенно при анализе гармоник, период которых сопоставим с длиной ряда. Оценка значимости гармоник проводилась с использованием метода Брукса–Карузерс [21]. Необходимо отметить, что при наличии пропусков (1–9 мес) в массивах измерений имеет место возрастание шумовой компоненты в области спектра с периодами от 2 до 10 мес [18–20].

Для ряда среднемесячных значений ОС CH_4 был использован следующий алгоритм проведения спектрального анализа [18, 19].

Таблица 3. Оценки тренда для станций сети NDACC для 1995–2005 гг. [17]

Станция NDACC	Широта	Высота, км	Тренд ОС CH_4 , %/год
Ny-Alesund	79° N	0.02	0.14 (± 0.08)
Kiruna	68° N	0.4	0.35 (± 0.08)
Harestua	60° N	0.6	0.40 (± 0.06)
Zugspitze	47° N	2.96	0.12 (± 0.05)
Jungfraujoch	47° N	3.58	0.17 (± 0.03)
Izana	28° N	2.36	0.14 (± 0.09)

1. Проанализирован спектральный состав исходного ряда (имеющего пропуски) с помощью метода модифицированного классического Фурье-анализа. Определены периоды и амплитуды основных гармоник.

2. Пропуски в данных были заполнены 12-ти месячной гармоникой с известной фазой (на основании известного среднего годового хода) и проанализирован спектральный состав заполненного ряда.

3. На основе сопоставления результатов анализа исходного и заполненного ряда выделены спектральные компоненты, устойчиво проявляющиеся как в ряде с пропусками, так и в заполненном ряде.

Результаты Фурье-анализа приведены на рис. 5, где анализируемый спектральный диапазон разделен на 3 участка:

- 1) от 4 мес до 10 мес (рис. 5а);
- 2) вблизи годовой гармоники от 10 до 15 мес (рис. 5б);
- 3) от 15 до 80 мес (рис. 5в).

На рисунках цифрами указаны периоды основных наблюдаемых гармоник и уровень, выше которого амплитуды считаются значимыми с указанной доверительной вероятностью.

В результате проведенных исследований для периода 1991–2007 гг. с достоверностью 80% можно выделить следующие спектральные компоненты: 8, 12, 13, 18, 26, 32, 55 мес. Достоверными на уровне 95% являются только гармоники 12, 32 и 55 мес. Для всего периода измерений максимальные значения спектральной плотности сосредоточены вблизи 12, 24–38, 44–70 мес.

Наиболее интенсивно выделяется годовая гармоника ОС CH_4 , ее амплитуда составляет около 3% от среднего значения ОС CH_4 (за весь период измерений), что достаточно хорошо согласуется с оценкой амплитуды среднего годового хода, полученной нами ранее (3.6%). В метеорологических рядах, а также в рядах ОС O_3 может наблюдаться не только годовая гармоника, но также ряд других гармоник, с периодами около 8, 13–15 и 18 мес [18–19]. При анализе ряда ОС CH_4 с доверительной вероятностью

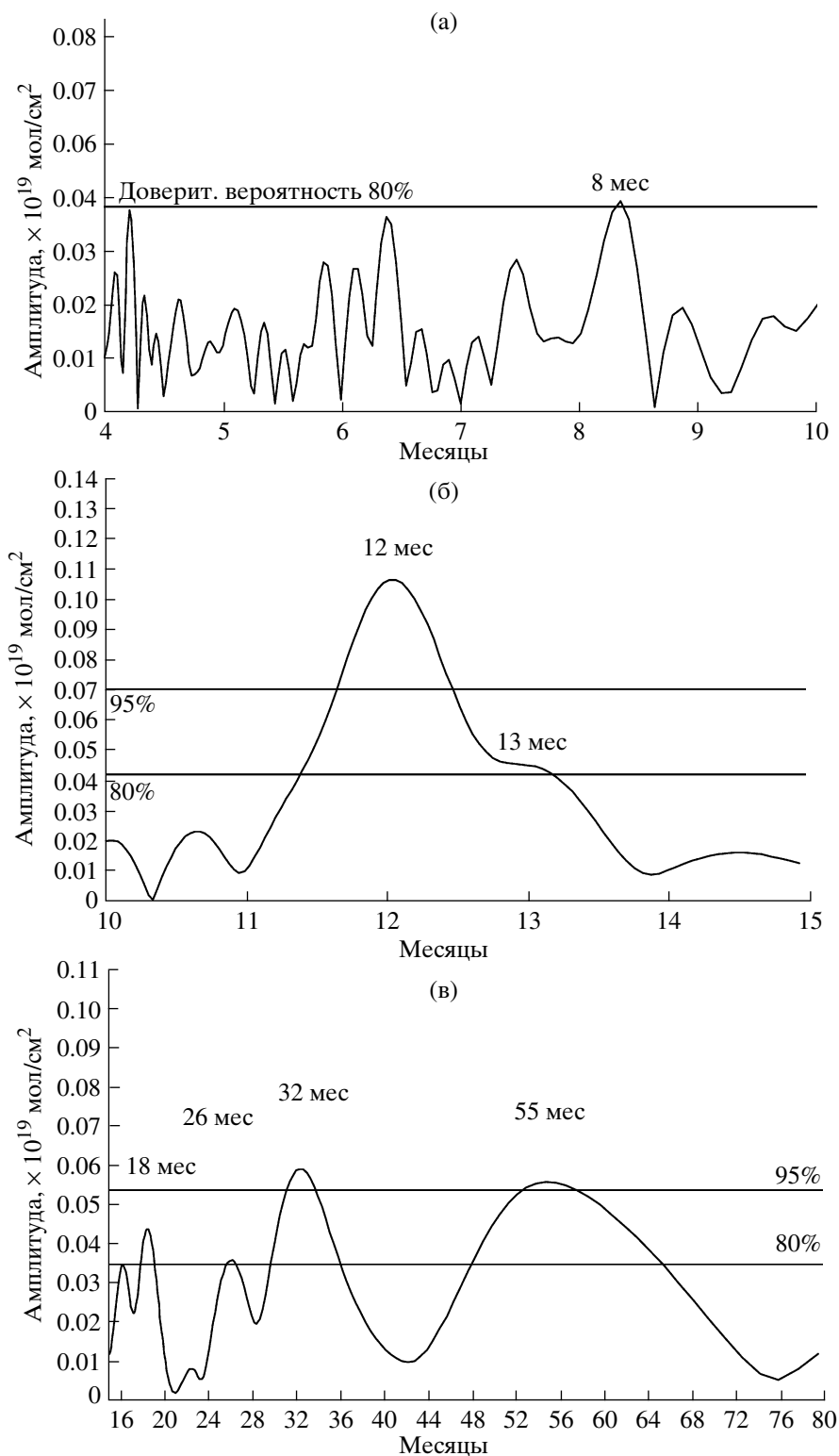


Рис. 5. а – Спектральный состав ряда ОС CH_4 (1991–2007 гг.). Периоды 4–10 мес. б – Спектральный состав ряда ОС CH_4 (1991–2007 гг.) вблизи годовой гармонике (10–15 мес). в – Спектральный состав ряда ОС CH_4 (1991–2007 гг.). Периоды 15–80 мес.

80% были выделены колебания, соответствующие периодам 8, 13 и 18 мес.

Полученные нами колебания с периодами 26 и 32 мес, по-видимому, относятся к квазидвухлетним осцилляциям (КДО). Амплитуда наиболее интенсивного периода КДО (32 месяца) для ОС CH_4 составляет около 1.7% от среднего значения ОС CH_4 (3.54×10^{19} мол/см). Такие колебания проявляются, например, в рядах ОС O_3 на различных широтах как синглетные, дублетные или триплетные колебания [19, 22].

В спектре также присутствуют долгопериодные колебания с периодом 55 мес (4.5 года), что близко к удвоенному периоду квазидвухлетней гармоник. Их амплитуда также заметна и составляет ~1.6%. В литературе [19, 23] проявление квазипятилетних колебаний (период 4–6 лет) отмечено в виде повторений явления Эль-Ниньо, в метеорологических рядах и рядах ОС озона.

3. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

На основе анализа ряда наземных спектроскопических измерений общего содержания CH_4 (1991–2007 гг.) получены следующие результаты и выводы.

1. Средний годовой ход ОС метана за 1991–2007 гг. характеризуется максимальными значениями в декабре–январе и минимальными в июне–августе. Характер годовых изменений для отдельных лет измерений может существенно отличаться от полученного среднего годового хода. Амплитуда среднего годового хода ОС метана составляет ~3.6%.

2. Статистически значимого линейного тренда ОС CH_4 за период 1991–2007 гг. не обнаружено. Оценки показателя линейного тренда, полученные для января–февраля и июля–августа имеют противоположные знаки: положительный для января ($0.6 \pm 0.2\%/год$) и февраля ($0.4 \pm 0.2\%/год$) и отрицательный для июля ($-0.3 \pm 0.2\%/год$) и августа ($-0.2 \pm 0.1\%/год$). Это свидетельствует о том, что в 1991–2007 гг. наблюдалась тенденция роста амплитуды годового хода ОС CH_4 .

3. Для среднемесячных значений ОС CH_4 за период 1991–2007 гг. с достоверностью 95% выделены следующие спектральные компоненты:

а) 12-месячная гармоника, в основном определяющая годовой ход ОС CH_4 ;

б) гармоника 32 мес, относящаяся к квазидвухлетним осцилляциям;

в) колебания с периодом 55 мес (4.5 года).

При значении доверительной вероятности 80% дополнительно проявляются периоды: 8, 13, 18, 26 мес.

4. Многие выявленные периодики проявляются как в общем содержании CH_4 , так и в рядах метеорологических величин и рядах общего содержания O_3 .

Это свидетельствует о том, что основные механизмы, определяющие спектральный состав изменчивости этих геофизических величин, являются общими.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (08-05-00857-а), НОЦ (РНП.2.1.1.1138) и УНОЦ (РНП.2.2.1.1.3846).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. IPCC Fourth Assessment Report (AR4) "Climate Change 2007", Working Group I Report "The Physical Science Basis". <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf>
2. Scales and Global Changes: Spatial and Temporal Variability in Biospheric and Geospheric Processes / Eds: T. Rosswall, R.G. Woodmansee and P.G. Risser. Scientific Committee on Problems of Environment, Published by John Wiley & Sons Ltd, 1988.
3. www.ndsc.ncep.noaa.gov/
4. Дианов-Клоков В.И., Лукишин В.В., Скляренко И.Я., Шакула Ю.П. О вариациях содержания метана во всей толще земной атмосферы // Изв. АН. Физика атмосферы и океана. 1975. Т. 11. № 10. С. 993–998.
5. Дианов-Клоков В.И. Спектроскопические исследования фоновое содержание газовых примесей в атмосфере // Вестн. АН СССР. 1980. Т. 4. С. 33–41.
6. 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.
7. Кашин Ф.В., Каменоградский Н.Е., Гречко Е.И. и др. Сравнение различных методик наземных спектроскопических измерений общего содержания метана в атмосфере // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2001. Т. 37. № 3. С. 339–345.
8. Мироненков А.В., Поберовский А.В., Тимофеев Ю.М. Методика интерпретации инфракрасных спектров прямой солнечной радиации для определения общего содержания атмосферных газов // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 1996. Т. 36. № 2. С. 207–215.
9. Мироненков А.В., Поберовский А.В., Тимофеев Ю.М. Спектроскопические измерения общего содержания метана в атмосфере вблизи Санкт-Петербурга // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 1996. Т. 36. № 4. С. 471–478.
10. Макарова М.В., Поберовский А.В., Тимофеев Ю.М. Спектроскопические измерения общего содержания метана в районе Санкт-Петербурга // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2001. Т. 37. № 1. С. 67–73.
11. Fiore A.M., Horowitz L.W. et al. Impact of meteorology and emissions on methane trends, 1990–2004 // Geoph. Res Lett. V. 13, L12809, doi: 10.1029/2006GL026199, 2006.
12. <http://www.cmdl.noaa.gov/>
13. Dentener F., Peters W., Krol M. et al. Interannual variability and trend of CH_4 lifetime as a measure for OH changes in

- the 1979–1993 time period // *J. Geoph. Res.* 2003. V. 108. № D15, 4442, doi: 10.1029/2002JD002916.
14. *Karlsdottir S., Isaksen I.S.A.* Changing methane lifetime: Possible cause for reduced growth // *Geophys. Res. Lett.* 2000. V. 27. № 1. P. 93–96.
 15. *Berntsen T., Isaksen I.S.A., Wang W.-C. et al.* Impacts of increased anthropogenic emissions in Asia on tropospheric ozone and climate. A global 3-D model study // *Tellus.* 1995. V. 48. № B. P. 13–32.
 16. *Grechko E., Dzhola A., Artamonova M., Granberg I.* Investigation of long term and seasonal variations of climatically active gases (CO and CH₄) over the central Russia, Northern Caucasus and Antarctica // *Geophys. Res. Abstr.* ISSN: 1029–7006, 2008. V. 10. EGU General Assembly 2008, Vienna, Austria, 13–18 April 2008.
 17. *Gardiner T., Forbes A. et al.* Method for evaluating trends in greenhouse gases from ground-based remote FTIR measurements over Europe // *Atmos. Chem. Phys. Discuss.* 2007. V. 7. P. 15781–15803.
 18. *Вишератин К.Н., Троянов М.М.* Глобальное распределение основных спектральных гармоник ОСО по данным спутниковых измерений (TOMS) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. М.: ИКИ РАН, 2006. С. 276–284.
 19. *Вишератин К.Н., Каменоградский Н.Е., Каишин Ф.В. и др.* Спектрально-временная структура вариаций общего содержания озона в атмосфере центральной части Евразии // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.* 2006. Т. 42. № 2. С. 205–223.
 20. *Scargle J.D.* Studies in astronomical time series analysis. 2. Statistical aspects of spectral analysis of unevenly spaced data // *Astrophys. J.* 1982. V. 263. P. 835–853.
 21. *Брукс К., Карузерс Н.* Применение статистических методов в метеорологии. Л. Гидрометиздат, 1963. 416 с.
 22. *Echer E., Guarneri F.L., Rigozo N.R., Vieira L.E.* A study of latitudinal dependence of the quasi-biennial oscillation in Total Ozone Mapping Spectrometer total ozone // *Tellus.* 2004. V. 56A. P. 527–535.
 23. *Монин А.С., Шишков Ю.А.* О пятилетней цикличности глобальной погоды // *ДАН.* 1998. Т. 358. № 3. С. 395–398.

Time Variability of the Total Methane Content in the Atmosphere over the Vicinity of St. Petersburg

M. V. Makarova^a, A. V. Poberovskii^a, K. N. Visheratin^b, and A. V. Polyakov^a

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

^b Taifun Research and Production Association, ul. Pobedy 4, Obninsk, Kaluzhskaya oblast, 249038 Russia
e-mail: kvisher@typhoon.obninsk.ru

Received June 18, 2008; in final form, October 1, 2008

Abstract—The results of measuring the methane content in the entire atmospheric thickness over the St. Petersburg region are given for 1991–2007. It is shown that, within this period, the mean annual cycle of the total methane content is characterized by its maximum values in December–January and its minimum values in June–August when the annual-cycle amplitude amounts to ~3.6%. In this case, the annual variations in the total methane content may differ significantly from the mean annual cycle obtained in some years. A statistically significant linear trend of the total CH₄ content has not been revealed for 1991–2007. The obtained values of the linear-trend index have opposite signs in the winter and summer months (positive for January $0.6 \pm 0.2\%$ /year and February $0.4 \pm 0.2\%$ /year and negative for July $0.3 \pm 0.2\%$ /year and August $0.2 \pm 0.1\%$ /year). This fact suggests the tendency for an increase in the amplitude of the annual cycle of the total CH₄ content. The results of a spectral analysis of a series of data on the total CH₄ content show that, for 1991–2007, the following harmonics are pronounced with a confidence of 95%: 12 months (annual harmonic), 32 months (quasi-biennial oscillations), and 55 months (4.5 years), which are also pronounced in the series of meteorological parameters and total ozone content.