

УДК 551.510.42

## Временные вариации концентрации CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> и CO в пригороде Санкт-Петербурга (Петергоф)

С.Ч. Фока, М.В. Макарова, А.В. Поберовский, Ю.М. Тимофеев\*

*Санкт-Петербургский государственный университет  
199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9*

Поступила в редакцию 24.04.2019 г.

Проведено исследование годового и суточного хода, а также трендов концентрации углекислого газа, метана (2013–2018 гг.) и монооксида углерода (2013–2017 гг.) в пригороде Санкт-Петербурга (59,88° с.ш., 29,83° в.д.). За время наблюдений скорость роста концентрации CO составила  $-3,2 \pm 0,5$  млрд<sup>-1</sup>/год, CO<sub>2</sub> –  $2,43 \pm 0,15$  млн<sup>-1</sup>/год, CH<sub>4</sub> –  $8,8 \pm 0,4$  млрд<sup>-1</sup>/год, что сопоставимо с изменениями концентраций газов в глобальном масштабе.

*Ключевые слова:* углекислый газ, метан, монооксид углерода, годовой ход, суточный ход, тренды; carbon dioxide, methane, carbon monoxide, annual cycle, diurnal cycle, trends.

### Введение

Углекислый газ и метан — это важнейшие долгоживущие парниковые газы (CO<sub>2</sub>: 50–200 лет, CH<sub>4</sub>: 10 лет), соответствующие изменения концентрации которых могут привести к уменьшению или увеличению температуры нижних слоев атмосферы, что существенно влияет на изменение климата Земли [1, 2]. Монооксид углерода, время жизни которого в среднем составляет ~2 мес, — химически активный газ. Его изучение важно по ряду причин: CO участвует в процессах формирования тропосферного озона, регулирует окислительную способность тропосферы путем реакции с радикалом гидроксила, а также часто используется в качестве индикатора загрязнения воздушных масс при изучении воздействия антропогенных и природных источников (например, пожаров) на состав атмосферы [1, 2].

В настоящее время наблюдения за CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> и CO проводятся с помощью как спутниковых, так и наземных систем, количество которых непрерывно увеличивается. К спутниковым системам, используемым для измерений метана и углекислого газа, относятся OCO-2, AIRS, GOSAT, IASI, MOPITT [3, 4], а к наземным — NOAA ESRL GMD (Earth System Research Laboratory Global Monitoring Division), начавшая свою работу в 1983 г. [1], TCCON (Total Carbon Column Observing Network), с 2004 г. специализирующаяся на высокоточных измерениях газов углеродного цикла [4], и объединенная европейская сеть наблюдений ICOS (Integrated Carbon

Observation System), развитие которой началось в 2008 г. [5]. В России непрерывные измерения концентрации углекислого газа и метана проводятся Главной геофизической обсерваторией им. Воейкова на ст. Териберка с 1988 г. (с 1996 г. — для метана), на ст. Новый порт с 2002 г., на ст. Тикси с 2011 г., на ст. Воейково с 1996 г. (для метана) [6]. С 1995 по 2010 г. в Институте физики атмосферы РАН им. А.М. Обухова проводились эксперименты TROICA, а именно трансконтинентальные измерения состава атмосферы с использованием передвижной железнодорожной лаборатории, при этом измерялись концентрации газов (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> и CO) как в приземном воздухе, так и в столбе атмосферы [7]. С 1998 г. НПО «Тайфун» осуществляет мониторинг газового состава (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CO, H<sub>2</sub>O) в приземном слое атмосферы [6]. В 2001–2008 гг. в Институте оптики атмосферы (ИОА) СО РАН в рамках международного сотрудничества с Национальным институтом исследований окружающей среды (NIES, Япония) участвовал в создании сети пунктов непрерывных измерений CH<sub>4</sub> и CO<sub>2</sub> в различных частях Западной Сибири [8], названной в последствии JR-STATION (Japan-Russia Siberian Tall Tower Inland Observation Network). В ноябре 2005 г. были начаты непрерывные измерения CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> в районе пос. Зотино Туруханского р-на Красноярского края на территории обсерватории ZOTTO (Zotino Tall Tower Observatory) [9], созданной в рамках совместного проекта Международного научно-технического центра, немецкого Общества Макса Планка (Институт биогеохимии, Йена, Германия) и Российской академии наук (Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск).

Содержание атмосферного CH<sub>4</sub> падало с 1989 по 1996 г., в 1998 г. оно резко увеличилось, после чего, вплоть до 2006–2007 гг., наблюдался период

\* Стефани Чарльзовна Фока (st030659@student.spbu.ru); Мария Владимировна Макарова (zaitst@troll.phys.spbu.ru); Анатолий Васильевич Поберовский (avpob@troll.phys.spbu.ru); Юрий Михайлович Тимофеев (tim@troll.phys.spbu.ru).

стабилизации концентрации [2, 10], а затем рост возобновился. Концентрация CO падает с 1976 г. по настоящее время [1, 11]. За последние 10 лет средняя скорость изменения концентрации CO составила  $-1,3 \text{ млрд}^{-1}/\text{год}$ ,  $\text{CO}_2 - 2,24 \text{ млн}^{-1}/\text{год}$ ,  $\text{CH}_4 - 6,9 \text{ млрд}^{-1}/\text{год}$  [2, 12].

Несмотря на растущее число станций наблюдений, оценки бюджета углеродосодержащих газов в атмосфере существенно разнятся по причине сложности количественного определения мощности источников и стоков в региональных масштабах. Получение и использование новых независимых данных измерений концентраций газов углеродного цикла позволит изучить их долговременный тренд и определить причины их вариаций на территории Санкт-Петербургской агломерации.

## 1. Измерительная аппаратура

Исследования  $\text{CO}_2$ , CO и  $\text{CH}_4$  в приземном слое атмосферы проводятся в Старом Петергофе в здании НИИФ СПбГУ (59,88° с.ш., 29,83° в.д., 30 м над ур. м.) в 35 км к юго-западу от центра Санкт-Петербурга. Вблизи станции расположены лесные массивы, частная малоэтажная и городская застройка. Для измерений используются газоанализаторы LGR GGA-24-г-EP и LGR CO 23r, работа которых основана на методе спектроскопии затухания излучения в резонаторе [13, 14]. Погрешность измерений составляет  $50-150 \text{ млрд}^{-1}$  для  $\text{CO}_2$ ,  $0,3-1 \text{ млрд}^{-1}$  для  $\text{CH}_4$ ,  $0,05-0,15 \text{ млрд}^{-1}$  для CO в зависимости от времени накопления (5–100 с). Для высокой точности получаемых данных производится еженедельная калибровка прибора относительно вторичного стандарта, подготовленного по первичному стандарту ВМО в Главной геофизической обсерватории им. Воейкова. Держателем первичного эталона ВМО является Национальная администрация по океану и атмосфере США (NOAA, ESRL, GMD). Круглосуточные измерения приземных концентраций  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  и CO с периодом в 20 с были начаты в январе 2013 г.

## 2. Анализ временных вариаций концентрации $\text{CO}_2$ , $\text{CH}_4$ , CO на ст. Петергоф

### 2.1. Годовой ход

Основные характеристики годового хода определялись индивидуально для каждого года.

*Углекислый газ.* Анализ концентраций углекислого газа в период с 2013 по 2018 г. показал наличие годового цикла с минимумом в июле–августе и максимумом в ноябре–феврале (табл. 1). Полученные значения сопоставимы с результатами на ст. Парabelь, принадлежащей к тому же широтному поясу (58,24° с.ш., 82,37° в.д.), где отсутствуют антропогенные источники: для периода 2004–2007 гг. минимум наблюдался также в июле и августе, максимум – в декабре [8]. За весь период наших измере-

ний средняя амплитуда годового хода составила  $10,8 \text{ млн}^{-1}$  (2,6%), в 2016 г. она возросла в 1,7 раз по сравнению с остальными годами, что связано с высокой концентрацией  $\text{CO}_2$  в январе (рис. 1). Для января 2016 г. были характерны штилевые условия при резких понижениях температуры, которые привели к температурным инверсиям и ухудшению условий перемешивания.

Таблица 1

Максимальные и минимальные концентрации, а также амплитуда годового хода  $\text{CO}_2$  с 2013 по 2018 г.

Год	Концентрация $\text{CO}_2$ , $\text{млн}^{-1}$		Амплитуда	
	max (мес)	min (мес)	$\text{млн}^{-1}$	%
2013	410,31 (XII)	386,80 (VII)	11,8	2,9
2014	415,42 (I)	395,12 (VII)	10,2	2,5
2015	417,81 (X)	396,24 (VIII)	10,8	2,6
2016	431,31 (I)	393,87 (VII)	18,7	4,6
2018	424,78 (II)	405,23 (VII)	9,8	2,4

*Метан.* Максимум годового хода концентрации метана для ст. Петергоф обычно наблюдается в январе–феврале (табл. 2) [15]. У минимума нет характерного периода, однако чаще всего он наблюдается в теплое время года: в течение трех лет измерений (2015–2018 гг.) из пяти минимум концентрации наблюдался в июне. На ст. Парabelь годового хода метана за 2004–2007 гг. отличается от годового хода метана на ст. Петергоф: максимум отмечается в июле и декабре–январе, минимум – в апреле–мае и в октябре [8]. Амплитуды годового хода  $\text{CH}_4$  на ст. Петергоф, по сравнению с амплитудами годового хода  $\text{CO}_2$ , непостоянны и варьируются от 0,012 до  $0,058 \text{ млн}^{-1}$  (0,6–2,9%). В 2016 и 2018 гг. наблюдались высокие амплитуды годового хода метана по причине его высокой концентрации в январе 2016 и 2018, феврале и июле 2018 г.

Таблица 2

Максимальные и минимальные концентрации, а также амплитуда годового хода  $\text{CH}_4$  с 2013 по 2018 г.

Год	Концентрация $\text{CH}_4$ , $\text{млн}^{-1}$		Амплитуда	
	max (мес)	min (мес)	$\text{млн}^{-1}$	%
2013	1,9743 (II)	1,9128 (XII)	0,031	1,6
2014	1,9561 (II)	1,9328 (IV)	0,012	0,6
2015	1,9904 (II)	1,9183 (VI)	0,036	1,8
2016	2,0600 (I)	1,9434 (VI)	0,058	2,9
2018	2,1920 (I)	1,9436 (VI)	0,124	6,2

*Монооксид углерода.* Для годового хода CO характерен ярко выраженный цикл с максимумом в январе–феврале, минимумом в июне–июле (табл. 3).

Таблица 3

Максимальные и минимальные концентрации, а также амплитуда годового хода CO с 2013 по 2017 г.

Год	Концентрация CO, $\text{млрд}^{-1}$		Амплитуда	
	max (мес)	min (мес)	$\text{млрд}^{-1}$	%
2013	244,3 (II)	107,2 (XI)	69	40
2014	234,1 (XI)	138,8 (VI)	48	25
2015	222,1 (III)	118,5 (VI)	52	31
2016	325,5 (I)	139,2 (VI)	93	52
2017	191,3 (II)	114,7 (VII)	38	25

Амплитуда годового хода варьируется от 38,32 до 93,16 млрд<sup>-1</sup> (25–52%), при этом, как и для концентрации CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub>, самая высокая амплитуда CO зарегистрирована в 2016 г. вследствие его высоких концентраций в январе этого года (см. рис. 1, 2; табл. 1–3).

## 2.2. Долговременные изменения концентрации CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> и CO

Фильтрация выбросов — случаев аномального кратковременного повышения концентраций газов в периоды накопления, а также случаев измерений в шлейфах интенсивных локальных источников — была проведена для массивов медианных значений концентраций всех трех газов.

Долговременные изменения концентраций CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> и CO аппроксимировались линейной функцией, параметры которой определялись с помощью метода наименьших квадратов (пакет Origin); такой подход возможен, когда в анализируемый период укладывается кратное число циклов годовых вариаций. Значимость получаемых оценок определяется рассчитанными погрешностями трендов.

*Углекислый газ.* Наличие большого объема данных (медианных суточных значений) с января 2013 по декабрь 2018 г. позволило оценить скорость роста углекислого газа для ст. Петергоф (рис. 1). Концентрация CO<sub>2</sub> изменялась со скоростью  $2,43 \pm 0,15$  млн<sup>-1</sup>/год. В этот же период времени на ст. Мауна-Лоа скорость роста составила  $2,42 \pm 0,11$  млн<sup>-1</sup>/год; в глобальном масштабе (среднее значение для станций NOAA) —  $2,49 \pm 0,26$  млн<sup>-1</sup>/год [16, 17].

*Метан.* Так как вблизи станции присутствуют антропогенные источники, то для оценки трендов

концентрации CH<sub>4</sub> рассматривались массивы медианных и минимальных суточных значений концентрации CH<sub>4</sub> [15, 18]. Исключение из ряда измерений данных за январь 2016, 2018 и февраль 2018 г., когда наблюдались устойчивые аномально высокие значения концентрации CH<sub>4</sub>, позволило получить значения скорости роста CH<sub>4</sub> для ст. Петергоф, близкие к фоновым: для медианных значений  $9,6 \pm 0,8$  млрд<sup>-1</sup>/год, для минимальных значений  $8,8 \pm 0,4$  млрд<sup>-1</sup>/год. Тренд разности между этими значениями положителен,  $1,0 \pm 0,6$  млрд<sup>-1</sup>/год, и это свидетельствует о том, что интенсивность локальных и мезомасштабных источников CH<sub>4</sub>, характерных для ст. Петергоф, растет быстрее, чем интенсивность региональных или глобальных источников метана (рис. 2). В подавляющем большинстве случаев наибольшие разности между медианными и минимальными значениями концентрации CH<sub>4</sub> наблюдались в теплое время года: май, июнь, август, сентябрь 2013 г., май 2014 г., июль 2018 г. По данным сети NOAA, в глобальном масштабе концентрация метана изменялась со скоростью  $8,8 \pm 0,4$  млрд<sup>-1</sup>/год [19], что хорошо согласуется с оценками скорости роста CH<sub>4</sub> для ст. Петергоф, полученными по массиву минимальных суточных значений.

*Монооксид углерода.* Для оценки трендов CO, так же как и CH<sub>4</sub>, рассматривались массивы медианных и минимальных суточных концентраций. За весь период 2013–2017 гг. скорость изменения концентрации CO составила:  $-6,0 \pm 0,8$  млрд<sup>-1</sup>/год ( $-3,5\%$ /год) для медианных значений,  $-3,2 \pm 0,5$  млрд<sup>-1</sup>/год ( $-1,9\%$ /год) для минимальных значений, что сопоставимо с изменением концентрации газа в глобальном масштабе ( $-2,3\%$ /год) [12] (рис. 2). Отрицательный тренд разности между медианными и минимальными значениями,  $-2,9 \pm 0,4$  млрд<sup>-1</sup>/год, может

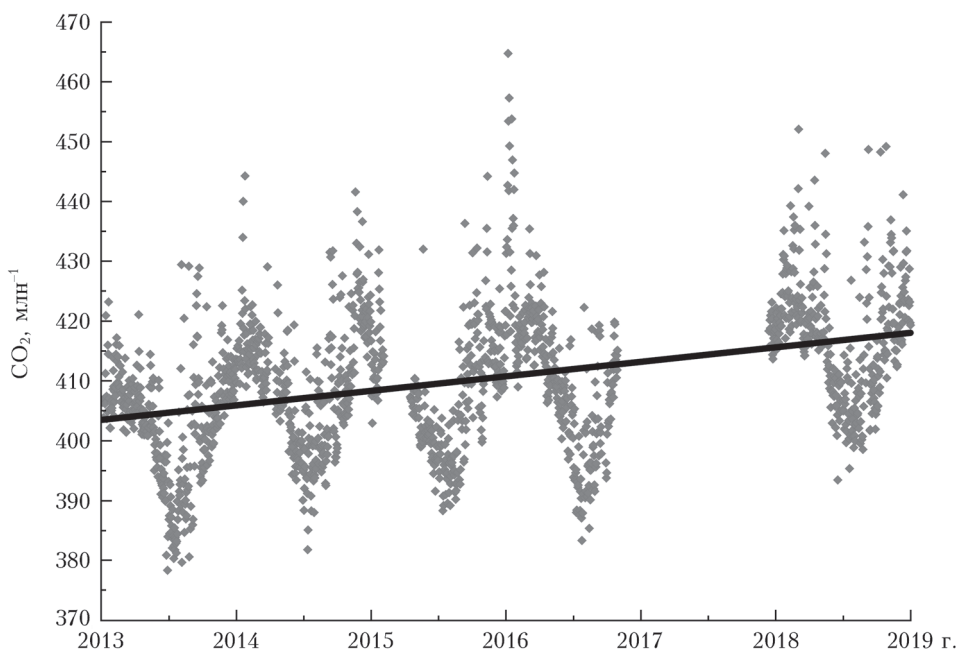


Рис. 1. Медианные суточные концентрации CO<sub>2</sub> с 2013 по 2018 г.; прямая — линия аппроксимации

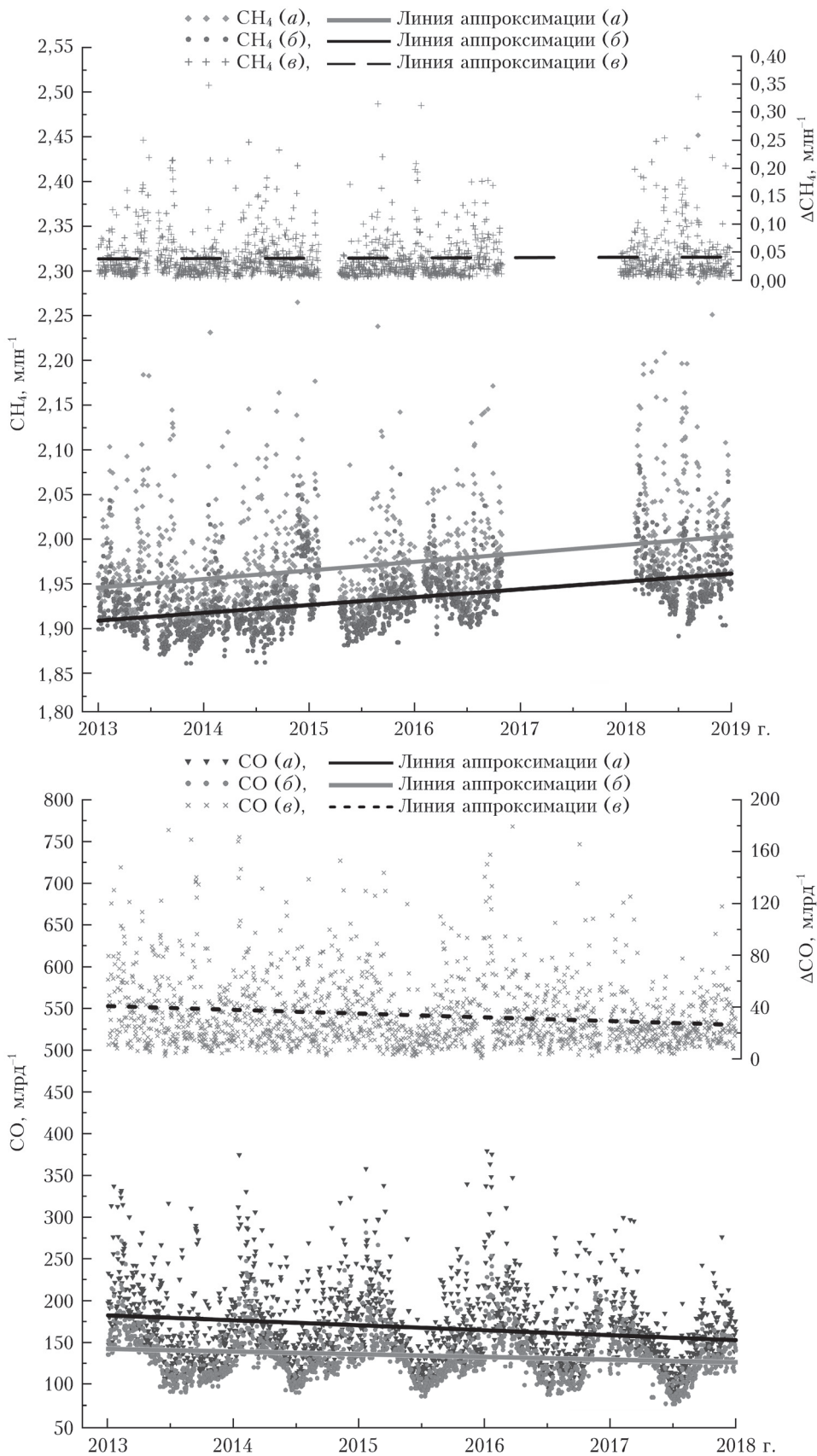


Рис. 2. Суточные концентрации CH<sub>4</sub> (сверху): *a* – медианные; *b* – минимальные; *v* – тренд разности без учета мощных выбросов с 2013 по 2018 г. Суточные концентрации CO (снизу): *a* – медианные; *b* – минимальные; *v* – тренд разности с 2013 по 2017 г.



быть объяснен более быстрым уменьшением интенсивности локальных источников (рост доли новых автомобилей в автопарке Санкт-Петербурга) в сравнении с региональными и глобальными источниками CO.

### 2.3. Суточный ход

**Углекислый газ.** Наибольшие значения амплитуды суточного хода  $CO_2$  ( $a_{CO_2}$ ), варьирующиеся от 14 до 25 млн<sup>-1</sup>, характерны для июля–августа, когда кроме конвективного перемешивания существенное влияние оказывают процессы дыхания и фотосинтеза растений: с 02:00 до 04:00 наблюдаются максимальные концентрации  $CO_2$ ; с 11:00 до 19:00 – минимальные (рис. 3) [20]. С октября по март суточный ход наименее выражен, самые низкие значения  $a_{CO_2}$ , от 1,1 до 1,3 млн<sup>-1</sup>, зафиксированы в декабре – феврале [18]. Полученные значения сопоставимы с результатами на ст. Парабель: максимум  $a_{CO_2}$  был зафиксирован в июле (25 млн<sup>-1</sup>), минимум – в январе (<1 млн<sup>-1</sup>) [8].

**Метан.** Для метана наибольшие амплитуды суточного хода ( $a_{CH_4}$ ), от 0,029 до 0,009 млн<sup>-1</sup>, наблюдаются с мая по сентябрь, максимум, как и для концентрации  $CO_2$ , отмечается в июле (рис. 3). В течение суток минимум концентрации  $CH_4$  регистрируется с 14:00 до 18:00, максимум – с 02:00 до 06:00. Минимальные значения  $a_{CH_4}$ , от 0,004 до 0,01 млн<sup>-1</sup>, отмечаются в период с ноября по февраль (рис. 3) [18]. На ст. Парабель наибольшие  $a_{CH_4}$  наблюдаются в апреле и июле, в остальные же месяцы суточный ход метана нейтральный, что указывает на различие источников метана и их интенсивностей [8] для ст. Парабель и ст. Петергоф.

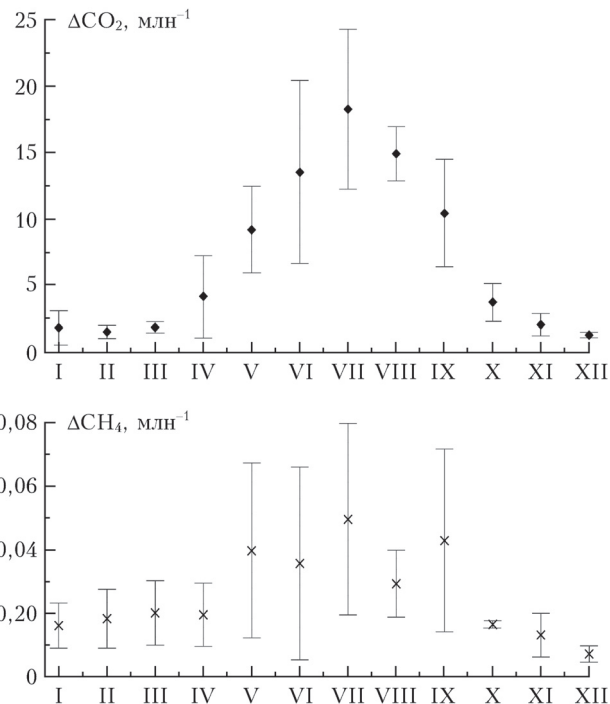


Рис. 3. Амплитуды суточного хода концентраций  $CH_4$  и  $CO_2$  и их вариации в зависимости от месяца года с 2013 по 2018 г.

**Монооксид углерода.** Суточный ход концентрации CO (рис. 4) не имеет выраженной зависимости от времени года. За весь период (2013–2017 гг.) минимальные значения суточного хода наблюдаются с 04:00 до 06:00, далее, до 09:00, происходит резкий рост концентрации из-за увеличения интенсивности антропогенных источников (автотранспорт).

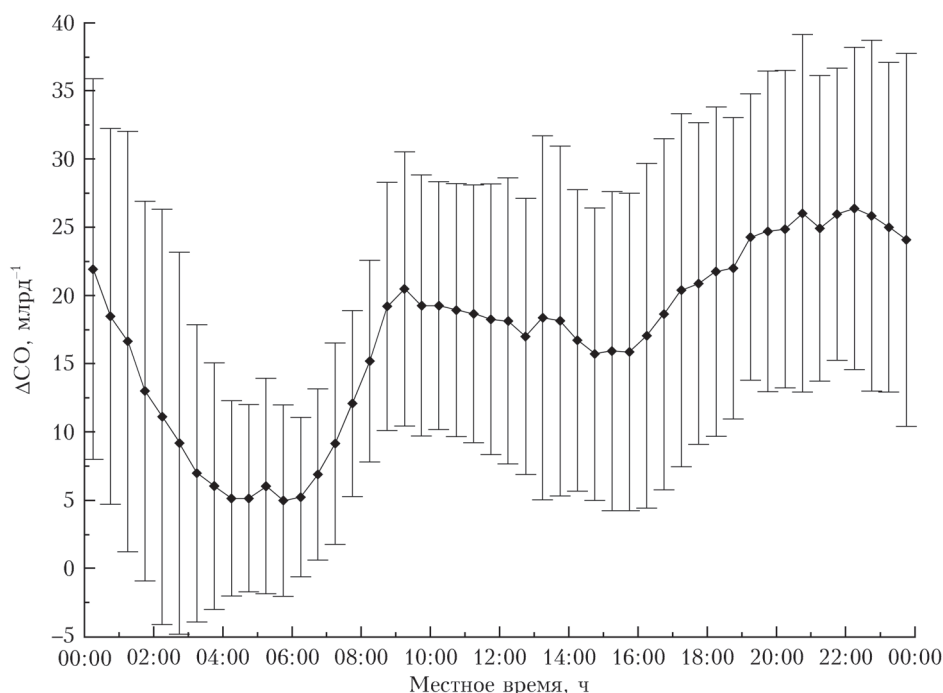


Рис. 4. Среднесуточный ход CO за 2013–2017 гг.

До 16:00 содержание CO постепенно уменьшается, потом резко возрастает и достигает пика в период 20:00–22:00, после чего, с уменьшением влияния антропогенных источников, быстро спадает. В среднем разница между ночным минимумом и вечерним максимумом составляет ~20 млрд<sup>-1</sup>.

### Заключение

В работе был проведен анализ массивов изменений концентраций углекислого газа, монооксида углерода и метана в атмосферном воздухе, полученных на станции атмосферного мониторинга СПбГУ (Петергоф) с 2013 по 2018 г.

Для CO<sub>2</sub> наблюдается годовой ход с амплитудой от 2,4 до 4,6%. Минимум обычно регистрируется в июле–августе, максимум – в январе. Скорость роста концентрации CO<sub>2</sub> составила 2,43 ± 0,15 млн<sup>-1</sup>/год, что хорошо согласуется с данными сети NOAA. Суточный ход углекислого газа максимален в теплое время года, значения амплитуды  $a_{CO_2}$  варьируются от 3,5 до 6,2%; зимой (с декабря по февраль)  $a_{CO_2}$  минимальны и составляют ~0,3%. Поведение CO<sub>2</sub> на ст. Петергоф и ст. Парабель сопоставимо.

Амплитуда годового хода концентрации CH<sub>4</sub> от 0,6 до 6,2%, максимальные значения характерны для января–февраля, минимальные – в основном для июня. Долговременные изменения минимальных значений концентрации CH<sub>4</sub> (8,8 ± 0,4 млрд<sup>-1</sup>/год) сопоставимы с ростом метана в глобальном масштабе за тот же период. Тренд разности между медианными и минимальными значениями (1,0 ± 0,6 млрд<sup>-1</sup>/год) свидетельствует об опережающем росте интенсивности локальных и мезомасштабных источников CH<sub>4</sub> по сравнению с региональными и глобальными источниками метана. Суточный ход метана характеризуют высокие амплитуды  $a_{CH_4}$  с мая по сентябрь (1,5–4,6%), минимальные значения  $a_{CH_4}$  наблюдаются с ноября по февраль (0,2–0,6%).

Годовой ход концентрации CO ярко выражен (амплитуда 25–52%). Минимум наблюдается в июне–июле, максимум – в январе–феврале. Разница в оценках долговременных тенденций с использованием медианных (–3,5%/год) и минимальных (–1,9%/год) значений концентрации CO объясняется изменением структуры автопарка Санкт-Петербурга – увеличением доли новых автомобилей. Для монооксида углерода вне зависимости от времени года характерен суточный ход (амплитуда ~10 млрд<sup>-1</sup>) с минимумом в период с 04:00 до 06:00 и максимумом с 20:00 до 22:00.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-05-00011). Обсуждение полученных результатов проводилось в рамках проекта VERIFY (Towards a robust and comprehensive greenhouse gas verification system) HORIZON2020 #776810, подготовка публикации – в рамках гранта РФФИ ГФЕН-а № 18-55-53062. Измерения выполнены на оборудовании ресурсного центра СПбГУ «Геомодель».

1. *Climate change, the IPCC scientific assessment*, Intergovernmental Panel on Climate Change / J.T. Houghton, G.J. Jenkins, J.J. Ephraums (eds.). 1990. 414 p.
2. *WMO Greenhouse gas bulletin*. N 14, 2018. 8 p.
3. *Тимофеев Ю.М.* Глобальная система мониторинга параметров атмосферы и поверхности. СПб.: 2009. 129 с.
4. *Hedelius J.K., Liu J., Oda T., Maksyutov Sh., Roehl C.M., Iraci L.T., Podolske J.R., Hillyard P.W., Liang J., Gurney K.R., Wunch D., Wennberg P.O.* Southern California megacity CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, and CO flux estimates using ground- and space-based remote sensing and a Lagrangian model // *Atmos. Chem. Phys.* 2018. V. 18, N 22. P. 16271–16291.
5. *ICOS – Progress Report 2015-2017*. URL: [https://www.icos-ri.eu/sites/default/files/2018-08/ICOS\\_Progress\\_Report\\_2015-2017\\_screen.pdf](https://www.icos-ri.eu/sites/default/files/2018-08/ICOS_Progress_Report_2015-2017_screen.pdf) (last access: 17.09.2018).
6. *Алферов А.М., Блинов В.Г., Гитарский М.Л., Грабар В.А., Замолодчиков Д.Г., Зинченко А.В., Иванова Н.П., Ивахов В.М., Карабань Р.Т., Карелин Д.В., Каложный И.Л., Кашин Ф.В., Конюшков Д.Е., Коротков В.Н., Кровотыщев В.А., Лавров С.А., Марунин А.С., Парамонова Н.Н., Романовская А.А., Трунов А.А., Шилкин А.В., Юзбеков А.К.* Мониторинг потоков парниковых газов в природных экосистемах. Саратов: Амирит, 2017. 279 с.
7. *Еланский Н.Ф., Лаврова О.В.* Газовые примеси в атмосфере российских городов (эксперименты TROICA) // Докл. АН. 2014. Т. 459, № 5. С. 629.
8. *Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Inoue G., Максюттов Ш.Ш., Machida T., Фофанов А.В.* Пространственная и временная изменчивость концентрации CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> в приземном слое воздуха на территории Западной Сибири // *Оптика атмосфер. и океана*. 2009. Т. 22, № 2. С. 183–192; *Arshinov M.Yu., Belan B.D., Davydov D.K., Inoue G., Maksyutov Sh.Sh., Machida T., Fofonov A.V.* Spatial and temporal variability of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> concentrations in the surface atmospheric layer over West Siberia // *Atmos. Ocean. Opt.* 2009. V. 22, N 1. P. 84–93.
9. *Winderlich J., Chen H., Gerbig C., Seifert T., Kolle O., Lavrič J.V., Kaiser C., Höfer A., Heimann M.* Continuous low-maintenance CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>O measurements at the Zotino Tall Tower Observatory (ZOTTO) in Central Siberia // *Atmos. Meas. Tech.* 2010. V. 3, N 4. P. 1113–1128. DOI: 10.5194/amt-3-1113-2010.
10. *Sussmann R., Forster F., Rettinger M., Bousquet P.* Renewed methane increase for five years (2007–2011) observed by solar FTIR spectrometry // *Atmos. Chem. Phys.* 2012. V. 12, N 11. P. 4885–4891
11. *Van Dop H., Krol M.* Changing trends in tropospheric methane and carbon monoxide: a sensitivity analysis of OH-radical // *Atmos. Chem. Phys.* 1996. V. 25, N 3. P. 271–288.
12. *Yin Y., Chevallier F., Ciais P., Broquet G., Fortems-Cheiney A., Pison I., Saunois M.* Decadal trends in global CO emissions as seen by MOPITT // *Atmos. Chem. Phys.* 2015. V. 15, N 23. P. 13433–13451.
13. *Baer D.S., Paul J.B., Gupta M., O’Keefe A.* Sensitive absorption measurements in the near-infrared region using off-axis integrated-cavity-output spectroscopy // *Appl. Phys. B: Lasers Opt.* 2002. V. 75, N 2. P. 261–265.
14. *Makarova M.V., Arabadzhyan D.K., Foka S.Ch., Paramonova N.N., Poberovskii A.V., Timofeev Yu.M., Pankratova N.V., Rakitin V.S.* Estimation of nocturnal area fluxes of carbon cycle gases in Saint Petersburg suburbs // *Russ. Meteorol. Hydrol.* 2018. V. 43, N 7. P. 36–44.

15. Арабаджян Д.К., Парамонова Н.Н., Макарова М.В., Поберовский А.В. Анализ временной изменчивости концентрации метана в атмосфере по данным наземных наблюдений // Вестн. Санкт-Петербургского ун-та. Сер. 4: Физика, химия. 2015. Т. 2, № 3. С. 204–215.
16. Dlugokencky E., Tans P. Trends in Atmospheric Carbon Dioxide // NOAA/ESRL [Electronic resource]. URL: [https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/gl\\_data.html](https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/gl_data.html) (last access: 17.12.2018).
17. Keeling R.F., Walker S.J., Piper S.C., Bollenbacher A.F. Scripps Institution of Oceanography (SIO) [Electronic resource]. URL: <http://scrippsco2.ucsd.edu> (last access: 17.12.2018).
18. Виноградова А.А., Федорова Е.И., Беликов И.Б., Гинзбург А.С., Еланский Н.Ф., Скорород А.И. Временные изменения концентраций углекислого газа и метана в городских условиях // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2007. Т. 43, № 5. С. 599–611.
19. Dlugokencky E. Trends in Atmospheric Methane // NOAA/ESRL. URL: [https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends\\_ch4/#global\\_data](https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends_ch4/#global_data) (last access: 17.12.2018).
20. Парамонова Н.Н., Фока С.Ч., Макарова М.В. Анализ измерений концентрации CO<sub>2</sub> в атмосферном воздухе в Петергофе. URL: <http://hdl.handle.net/11701/10715> (last access: 23.04.2019).

*S.Ch. Foka, M.V. Makarova, A.V. Poberovsky, Yu.M. Timofeyev. Temporal variations in CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and CO concentrations in Saint-Petersburg suburb (Peterhof).*

The annual and diurnal variations and trends in the concentrations of CO (during 2013–2017) and CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> (2013–2018) in a suburb of Saint-Petersburg (Peterhof, 59.88 N, 29.83 E) are studied. The growth rate of CO<sub>2</sub> concentrations is  $2.43 \pm 0.15$  ppmv/year, of CH<sub>4</sub>,  $8.7 \pm 0.6$  ppbv/year, and of CO,  $-3.3 \pm 0.5$  ppbv/year. The results are comparable with the gas concentration variations on the global scale.