

Д. К. Арабаджян¹, Н. Н. Парамонова², М. В. Макарова¹, А. В. Поберовский¹

АНАЛИЗ ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНА В АТМОСФЕРЕ ПО ДАННЫМ НАЗЕМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ*

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

² Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова, Российская Федерация, 194021, Санкт-Петербург, ул. Карбышева, д. 7

Представлены результаты и анализ измерений приземной концентрации метана на измерительной станции СПбГУ «Петергоф» (январь 2013 г. — декабрь 2014 г.) Средние суточные вариации концентрации CH_4 , построенные для каждого месяца, показали, что максимальная амплитуда суточного хода достигалась в июле 2013 г. (213,62 ppbv), минимальная — в декабре 2014 г. (12,81 ppbv). По результатам анализа годовых изменений регионального фона концентрации CH_4 для двух лет измерений наблюдается хорошее согласие характера годового хода и его амплитуды ($\approx 2,3\%$). Полученные на станции «Петергоф» данные концентрации CH_4 лежат в интервале ± 20 ppbv относительно результатов ближайших измерительных станций сети ВМО (Всемирная Метеорологическая Организация). При сравнении с результатами измерений концентрации CH_4 на станции ГГО им. Воейкова, расположенной восточнее Санкт-Петербурга, наибольшее рассогласование (≈ 50 ppbv) в 2013 г. наблюдалось в осенне-зимний период. Библиогр. 18 назв. Ил. 8. Табл. 2.

Ключевые слова: атмосферный метан, годовой, суточный ход, концентрация метана.

D. K. Arabadzian¹, N. N. Paramonova², M. V. Makarova¹, A. V. Poberovsky¹

ANALYSIS OF THE TEMPORAL VARIABILITY OF THE CONCENTRATION OF METHANE IN THE ATMOSPHERE USING A GROUND-BASED OBSERVATIONS

¹ St. Petersburg State University, 7–9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russian Federation

² The Voeikov Main Geophysical Observatory, 7, Karbysheva st., St. Petersburg, 194021, Russian Federation

At the atmospheric monitoring station of St. Petersburg State University (Peterhof, about 35 km to the west from the center of St. Petersburg) *in-situ* measurements of methane mole fractions in the ambient air are being carried out from 2013 using gas analyzer LGR Greenhouse Gas Analyzer (GGA-24r-EP). This paper presents the analysis of time series of CH_4 observations from January 2013 to December 2014. Analysis of monthly mean diurnal variations of the CH_4 mole fraction showed that the maximum amplitude of the diurnal cycle was observed in July 2013 (213,62 ppbv), minimum — in December 2014. (12,81 ppbv). Annual cycles of the regional background of CH_4 mole fraction revealed for 2013 and 2014 are similar in character and amplitude ($\approx 2.3\%$). Comparison with independent measurements showed that CH_4 mole fractions which were observed at the Peterhof station agree with results at the nearest WMO (World Meteorological Organization) stations within the range of ± 20 ppbv. Comparison of our data with CH_4 measurements provided by Voeikov Main Geophysical Observatory (the Voeikovo station is located to the east of St. Petersburg) found that the greatest difference (≈ 50 ppbv) between stations was observed during the autumn and winter of 2013. Refs 18. Figs 8. Tables 2.

Keywords: atmospheric methane, annual, diurnal variations, methane mole fraction.

* Исследования выполнены при финансировании Российского научного фонда (№ 14-17-00096). Измерения проведены на оборудовании Ресурсного центра СПбГУ «Геомодель».

Введение. Метан — один из трёх важнейших парниковых газов. Он образуется при разложении органического вещества в условиях пониженного содержания кислорода. После начала промышленной революции человечество оказало значительное влияние на концентрацию атмосферного метана [1, 2]. По различным оценкам, от 30 до 60% от общих выбросов CH_4 связано с антропогенной деятельностью. Наиболее интенсивные источники метана — болота, океаны, термитники, месторождения горючих веществ, транспортировка горючих газов, пищеварительные процессы животных, рисовые плантации [3]. Отметим, что CH_4 не имеет источников в атмосфере (он не образуется в результате реакций в атмосфере), все его источники расположены на Земле.

Удалению метана из атмосферы способствуют природные процессы в почве (окисление бактериями) и атмосферные химические реакции (основная — с радикалом гидроксила в тропосфере).

Современные исследования изменения климата Земли привели к активному развитию наземных и спутниковых систем мониторинга состава атмосферы. Метан в настоящее время активно изучается с помощью данных, получаемых:

- на международных наземных сетях станций NOAA/ESRL (приземные и башенные измерения концентраций CH_4), NDACC [4] и TCCON [5] (измерения общего содержания метана во всей толще атмосферы и профилей CH_4);
- при помощи спутниковой аппаратуры, например, SCIAMACHY [6], GOSAT [7, 8].

В России измерения метана с 1996 г. проводятся на измерительной станции «Териберка», с 2003 г. — на станциях «Новый Порт» и «Воейково» [9]. Значительную роль сыграли и измерения по спектрам солнечного излучения с низким разрешением [10–12].

Метод измерений и аппаратура. Круглосуточные измерения приземных концентраций CH_4 в НИИФ СПбГУ (Старый Петергоф, 59,88° с. ш., 29,83° в. д., 20 м над уровнем моря) начаты в январе 2013 г. [13]. Особенностью расположения измерительной станции является непосредственная близость к разным по интенсивности антропогенным источникам CH_4 (мегаполис Санкт-Петербург, множество более слабых по интенсивности локальных антропогенных источников), а также наличие площадных естественных источников метана (мощные болотные системы Северо-Запада России, переувлажнённые территории).

Старый Петергоф располагается к западу от Санкт-Петербурга (около 35 км от центра) на расстоянии 3 км от Финского залива. Преобладают ветра В, от ЗСЗ до Ю направлений. Санкт-Петербург является мощным источником антропогенных загрязнений. Он расположен в восточном секторе, который, таким образом, следует считать «грязным». Стоит заметить и о наличии локального (близко расположенного) источника метана, которым является, как мы предполагаем, метановая газозаправочная станция, расположенная примерно в 1,3 км к юго-западу от места проведения измерений (НИИФ СПбГУ).

Для мониторинга использовался газоанализатор Los Gatos Research Greenhouse Gas Analyzer (GGA-24r-EP) с высокой частотой (1–100 с), предназначенный для непрерывных измерений концентраций трех основных парниковых газов (H_2O , CO_2 и CH_4) в атмосферном воздухе. Прибор основан на методе внеосевой интегральной ИК-спектроскопии (OA-ICOS — Off-axis Integrated Cavity Output Spectroscopy), который представляет собой модификацию метода внутрирезонаторной лазерной спектроскопии (CRDS — Cavity Ringdown Spectroscopy). Случайная погрешность измерений газоанализатора определяется в основном стабильностью работы лазера и составляет 1–0,3 ррбв в зависимости от времени накопления (5–100 с) [14].

Измерения концентрации CH_4 в атмосферном воздухе осуществлялись каждые 20 с. В данной работе приведён анализ результатов измерений с января 2013 г. по сентябрь 2014 г. Необходимо отметить, что были периоды, когда по техническим причинам измерения не проводились: с 25 июня по 22 июля 2013 г., с 3 по 5 марта и с 29 марта по 14 апреля 2014 г. Поэтому при анализе среднемесячных суточных вариаций и годового хода концентрации CH_4 результаты (июль 2013 г., апрель 2014 г.) рассматривались нами в качестве оценочных.

Анализ результатов измерений.

Суточный ход. По данным, полученным на станции «Петергоф» за 2013 и 2014 гг., были построены суточные вариации концентрации CH_4 для каждого месяца. Анализ двухлетнего ряда измерений концентрации метана показал, что максимумы суточного хода достигались в основном в период с 3:00 до 9:00, минимальные — с 15:00 до 21:00.

Известно [15], что суточный ход концентрации CH_4 (как и годовой ход) в пограничном слое атмосферы формируется под действием двух основных факторов:

- интегральной интенсивности эмиссии метана, которая имеет максимум в летний период [1] за счёт активизации природных источников CH_4 ;
- конвективных процессов в тропосфере (за счёт нагрева суши в дневное время), способствующих перемешиванию воздуха, богатого метаном, из нижних слоёв с более чистым воздухом из более высоких слоёв. Конвективные потоки также наиболее сильны в тёплое время года.

На рис. 1 и 2 приведены значения среднего суточного хода с получасовым шагом для августа (тёплое время года) и ноября (холодный сезон), там же даны значения СКО (характеризующие изменчивость концентраций CH_4).

Видно, что в августе суточный ход чётко выражен. В ночные и утренние часы, когда конвективные потоки практически отсутствуют, высокие концентрации CH_4 определяются накоплением в нижних слоях тропосферы метана, интенсивно выделяющегося из наземных источников. Минимум августовского суточного хода в период с 15 до 19 ч обусловлен активным перемешиванием воздуха за счёт дневной конвекции. Для нояб-

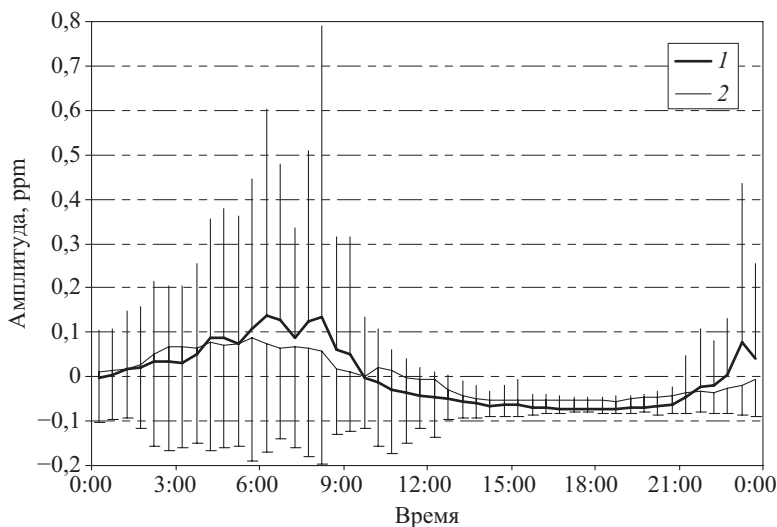


Рис. 1. Суточный ход — август 2013 (1) и август 2014 г. (2):
вертикальные линии обозначают СКО

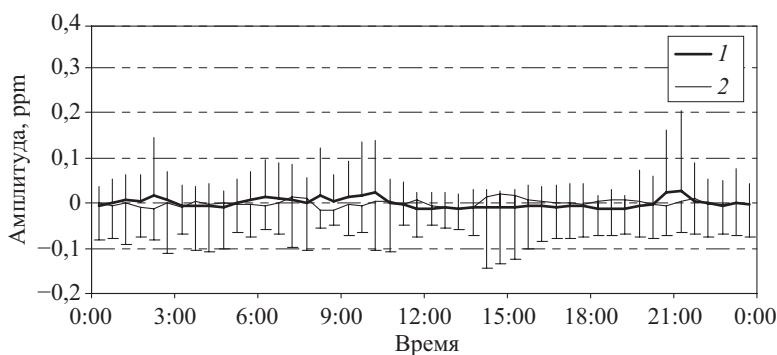


Рис. 2. Суточный ход — ноябрь 2013 (1) и ноябрь 2014 г. (2):
вертикальные линии обозначают СКО

ря, как и для всего холодного периода, отсутствие дневного хода связано со слабыми конвективными потоками (слабый нагрев земной поверхности) и относительно низкими значениями интегральной интенсивности источников метана.

Значения СКО для августа 2013 г. выше, чем для августа 2014 г. При сравнении суточных ходов для ноября СКО 2014 г. выше, чем для 2013 г. Наибольшие значения имеют место для периодов суточного максимума (ночь—утро).

Амплитуды суточного хода (в процентах и ppbV) для 2013 и 2014 г. представлены в табл. 1. Видно, что наибольшие суточные вариации концентрации CH_4 наблюдались с мая по сентябрь. Обращает на себя внимание более высокая амплитуда суточного хода в январе 2014 г. по сравнению с январём 2013 г. Анализ данных январских метеорологических наблюдений для двух лет показал, что в 2014 г. чаще наблюдались условия (штиль, наличие ночных температурных инверсий), приводящие к накоплению антропогенных загрязнений в нижних слоях атмосферы.

Таблица 1

Амплитуды суточного хода для 2013 и 2014 г.

Год	Месяц	Амплитуда хода		Год	Месяц	Амплитуда хода	
		%	ppbV			%	ppbV
2013	январь	3,06	60,60	2014	январь	4,12	82,35
	февраль	3,07	61,74		февраль	1,42	28,03
	март	3,06	59,98		март	2,82	55,43
	апрель	2,27	44,30		апрель*	7,03	139,60
	май	4,20	82,96		май	3,29	64,43
	июнь	7,78	156,93		июнь	4,01	78,62
	июль*	10,60	213,62		июль	5,96	118,28
	август	5,40	105,64		август	3,71	70,52
	сентябрь	7,39	150,14		сентябрь	3,77	72,72
	октябрь	2,79	53,83		октябрь	3,29	63,07
	ноябрь	1,10	21,14		ноябрь	0,94	18,08
	декабрь	1,12	21,44		декабрь	0,68	12,81

* Месяцы с неполными рядами измерений.

Влияние антропогенных источников метана. Периодически регистрируемые высокие концентрации метана связаны с местоположением измерительной станции, где находится большое количество антропогенных источников CH_4 различного масштаба

и интенсивности. Приход загрязнённых городских воздушных масс, штилевые условия, влияние температурных инверсий повышают концентрацию CH_4 в атмосферном воздухе.

Приведём два наиболее характерных примера, отражающих влияние антропогенных источников на концентрации CH_4 .

На рис. 3 представлены значения концентрации метана за 12 января 2013 года. С 5 ч утра и до полудня фон концентрации CH_4 был повышенным: наблюдались пики с максимумами в диапазоне 3–4 ppmv. Резкое повышение значений начинается в 12:50. Через 20 мин достигается максимальное значение концентрации — $\text{CH}_4 \approx 9,78$ ppm, и затем начинается спад, который длится около 25 мин. Таким образом, весь пик укладывается во временные рамки порядка одного часа, и, наиболее вероятно, он мог быть связан с регистрацией шлейфа близко расположенного интенсивного источника CH_4 . Дополнительно необходимо отметить, что 12 января 2013 г. наблюдалась тихая морозная погода (температура воздуха в это время была -15°C , ветер от тихого до слабого или штиль) с ночной и дневной температурными инверсиями.

На рис. 4 представлены значения концентрации метана за 19 февраля 2013 года. Кроме достигнутых высоких значений, обращает на себя внимание симметричность

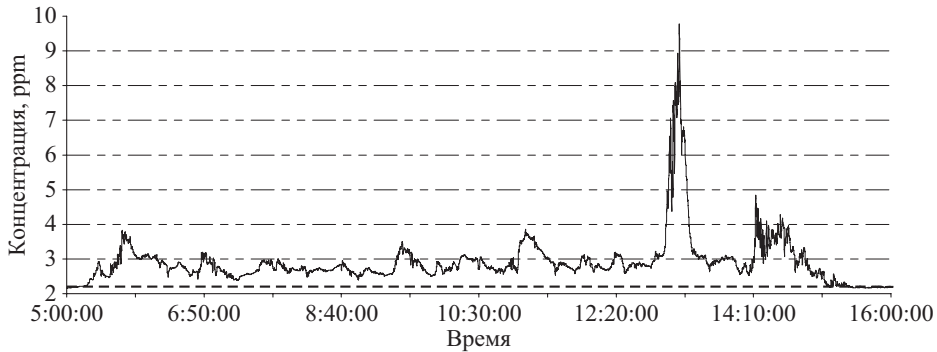


Рис. 3. Временной ход концентрации метана с 5 до 16 часов 12 января 2013 г.

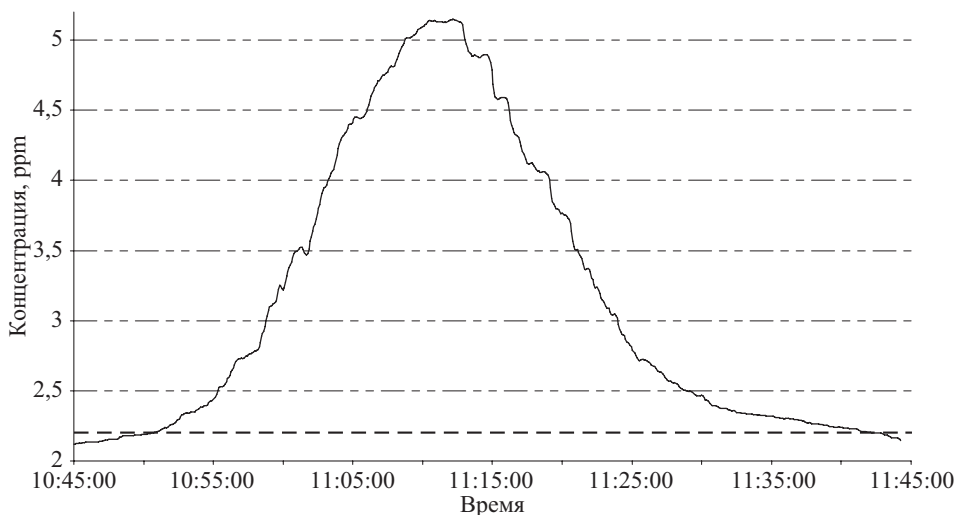


Рис. 4. Временной ход концентрации метана с 10:45 до 11:45 утра 19 февраля 2013 г.

распределения концентрации во времени (встречается достаточно редко). Накопление и спад шли плавно, постепенно, хоть и за относительно короткий промежуток времени — весь период укладывается в 1 ч. Максимально достигнутое значение — 5,15 ppм. Как и для предыдущего случая, накоплению метана способствовала тихая холодная погода [16] и наличие температурной инверсии [17].

На рисунках пунктирной линией отмечен уровень 2,2 ppм — для возможности оценить, насколько высоки были значения метана, зафиксированные газоанализатором. Он был взят как пороговый, исходя из анализа суточного хода концентрации CH_4 .

Годовой ход. Анализ годового хода для станции «Петергоф» проведён с использованием следующих величин:

- средних значений концентрации CH_4 за полумесячный период, где учитывались все данные круглосуточных измерений;
- минимумов среднемесячного суточного хода концентрации CH_4 .

Годовой ход по средним значениям. С помощью рис. 5 можно сравнить годовой ход 2013 г. с годовым ходом 2014 г., а также средний годовой ход по двум годам измерений. «Усы» — значения СКО, характеризующие изменчивость концентраций CH_4 для соответствующего периода.

Годовой ход средних концентраций метана в 2013 г. имеет максимум в первой половине сентября (2065,7 ppbv) и минимум в первой половине декабря (1912,9 ppbv), его амплитуда составляет $\approx 3,9\%$ (76,4 ppbv).

В 2014 г., в отличие от 2013 г., максимальная концентрация достигается не в тёплое время года, а зимой, в январе. О возможных причинах этого явления указано выше. Минимум годового хода средних концентраций CH_4 для 2014 г. наблюдался в августе. Амплитуда годового хода средних концентраций метана в 2014 г. составила 4,4% (85,3 ppbv).

Отметим, что в основном средние концентрации CH_4 в 2014 г. лежат ниже, чем в 2013 г. Отмечается общее возрастание концентрации метана в летний период. Видна большая изменчивость средних значений концентрации CH_4 , присущая обоим годам.

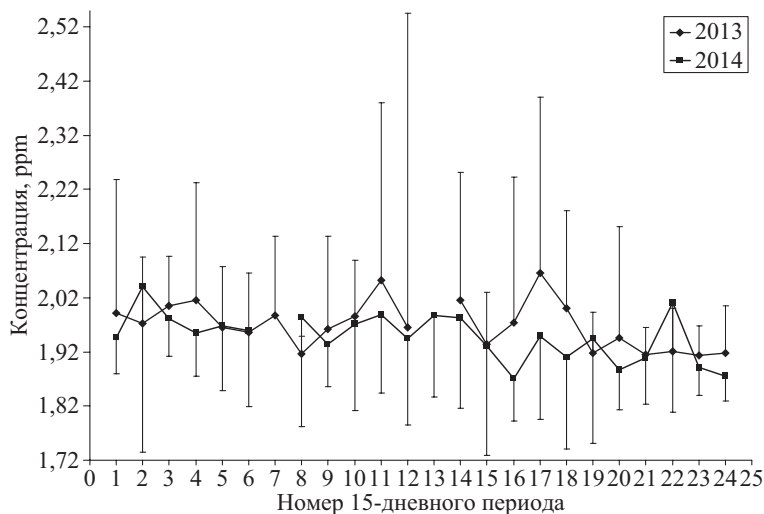


Рис. 5. Годовой ход 2013 и 2014 гг.:

период № 1 — первая половина января; № 24 — вторая половина декабря

Обращает внимание возрастающая в летний период 2013 г. изменчивость концентрации метана (с июня по август). Аналогичного роста СКО в 2014 г. не отмечается.

Годовой ход по периодам суточного минимума. Годовые изменения регионального фона концентрации CH_4 оценивались с использованием полученных нами ранее среднемесячных суточных ходов 2013 и 2014 гг. Для каждого среднемесячного суточного хода выделялся период дневного минимума (период, когда концентрации метана лежат в коридоре от абсолютного суточного минимума до абсолютного суточного минимума плюс 10% от амплитуды суточного хода), длительность которого составляла в среднем 4–5 ч для 2013 г. и 7–8 ч для 2014 г. Затем для этого периода данные усреднялись. На рис. 6 представлен годовой ход, построенный по периодам суточного минимума (ПСМ), а также по суточным минимумам (СМ, минимальное значение, одна точка без осреднений).

В 2014 г. все значения СМ, кроме январских, лежат ниже, чем в 2013 г. Значения ПСМ для 2014 г. также в основном лежат ниже, за исключением трёх месяцев: январь, март и ноябрь.

Обращают на себя внимание низкие августовские значения 2014 г. Период с июля по сентябрь 2014 г. характеризовался в целом более высокими температурами и меньшим количеством осадков по сравнению с тем же периодом 2013 г. Особенно выделяются июль и сентябрь 2014 г. с очень низким количеством осадков. Предположительно, это могло привести к высыханию болот (влажных территорий) и, как следствие, к снижению эмиссии метана из этих источников.

Представленные оценки годовых изменений регионального фона концентрации CH_4 (СМ и ПСМ) для всех лет измерений имеют схожий характер: минимумы наблюдались в августе, максимумы — в январе–феврале. Амплитуды годового хода для 2013 и 2014 гг. составили 43,65 ppbv (2,27%) и 44,63 ppbv (2,34%) соответственно. Такой вид годового хода с летним минимумом и зимним максимумом объясняется, как отмечалось выше, зависимостью интенсивности процессов конвекции от сезона (летом максимум, зимой минимум).

Различие в характерах годового хода, построенного по полному ряду измерений концентрации CH_4 и по минимумам суточного хода, обусловлено тем, что в первом случае

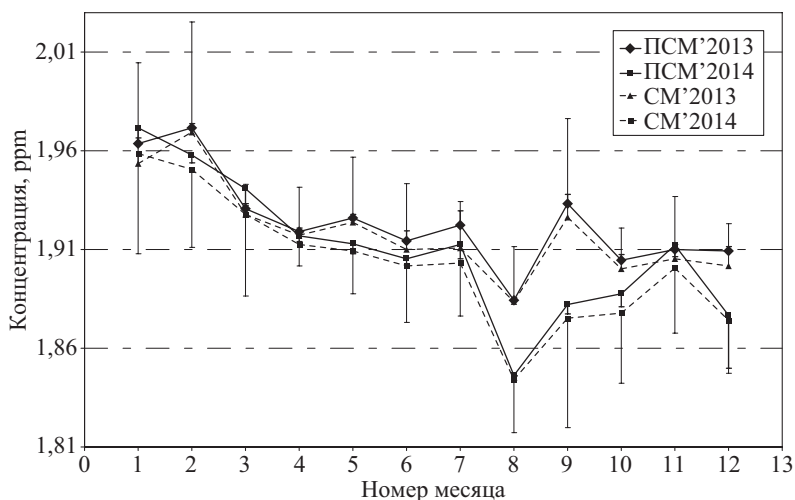


Рис. 6. ПСМ и СМ в 2013 и 2014 гг.

на вид годового хода кроме процессов конвективного перемешивания существенное влияние оказывает сезонность интенсивности эмиссии CH_4 , во втором случае это влияние источников CH_4 минимизировано путём исключения ночных значений.

Сравнительный анализ годового хода концентрации CH_4 за 2013 г. для различных станций. Годовые изменения регионального фона концентрации CH_4 , отмеченные на станции «Петергоф» за 2013 г., мы сравнили с аналогичными величинами, полученными на других станциях (все входят в программу GAW международной сети WMO): «Pallas-Sammaltunturi» (станция принадлежит FMI (Finnish Meteorological Institute), является глобальной), «Териберка» (станция принадлежит MGO (Main Geophysical Observatory), является региональной), «Neuglobsow» (станция принадлежит UBA (Federal Environmental Agency), является региональной) и «Mace Head» (станция принадлежит National University of Ireland, является глобальной) [18] и «Воейково» (станция ГГО им. Воейкова, не входящая в систему международных сетевых измерений) [2].

На рис. 7 показаны графики годовых изменений концентрации CH_4 , зафиксированных на станции «Петергоф» и ближайших к ней (годовой ход для величин ПСМ) фоновых и региональных станциях WMO (эти станции обычно расположены на достаточном удалении от интенсивных антропогенных источников CH_4 , например крупных населённых пунктов).

Видно, что наиболее высокий уровень концентрации метана наблюдается на станции «Neuglobsow», которая находится в лесу, в 7 км от небольшого населённого пункта.

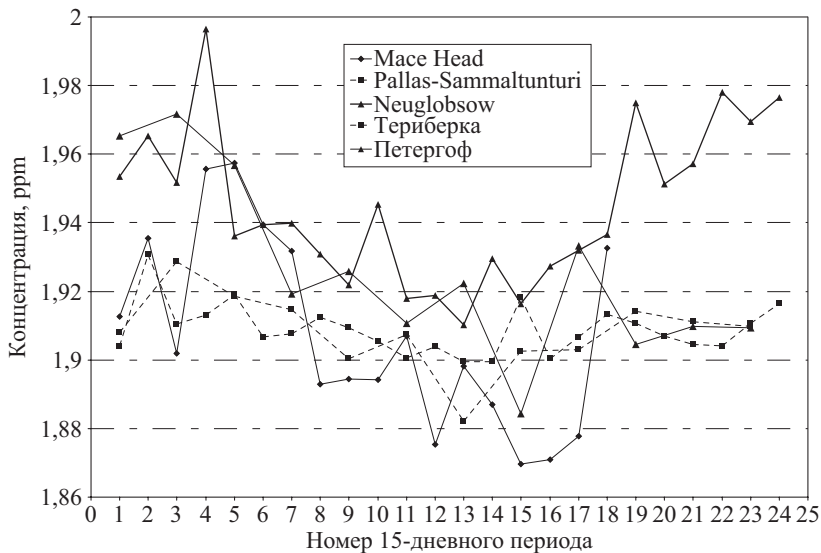


Рис. 7. Годовой ход для станций «Pallas-Sammaltunturi» (Финляндия, $67,58^\circ$ с. ш., $24,07^\circ$ в. д., высота над уровнем моря 560 м; время — UTC+2), «Териберка» (Россия, $69,20^\circ$ с. ш., $35,10^\circ$ в. д., высота над уровнем моря 40 м; время — UTC+4), «Neuglobsow» (Германия, $53,17^\circ$ с. ш., $13,03^\circ$ в. д., высота над уровнем моря 65 м; время — UTC+1) и «Mace Head» (Ирландия, $53,33^\circ$ с. ш., $9,9^\circ$ з. д., высота над уровнем моря 8 м; время — UTC+0):
 период № 1 — первая половина января; № 24 — вторая половина декабря;
 данные «Mace Head» были доступны только по сентябрь включительно

«Петергоф» находится в непосредственной близости от мегаполиса, поэтому можно было ожидать, что концентрации CH_4 здесь будут выше. Теоретически эта разница объясняется, например, более высокой плотностью населения в Германии (по сравнению с Россией), т. е. большим количеством антропогенных источников CH_4 . Кроме того, станция «Neuglobsow» расположена в континентальной части Германии в 110–120 км от берега Балтийского моря, в то время как станция в Петергофе находится недалеко от берега Финского залива (преобладающие ветры западных направлений приносят относительно чистый воздух с Балтийского моря).

В сравнении с данными остальных станций значения концентраций CH_4 «Петергофа» в основном лежат выше, чем значения других станций. Первую половину апреля и вторую половину сентября 2013 г. концентрации CH_4 на «Mace Head» превышали концентрации CH_4 на «Петергофе», хотя ирландская станция находится в океане и значения концентрации CH_4 , измеряемые на этой станции, являются фоновыми.

В табл. 2 представлены данные о минимальных и максимальных значениях концентрации метана для всех сравниваемых станций. Видно, что минимальные значения везде выпадают на летний период, а максимальные — на зимний. Наибольшая амплитуда (2,29%) — на станции «Mace Head», наименьшая (0,82%) — на станции «Pallas-Sammaltunturi».

Таблица 2

Статистические данные о CH_4 на рассматриваемых измерительных станциях за 2013 г.

Станция	Ср. знач., ppm	Min знач., ppm	Max знач., ppm	Месяц _{min}	Месяц _{max}	Амплитуда годового хода,	
						ppm	%
Neuglobsow	1,944	1,910	1,996	июль	февраль	0,0431	2,22
Петергоф PCM	1,926	1,884	1,972	август	февраль	0,0436	2,27
Pallas-Sam.	1,908	1,899	1,931	июль	январь	0,0155	0,82
Териберка	1,908	1,882	1,929	июль	февраль	0,0233	1,22
Mace Head	1,907	1,869	1,957	август	март	0,0438	2,29

Измерительные станции «Петергоф» и «Воейково» находятся достаточно близко друг к другу: расстояние между ними составляет около 50 км. Но станции расположены по разные стороны мегаполиса.

Различие между средними уровнями концентрации CH_4 , полученными по данным станций «Воейково» и «Петергоф», составляет 14,9 ppbv. Максимум годового хода в 2013 г. как для Петергофа, так и для Воейкова наблюдался в сентябре; минимумы зарегистрированы в разные сезоны: весной в Воейкове и зимой в Петергофе. Амплитуда годового хода средней концентрации CH_4 для станции «Воейково» составила 30,1 ppbv (в Петергофе — 76,4 ppbv).

На рис. 8 можно видеть хорошее согласие среднемесячных значений концентрации CH_4 в период с февраля по май, в остальных случаях наблюдается расхождение. Особенно велика разница осенью и зимой (≈ 50 ppbv), что объясняется, во-первых, метеоусловиями, способствующими накоплению загрязняющих веществ антропогенного происхождения в нижних слоях атмосферы и, во-вторых, преобладающими западны-

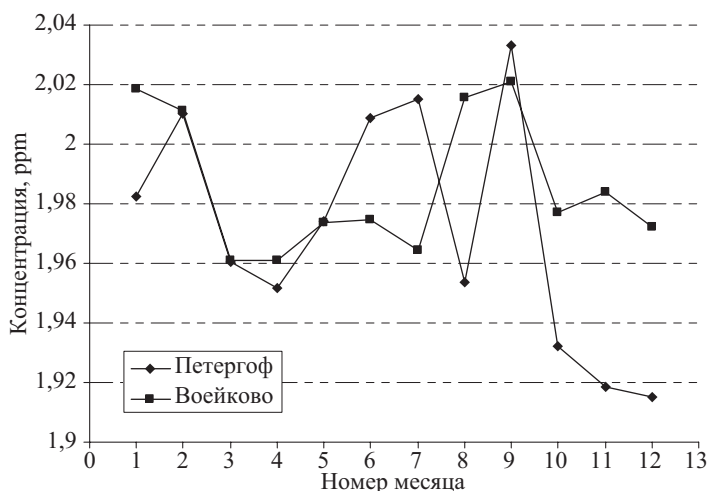


Рис. 8. Годовой ход (станции «Воейково» и «Петергоф») за 2013 г.

ми ветрами в Санкт-Петербурге и Ленинградской области, вследствие чего Петергоф оказывается под влиянием городских загрязнённых воздушных масс реже, чем пос. Воейково.

Заключение. Анализ данных измерений концентрации CH_4 в атмосферном воздухе на станции «Петергоф» за 2013–2014 гг. показал:

- максимальные концентрации метана в эти годы достигаются в ночные часы, что обусловлено метеорологическими условиями, способствующими накоплению CH_4 в приземном слое атмосферы. Минимальные концентрации достигались в дневные часы, когда возникают активные конвективные потоки, перемешивающие воздух из нижних и верхних тропосферных слоёв. Максимальные значения амплитуд суточного хода (5–7%) наблюдаются в период с июля по сентябрь, минимальные (0,7–1,1%) — в ноябре—декабре. Максимальные значения концентрации в 2013 и 2014 гг. были в июле (2338,15 и 2139,71 ppbv соответственно), минимальные — в августе (1883,66 и 1844,01 ppbv);

- высокие значения годового хода зимой и минимум в августе. Годовой ход в 2013 г. имеет максимум в феврале (1971,6 ppbV) и минимум в августе (1884,4 ppbV). Его амплитуда составляет 2,27% (43,65 ppbV). В 2014 г. максимум достигается в январе (1971,5 ppbV), а минимум — в августе (1846,4 ppbV). Его амплитуда составила 2,35% (44,63 ppbV);

- сравниваемые результаты измерений концентрации метана на четырёх станциях WMO фонового и регионального типов («Neuglobsow», «Pallas-Sammaltunturi», «Mace Hade» и «Териберка») свидетельствуют, что наши данные лежат в среднем на 15 ppb ниже уровня концентраций CH_4 , отмеченного на станции «Neuglobsow», и на 15–20 ppb выше уровня CH_4 , зафиксированного на остальных трёх станциях;

- при сравнении данных наших измерений с результатами наблюдений в пос. Воейково отмечено хорошее согласие концентраций CH_4 в период с февраля по май. Наибольшее различие в среднемесячных значениях наблюдается с октября по январь (≈ 50 ppbv), это связано с тем, что в условиях зимнего накопления загрязняющих веществ Петергоф реже оказывается под влиянием городских загрязнённых воздушных масс, чем пос. Воейково.

Литература

1. Макарова М. В., Курнер О., Тимофеев Ю. М. и др. Анализ изменчивости атмосферного метана в Петергофе (59,88 с.ш. 29,83 в.д.) по данным наземных измерений и моделирования. 2. Годовой ход и долговременный тренд // Изв. РАН. ФАО. 2015. (В печати.)
2. Zinchenko A. V., Paramonova N. N., Privalov V. I., Reshetnikov A. I. Estimation of methane emissions in the St. Petersburg, Russia region: An atmospheric nocturnal boundary layer budget approach // *J. Geophys. Research.* 2002. Vol. 107, N D20. P. 4416.
3. Бажин Н. М. Метан в атмосфере // Соросовский образоват. журн. 2000. Т. 6, № 3. С. 52–57.
4. NDACC. URL: <http://www.ndsc.ncep.noaa.gov/> (дата обращения: 13.04.2015).
5. TCCON. URL: <https://tcccon-wiki.caltech.edu/> (дата обращения: 13.04.2015).
6. Dils B., Buchwitz M., Reuter M. et al. The greenhouse gas climate change initiative (GHG-CCI): comparative validation of GHG-CCI SCIAMACHY/ENVISAT and TANSO-FTS/GOSAT CO₂ and CH₄ retrieval algorithm products with measurements from the TCCON // *Atmospheric Measurement Techniques.* Vol. 7, N 6. P. 1723–1744.
7. GOSAT. URL: http://www.gosat.nies.go.jp/index_e.html (дата обращения: 13.04.2015).
8. Saitoh N., Touno M., Hayashida S. et al. Comparisons between XCH₄ from GOSAT shortwave and thermal infrared spectra and aircraft CH₄ measurements over Guam // *Sci. Online Lett. Atmos.* 2012. Vol. 8. P. 145–149.
9. Решетников А. И., Зинченко А. В., Парамонова Н. Н. и др. Результаты мониторинга основных парниковых газов на арктических станциях Росгидромета // Труды Главн. геофизич. обсерватории. 2011. Вып. 564. С. 223–240.
10. Макарова М. В., Курнер О., Тимофеев Ю. М. и др. Анализ изменчивости атмосферного метана в Петергофе (59,88 с.ш. 29,83 в.д.) по данным наземных измерений и моделирования. 1. Общая характеристика рядов // Изв. РАН. ФАО. 2015. Т. 51, № 2. С. 201–209.
11. Dianov-Klokov V. I., Yurganov L. N., Grechko E. I., Dzhola A. V. Spectroscopic measurements of atmospheric carbon monoxide and methane. 1: latitudinal distribution // *J. Atmospheric Chem.* 1989. Vol. 8. P. 139–151.
12. Макарова М. В., Поберовский А. В., Вишератин К. Н., Поляков А. В. Временная изменчивость общего содержания метана в атмосфере вблизи Санкт-Петербурга // Изв. РАН. ФАО. 2009. Т. 45, № 6. С. 774–781.
13. Ресурсный центр СПбГУ «Геомодель». URL: <http://geomodel.spbu.ru/> (дата обращения: 13.04.2015).
14. Сайт компании LGR — Los Gatos Research — описание прибора. URL: <http://www.lgrinc.com/analyzers/overview.php?prodid=23&type=gas> (дата обращения: 13.04.2015).
15. Макарова М. В., Поберовский А. В., Яговкина С. В. и др. Исследования процессов формирования поля метана в атмосфере северо-западного региона Российской Федерации // Изв. РАН. ФАО. 2006. Т. 42, № 2. С. 1–13.
16. Данные метеозондирования. URL: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> (дата обращения: 13.04.2015).
17. Архив погоды на метеостанции в Ломоносове (WMO ID 26064). URL: http://гр5.ru/Архив_погоды_в_Ломоносове (дата обращения: 13.04.2015).
18. Сайт WMO World Data Centre for Greenhouse Gases: архивы данных и краткие описания метеостанций Neuglobsow (Германия), Pallas-Sammaltunturi (Финляндия), Mace Head (Ирландия), Териберка (Россия). URL: <http://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdcgg/> (дата обращения: 13.04.2015).

References

1. Makarova M.V., Kirner O., Timofeev Yu.M. et al. Analiz izmenchivosti atmosfernogo metana v Petergofe (59,88 s.sh. 29,83 v.d.) po dannym nazemnykh izmerenii i modelirovaniia. 2. Godovoi khod i dolgovremennyi trend [The analysis of variability of atmospheric methane in Peterhof (59,88 N, 29,83 E) according to land measurements and modeling. 2. Annual course and long-term trend]. [*Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*], 2015. (In Russian)
2. Zinchenko A.V., Paramonova N.N., Privalov V.I., Reshetnikov A.I. Estimation of methane emissions in the St. Petersburg, Russia region: An atmospheric nocturnal boundary layer budget approach. *J. Geophys. Research.*, 2002, vol. 107, no D20, pp.4416.
3. Bazhin N.M. Metan v atmosfere [Methane in the atmosphere]. *Sorosovskii obrazovat. zhurn.* [*Soros Educational Journal*], 2000, vol. 6, no 3, pp.52–57. (In Russian)
4. NDACC. Available at: <http://www.ndsc.ncep.noaa.gov/> (accessed: 13.04.2015)
5. TCCON. Available at: <https://tcccon-wiki.caltech.edu/> (accessed: 13.04.2015)

6. Dils B., Buchwitz M., Reuter M. et al. The greenhouse gas climate change initiative (GHG-CCI): comparative validation of GHG-CCI SCIAMACHY/ENVISAT and TANSO-FTS/GOSAT CO₂ and CH₄ retrieval algorithm products with measurements from the TCCON. *Atmospheric Measurement Techniques*, vol. 7, no 6, pp.1723–1744.
7. GOSAT. Available at: http://www.gosat.nies.go.jp/index_e.html (accessed: 13.04.2015)
8. Saitoh N., Touno M., Hayashida S. et al. Comparisons between XCH₄ from GOSAT shortwave and thermal infrared spectra and aircraft CH₄ measurements over Guam. *Sci. Online Lett. Atmos.*, 2012, vol. 8, pp.145–149.
9. Reshetnikov A.I., Zinchenko A.V., Paramonova N.N. et al. Rezul'taty monitoringa osnovnykh parnikovykh gazov na arkticheskikh stantsiiakh Rosgidrometa [Results of monitoring of the main greenhouse gases at the Arctic stations of Roshydromet]. *Trudy Glavn. geofizich. observatorii [Proceedings of Main Geophysical Observatory]*, 2011, iss. 564, pp.223–240. (In Russian)
10. Makarova M.V., Kirner O., Timofeev Iu.M. et al. Analiz izmenchivosti atmosfernogo metana v Petergofe (59,88 s.sh. 29,83 v.d.) po dannym nazemnykh izmerenii i modelirovaniia. 1. Obshchaya kharakteristika riadov [The analysis of variability of atmospheric methane in Peterhof (59,88 N of 29,83 E) according to land measurements and modeling. 1. General characteristic of ranks]. [*Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*], 2015, vol. 51, no 2, pp.201–209. (In Russian)
11. Dianov-Klokov V.I., Yurganov L.N., Grechko E.I., Dzhola A.V. Spectroscopic measurements of atmospheric carbon monoxide and methane. 1: latitudinal distribution. *J. Atmospheric Chem.*, 1989, vol. 8, pp.139–151.
12. Makarova M.V., Poberovskii A.V., Visheratin K.N., Poliakov A.V. Vremennaia izmenchivost' obshchego sodержaniia metana v atmosfere vblizi Sankt-Peterburga [Temporary variability of the general content of methane in to the atmosphere near St. Petersburg]. [*Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*], 2009, vol. 45, no 6, pp.774–781. (In Russian)
13. Resource center of St. Petersburg State University "Geomodel". Available at: <http://geomodel.spbu.ru> (accessed: 13.04.2015)
14. Los Gatos Research. Available at: <http://www.lgrinc.com/analyzers/overview.php?prodid=23&type=gas> (accessed: 13.04.2015)
15. Makarova M.V., Poberovskii A.V., Iagovkina S.V. et al. Issledovaniia protsessov formirovaniia polia metana v atmosfere severo-zapadnogo regiona Rossiiskoi Federatsii [Researches of processes of formation of a field of methane in to the atmosphere of the northwest region of the Russian Federation]. [*Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*], 2006, vol. 42, no 2, pp.1–13. (In Russian)
16. Data of meteosounding. Available at: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> (accessed: 13.04.2015)
17. Archive of weather on a meteorological station in Lomonosov (WMO ID 26064). Available at: http://rp5.ru/Архив_погоды_в_Ломоносове(accessed: 13.04.2015)
18. WMO World Data Centre for Greenhouse Gases. Available at: <http://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdcgg> (accessed: 13.04.2015)

Статья поступила в редакцию 17 апреля 2015 г.

Контактная информация

Арабаджян Дина Кареновна — инженер-исследователь; e-mail: dina_ar@rambler.ru

Парамонова Нина Николаевна — кандидат физико-математических наук;
e-mail: nina-paramonova@mail.ru

Макарова Мария Владимировна — кандидат физико-математических наук;
e-mail: zaits@troll.phys.spbu.ru

Поберовский Анатолий Васильевич — кандидат физико-математических наук;
e-mail: avpob@troll.phys.spbu.ru

Arabadzhian Dina K. — research engineer; e-mail: dina_ar@rambler.ru

Paramonova Nina N. — Candidate of Physics and Mathematics; e-mail: nina-paramonova@mail.ru

Makarova Maria V. — Candidate of Physics and Mathematics; e-mail: zaits@troll.phys.spbu.ru

Poberovsky Anatoly V. — Candidate of Physics and Mathematics; e-mail: avpob@troll.phys.spbu.ru