

УДК 551.510.42

## Сопоставление данных SAMS по содержанию CO<sub>2</sub> с результатами измерений в Петергофе

Г.М. Неробелов, Ю.М. Тимофеев, С.П. Смышляев, Я.А. Виролайнен,  
М.В. Макарова, С.Ч. Фока\*

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

Поступила в редакцию 31.03.2020 г.

Сопоставлены содержания CO<sub>2</sub> в атмосфере над Петергофом (Санкт-Петербург, Россия) из базы данных SAMS с локальным и дистанционным измерениям в 2018 г. Анализ показывает, что разница между значениями приземной концентрации по данным SAMS и измерениям, а также коэффициент корреляции сильно варьируются в зависимости от месяца. Наземные и спутниковые спектроскопические измерения среднего отношения смеси CO<sub>2</sub> хорошо согласуются с данными SAMS, что свидетельствует о возможности использования данных SAMS по XCO<sub>2</sub> для решения обратных задач по определению антропогенных эмиссий для территории Санкт-Петербурга и его окрестностей.

*Ключевые слова:* углекислый газ, базы данных содержания газов, SAMS, локальные и дистанционные измерения, приземная концентрация, среднее отношение смеси в столбе, годовой ход; carbon dioxide, gas-content databases, SAMS, *in situ* and remote measurements, surface concentration, column averaged mixing ratio, annual variation.

### Введение

Усиливающееся влияние роста содержания парниковых газов на климат Земли [1] стало причиной разработки новых, в том числе спутниковых, методов измерений антропогенных эмиссий этих газов [2]. Такие подходы важны в качестве независимых оценок эмиссий в дополнение к традиционным инвентаризационным методам. Они также используются для контроля выполнения международных договоров о снижении антропогенных выбросов. Как и большинство некорректных обратных задач, определение интенсивности поверхностных эмиссий по измерениям пространственно-временных распределений содержания исследуемых газов [3] требует задания дополнительной априорной информации. Качество этой информации (используемой численной модели атмосферы, начального приближения и ковариационной матрицы вариаций содержания газов) играет существенную роль.

Данные европейской программы SAMS (Copernicus Atmosphere Monitoring Service), в рамках которой выполняются ежедневный анализ и прогноз содержания парниковых газов и их эмиссий в глобальном и региональном масштабах [4] с помощью раз-

личных методов, часто используются в качестве априорной информации для решения упомянутых выше обратных задач и для задания нижних граничных условий при численном моделировании изменчивости парниковых газов. Поэтому важно проводить регулярную валидацию базы данных SAMS с помощью различных экспериментальных данных, в частности, для тех регионов, где спутниковые методы оценки эмиссий планируется применять на постоянной основе.

Результаты валидации различных продуктов программы SAMS для CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> представлены, например, в [5–7]. В настоящей работе проведено сопоставление данных SAMS с данными измерений приземной концентрации CO<sub>2</sub>, а также среднего отношения смеси CO<sub>2</sub> (XCO<sub>2</sub>) вблизи Санкт-Петербурга с помощью наземного и спутникового (OCO-2) спектроскопических методов. Такая валидация является важным этапом выбора и уточнения априорной информации для реализации регулярного спутникового контроля антропогенных эмиссий CO<sub>2</sub> в районе мегаполиса Санкт-Петербурга.

### 1. База данных содержания CO<sub>2</sub> SAMS

В настоящей работе исследуется база данных атмосферного содержания CO<sub>2</sub> SAMS версии v18r3, полученная на основе численного моделирования глобальной моделью LMDz (Laboratoire de Météorologie Dynamique). Для описания переноса газовых примесей применяются схемы турбулентного

\* Георгий Максимович Неробелов (akulish95@mail.ru); Юрий Михайлович Тимофеев (y.timofeev@spbu.ru); Сергей Павлович Смышляев (smyshl@rshu.ru); Яна Акселевна Виролайнен (yana.virolainen@spbu.ru); Мария Владимировна Макарова (zaits@troll.phys.spbu.ru); Стефани Чарльзона Фока (stesy16@mail.ru).

переноса в пограничном слое, глубокой конвекции (по вертикали) и монотонного переноса конечного объема второго порядка (по горизонтали) [8, 9]. Данные SAMS, представленные в виде концентрации газа на вертикальных модельных уровнях, а также в виде величин  $\text{XCO}_2$ , имеют горизонтальное разрешение  $1,86^\circ$  по широте и  $3,75^\circ$  по долготе. Указанная база данных создается в рамках решения задачи оценки интенсивностей эмиссий парниковых газов [7].

## 2. Данные измерений содержания $\text{CO}_2$ в Петергофе

В настоящей работе используются результаты измерений  $\text{CO}_2$  на наблюдательной станции Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ) в Петергофе ( $59,88^\circ$  с.ш.;  $29,83^\circ$  в.д., 20 м над ур. м.) в 35 км к юго-западу от центра Санкт-Петербурга [10]. Отметим, что на территории Петергофа (площадь  $\sim 48 \text{ км}^2$ ) расположено большое количество зеленых зон и неразветвленная сеть автомобильных дорог. Сам город находится почти в 30 км от наиболее загруженной транспортом части Санкт-Петербурга. Можно предположить, что благодаря этому обстоятельству биогенный  $\text{CO}_2$ , особенно в вегетационный период, преобладает над антропогенным. Однако через Петергоф проходит автомобильная трасса, соединяющая центр Санкт-Петербурга с его Ломоносовским и Кронштадтским районами, что вносит вклад в антропогенные выбросы  $\text{CO}_2$  на территории Петергофа. Более того, по данным погодного сайта [gr5.ru](http://gr5.ru) в 2018 г. преобладал ветер с северного по восток-юго-восточное направление ( $\sim 36\%$  случаев), что могло обеспечить достаточный перенос воздушных масс с территории Санкт-Петербурга на территорию Петергофа и вносить дополнительный антропогенный вклад в содержание  $\text{CO}_2$ .

Измерения приземной концентрации  $\text{CO}_2$  в СПбГУ с 2013 г. проводятся с помощью газоанализатора Los Gatos Research Greenhouse Gas Analyzer (LGR GGA-24-r-EP) ([http://www.lgrinc.com/documents/LGR\\_FGGA\\_Datasheet%20-%2020180101.pdf](http://www.lgrinc.com/documents/LGR_FGGA_Datasheet%20-%2020180101.pdf)). Погрешность измерений лежит в интервале 150–50 ppbv в зависимости от времени накопления (5–100 с). Чтобы обеспечить высокую точность получаемых данных, производится еженедельная калибровка прибора с помощью вторичного стандарта, подготовленного по первичному стандарту ВМО NOAA-04 в Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова.

Для сопоставления с данными SAMS в первую очередь рассчитываются медианные значения оригинальных измерений газоанализатора за 15 мин до и после сроков измерений с частотой 15 мин. Затем определяется скользящее среднее за час до и после сроков полученных медиан с частотой 1 час. Таким образом, ряд измерений рассматривается как относящийся к довольно протяженным по горизонтали объемам атмосферы при наличии ветра, по-

скольку с учетом даже невысокой скорости ветра в 2–3 м/с через пункт наблюдений за 2 ч может пройти воздушная масса протяженностью 14–22 км. Несмотря на это, данные локальных наблюдений демонстрируют изменчивость концентрации  $\text{CO}_2$  в области, намного меньшей, чем размер ячейки SAMS ( $\sim 200 \times 400 \text{ км}^2$ ).

Для валидации данных SAMS по  $\text{XCO}_2$  в настоящей работе также используются наземные измерения содержания  $\text{CO}_2$  инфракрасным Фурье-спектрометром (ИКФС) Bruker 125HR, которые проводятся на станции СПбГУ в Петергофе с 2009 г. [11]. Результаты наземных спектроскопических измерений  $\text{XCO}_2$  в соответствии с выводами [12, 13] корректируются (уменьшаются на 2,5%) для исключения систематических отличий от данных эталонной измерительной сети TCCON (Total Carbon Column Observing Network). Случайные погрешности этих измерений составляют 0,4–0,6%.

В валидации также используются данные измерений со спутника OCO-2, который был запущен в июле 2014 г. По данным [14], средние абсолютные и среднеквадратические отклонения (СКО) данных OCO-2 от измерений ст. TCCON составляют менее 0,4 и 1,5 ppm.

## 3. Сопоставление базы данных SAMS с измерениями за 2018 г.

В качестве временного периода для сравнения был выбран 2018 г., поскольку для него имелись все три типа измерений содержания  $\text{CO}_2$  в Петергофе.

### 3.1. Приземные концентрации

В табл. 1 приведены основные статистические характеристики двух сравниваемых ансамблей данных приземной концентрации  $\text{CO}_2$  (среднемесячные значения и СКО): по наземным измерениям и по данным SAMS. Максимальные средние значения приземных концентраций наблюдаются зимой или в начале весны как для измерений (426 ppm в феврале и 426,2 ppm в марте), так и для базы SAMS (438,6 ppm в декабре). Минимальные средние наблюдаются в летний период: в августе – для изме-

Таблица 1  
Основные статистические характеристики рядов измерений в Петергофе и данных SAMS за 2018 г.

Месяц	Средние измерения $\pm$ СКО, ppm	Средние SAMS $\pm$ СКО, ppm
Январь	425,1 $\pm$ 5,7	427,9 $\pm$ 9,2
Февраль	427,0 $\pm$ 7,2	428,0 $\pm$ 9,0
Март	426,2 $\pm$ 13,0	424,0 $\pm$ 7,3
Апрель	424,0 $\pm$ 9,9	425,6 $\pm$ 9,9
Май	425,5 $\pm$ 22,8	421,5 $\pm$ 13,1
Июнь	410,7 $\pm$ 13,3	415,4 $\pm$ 13,8
Июль	418,3 $\pm$ 32,4	413,7 $\pm$ 20,1
Август	410,2 $\pm$ 17,9	415,1 $\pm$ 17,8
Сентябрь	418,3 $\pm$ 26,4	414,9 $\pm$ 17,5
Октябрь	420,3 $\pm$ 13,1	420,5 $\pm$ 13,3
Ноябрь	423,3 $\pm$ 8,1	430,6 $\pm$ 13,6
Декабрь	424,5 $\pm$ 6,2	438,6 $\pm$ 16,1

рений (410,2 ppm), в июле – для SAMS (413,7 ppm). Отметим относительно большие различия среднемесячных приземных концентраций CO<sub>2</sub> в декабре 2018 г. (~ 14 ppm). СКО измеренных значений, в зависимости от месяца, могут быть как больше, так и меньше данных SAMS. Они максимальны летом (20,1 ppm для SAMS и 32,4 ppm для измерений в июле) и минимальны весной для SAMS (7,3 ppm в марте) и зимой – для измерений (5,7 ppm в январе). Естественная изменчивость измеренной концентрации CO<sub>2</sub> летом больше изменчивости по данным SAMS.

Анализ временных рядов приземной концентрации CO<sub>2</sub> по данным SAMS и измерений за каждые 3 ч продемонстрировал их хорошее согласие, хотя в ряде случаев отличия достигают 60 ppm и более (например, в сентябре). Для иллюстрации на рис. 1 приведены вариации приземной концентрации CO<sub>2</sub> для февраля и июля вместе с разностями между данными SAMS и измерений.

Сопоставления для всех 12 месяцев показали, что временной ход данных SAMS и измерений может различаться в зависимости от рассматриваемого месяца. Наибольшая схожесть наблюдается для июля, сентября и ноября, наименьшая – для марта и апреля. Оценка наибольшей и наименьшей схожести совпадает с оценкой коэффициентов корреляции для всех месяцев (табл. 2). Несмотря на достаточ-

ную близость значений SAMS и измерений в течение месяцев с наименьшей систематической погрешностью (в частности, март и апрель), их тренды заметно различаются. Например, в отдельные периоды наблюдается увеличение значений SAMS, тогда как измерения демонстрируют уменьшение или постоянство величин CO<sub>2</sub>. В теплое время года четко видны суточные вариации концентраций CO<sub>2</sub> как по данным SAMS, так и в измерениях. При этом в отдельные месяцы амплитуды суточных вариаций по измерениям существенно превышают, а в другие месяцы, наоборот, значительно ниже данных SAMS.

Таблица 2 показывает, что средние отклонения находятся в диапазоне от 1,65 ppm (~ 0,4%) в апреле до 14,1 ppm (~ 3,3%) в декабре, СКО – от 8,2 ppm (~ 2%) в феврале до 20,9 ppm (~ 5%) в июле. Наибольшие средние отклонения (> 1%) наблюдаются в июне, августе, ноябре и декабре. Наименьшие отклонения отмечаются в период с января по апрель и в октябре.

СКО между данными SAMS и измерениями максимальны в мае, июле, сентябре и декабре, составляя ~ 20 ppm (4–5%), и минимальны в январе (9,08 ppm, или 2,2%) и феврале (8,16 ppm, или 1,9%).

Коэффициент корреляции сильно варьируется, относительно большие значения наблюдаются в июле (0,77 ± 0,08), сентябре (0,66 ± 0,09) и ноябре

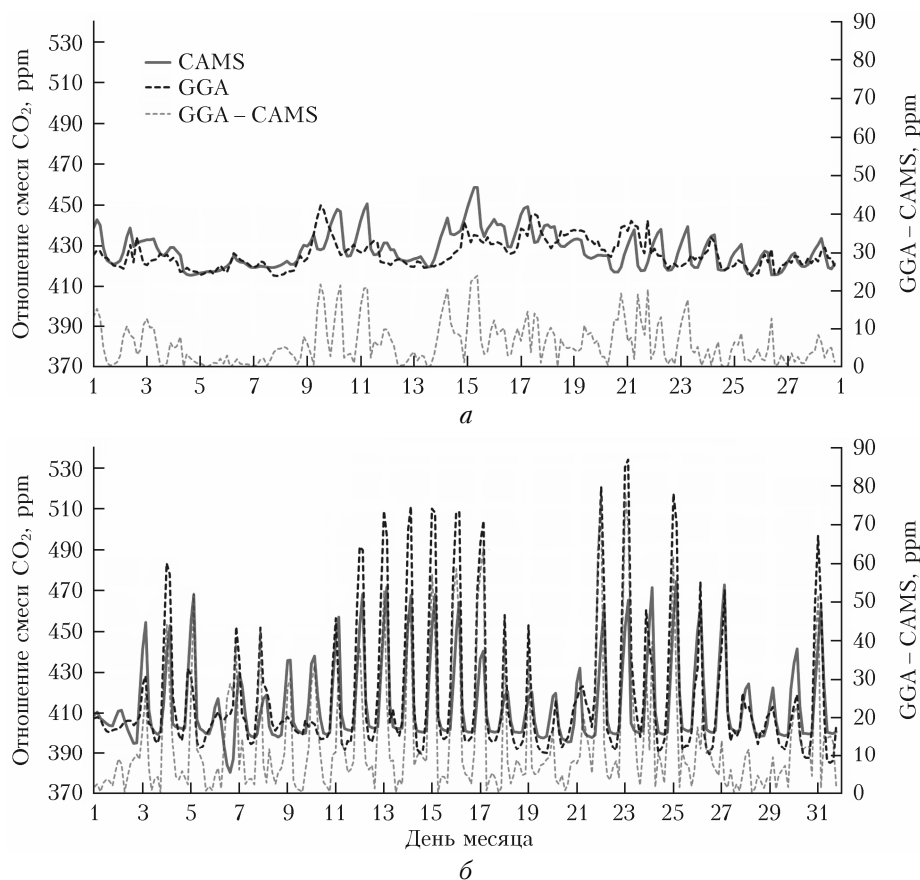


Рис. 1. Временное изменение концентрации CO<sub>2</sub> на ст. Петергоф на основе данных SAMS и наземных измерений (GGA) и разница их значений: а – в феврале; б – июле 2018 г.

Таблица 2

**Количественные характеристики различий приземной концентрации CO<sub>2</sub> по локальным измерениям в Петергофе и данным SAMS за 2018 г.**

Месяц	Измерения – SAMS		
	<i>M</i> , ppm (%)	СКО, ppm (%)	<i>R</i>
Январь	-2,75 (-0,65)	9,08(2,16)	0,40 ± 0,12
Февраль	-2,05 (-0,49)	8,16 (1,94)	0,54 ± 0,10
Март	2,19 (0,52)	12,22 (2,90)	0,40 ± 0,12
Апрель	-1,65 (-0,39)	12,09 (2,87)	0,26 ± 0,14
Май	4,01 (0,95)	19,06 (4,53)	0,56 ± 0,11
Июнь	-4,78 (-1,13)	13,31 (3,16)	0,58 ± 0,11
Июль	3,84 (0,91)	20,90 (4,96)	0,77 ± 0,08
Август	-4,84 (-1,15)	15,60 (3,71)	0,69 ± 0,10
Сентябрь	3,34 (0,79)	19,68 (4,68)	0,67 ± 0,10
Октябрь	-0,15 (0,03)	13,57 (3,22)	0,46 ± 0,11
Ноябрь	-7,28 (-1,73)	11,16 (2,65)	0,81 ± 0,08
Декабрь	-14,06 (-3,34)	19,18 (4,55)	0,63 ± 0,11

Примечание. *M* – среднее отклонение; *R* – коэффициент корреляции.

(0,81 ± 0,08). Наименьшая статистическая связь между данными – в январе (0,39 ± 0,12), марте (0,40 ± 0,12) и апреле (0,26 ± 0,14). Можно предположить, что значительные отличия данных SAMS от измерений связаны с априорными ошибками в базах биосферно-атмосферных выбросов CO<sub>2</sub>, которые используются при моделировании переноса газа на этапе создания данных SAMS [7].

### 3.2. Среднее отношение смеси

#### 3.2.1. Наземные измерения прибором Bruker 125HR

Для валидации значений XCO<sub>2</sub> в SAMS использовались данные измерений ИКФС с января по ноябрь 2018 г., всего 170 случаев измерений.

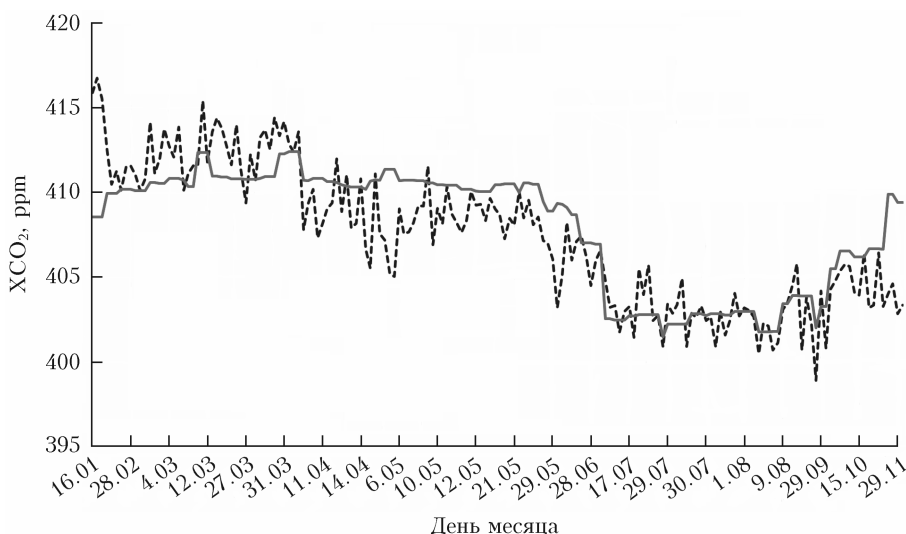


Рис. 2. Временной ход XCO<sub>2</sub> по данным наземных измерений Bruker 125HR (штриховая кривая) и SAMS (сплошная кривая) за 2018 г.

Величины XCO<sub>2</sub> были получены с помощью схемы обработки спектроскопических измерений, описанной в работе [15]. Отметим, что наземные измерения CO<sub>2</sub> были скорректированы на рекомендованную величину в 2,5% [12, 13].

На рис. 2 показан временной ход спектроскопических измерений и данных SAMS за каждые 3 ч исследуемого периода. Видно, что данные SAMS достаточно хорошо повторяют ход измеренных XCO<sub>2</sub>. Для обоих рядов наблюдается уменьшение значений XCO<sub>2</sub> с конца мая по конец августа.

В табл. 3 приведены основные количественные характеристики различий XCO<sub>2</sub> по измерениям ИКФС и данным SAMS.

Таблица 3

**Количественные характеристики различий XCO<sub>2</sub> по измерениям ИКФС Bruker 125HR и OCO-2 с данными SAMS**

<i>M</i> , ppm (%)	СКО, ppm (%)	<i>R</i>
ИКФС – SAMS		
-0,50 (-0,1)	2,41 (0,6)	0,81 ± 0,09
OCO-2 – SAMS		
-0,35 (-0,09)	1,05 (0,26)	0,96 ± 0,17

Среднее рассогласование между данными измерений и SAMS мало (-0,5 ppm, или ~0,1%), при этом данные SAMS могут быть как больше (январь – март, июль – сентябрь), так и меньше (апрель – июнь) результатов измерений. СКО = ~2,4 ppm (< 1%), *R* = 0,81 ± 0,09.

#### 3.2.2. Спутниковые измерения OCO-2

Для сравнений спутниковых измерений OCO-2 и SAMS были использованы данные с [https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/OCO2\\_L2\\_Lite\\_FP\\_9r/summary](https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/OCO2_L2_Lite_FP_9r/summary). Измерения выбирались по значению флага качества (использовались данные индекса 0 – высокого

качества) и по географической области измерений (использовались результаты, находившиеся внутри исследуемой области SAMS, т.е. в пределах 58,7–60,6° с.ш.; 28,1–31,9° в.д.), всего 14 дней измерений с апреля по октябрь 2018 г. Для каждого дня количество измерений варьировалось от 1 (октябрь) до более чем 200 (июль). Для дальнейшего сравнения с данными SAMS измерения ОСО-2 были усреднены для каждого дня, в итоге для сопоставления имелось 14 спутниковых измерений. Так как измерения ОСО-2 осуществляются приблизительно в один и тот же временной интервал (между 13:20 и 13:40 по всемирно координированному времени ВКВ), то для сопоставления были отобраны значения SAMS в 12:00 ВКВ.

На рис. 3 приведены результаты спутниковых измерений ХСО<sub>2</sub> и данные SAMS. Различия значений в большинстве случаев не превышает 1 ppm, в ряде случаев данные SAMS отражают даже временные минимумы СО<sub>2</sub> амплитудой ~ 2 ppm.

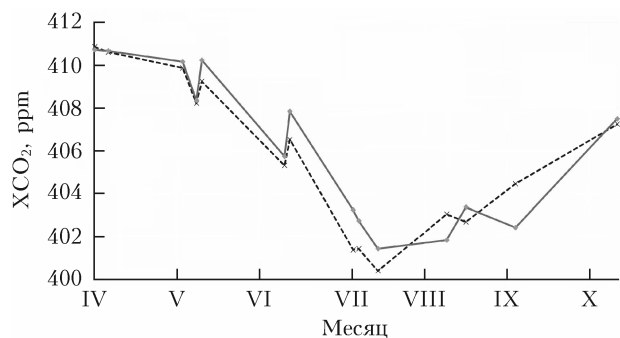


Рис. 3. Сравнения измерений ХСО<sub>2</sub> со спутника ОСО-2 в 13:30 ВКВ (штриховая кривая) и данных SAMS в 12:00 ВКВ (сплошная кривая) в 2018 г.

В табл. 3. можно отметить отличное согласие между данными ОСО-2 и SAMS, что видно по значениям статистических характеристик:  $M = 0,35$  ppm (0,09%), СКО = 1,05 ppm (0,26%) и  $R = 0,96 \pm 0,17$ .

### Заключение

В настоящей работе проанализировано качество базы данных SAMS версии v18r3 по атмосферному содержанию СО<sub>2</sub> на основе сопоставлений с комплексом независимых экспериментальных данных локальных и дистанционных наземных и спутниковых измерений на станции СПбГУ в Петергофе вблизи крупного мегаполиса Санкт-Петербурга. Сопоставление данных SAMS с целым рядом измерений проводится впервые для территории Санкт-Петербурга и его окрестностей. На основе сопоставления были получены следующие результаты.

1. Анализ количественных характеристик отличий приземной концентрации СО<sub>2</sub> по данным SAMS и по локальным измерениям за 2018 г. показал большой разброс значений в зависимости от месяца. Так, наибольшие средние рассогласования между значениями SAMS и измерениями составляли 3% и более в декабре и 0–2% в остальное время

года. Максимальные СКО зафиксированы в мае, июле, сентябре и декабре (~ 20 ppm, ~ 4–5%), а минимальные – в январе и феврале (~ 7–8 ppm, ~ 2%). Коэффициенты корреляции между приземными измерениями и данными SAMS сильно варьировались от месяца к месяцу с максимумом в ноябре ( $0,81 \pm 0,08$ ) и минимумом в апреле ( $0,26 \pm 0,14$ ). Полученные расхождения частично обусловлены различным горизонтальным разрешением данных SAMS и локальных измерений в Петергофе.

2. Сопоставления данных SAMS и наземных спектроскопических измерений ХСО<sub>2</sub> показали, что средние отклонения в основном не превышают 0,5 ppm (~ 0,1%). Значения ХСО<sub>2</sub> по данным SAMS достаточно хорошо повторяют ход измеренных значений (с коэффициентом корреляции  $0,81 \pm 0,09$ ).

3. Результаты сопоставления ХСО<sub>2</sub> по данным SAMS и измерениям спутника ОСО-2 продемонстрировали очень хорошее согласие: среднее отклонение не превышает 0,4 ppm (~ 0,1%), а в ряде случаев данные SAMS отражают временные минимумы СО<sub>2</sub> с амплитудой 2 ppm (~ 0,5%). Коэффициент корреляции составил  $0,96 \pm 0,17$ .

Проведенные комплексные сравнения показали высокое качество данных SAMS для ХСО<sub>2</sub>. Это позволяет использовать данные SAMS в качестве априорной информации при реализации спутниковых методов оценки антропогенных эмиссий мегаполиса Санкт-Петербурга и его окрестностей.

1. Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M. IPCC 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK, New York, USA: Cambridge University Press, 2013. P. 1535.
2. Crisp D., Meijer Y., Munro R., Bowman K., Chatterjee A., Baker D., Chevallier F., Nassar R., Palmer P.I., Agustí-Panareda A., Al-Saadi J., Ariel Y., Basu S., Bergamaschi P., Boesch H., Bousquet P., Bovensmann H., Bréon F., Brunner D., Buchwitz M., Buisson F., Burrows J.P., Butz A., Ciais P., Clerbaux C., Counet P., Crevoisier C., Crowell S., DeCola P.L., Deniel C., Dowell M., Eckman R., Edwards D., Ehret G., Eldering A., Engelen R., Fisher B., Germain S., Hakkarainen J., Hilsenrath E., Holmlund K., Houweling S., Hu H., Jacob D., Janssens-Maenhout G., Jones D., Jouglet D., Kataoka F., Kiel M., Kulawik S.S., Kuze A., Lachance R.L., Lang R., Landgraf J., Liu J., Liu Y., Maksyutov S., Matsunaga T., McKeever J., Moore B., Nakajima M., Natraj V., Nelson R.R., Niwa Y., Oda T., O'Dell C.W., Ott L., Patra P., Pawson S., Payne V., Pinty B., Polavarapu S.M., Retscher C., Rosenberg R., Schuh A., Schwandner F.M., Shiomi K., Su W., Tamminen J., Taylor T.E., Veefkind P., Veihelmann B., Wofsy S., Worden J., Wunch D., Yang D., Zhang P., Zehner C. A constellation architecture for monitoring carbon dioxide and methane from space [Electronic resource]. URL: [http://ceos.org/document\\_management/Virtual\\_Constellations/ACC/Documents/CEOS\\_AC-VC\\_GHG\\_White\\_Paper\\_Publication\\_Draft2\\_20181111.pdf](http://ceos.org/document_management/Virtual_Constellations/ACC/Documents/CEOS_AC-VC_GHG_White_Paper_Publication_Draft2_20181111.pdf) (last access: 30.03.2020).
3. Enting I.G. Inverse Problems in Atmospheric Constituent Transport. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2002. 392 p. DOI: 10.1017/CBO9780511535741.

4. Engelen R. CAMS Service Product Portfolio [Electronic resource] // ECMWF. 2018. URL: <https://atmosphere.copernicus.eu/sites/default/files/2018-12/CAMS%20Service%20Product%20Portfolio%20-%20July%202018.pdf> (last access: 30.03.2020).
5. Wagner A., Schulz M., Christophe Y., Ramonet M., Eskes H.J., Basart S., Benedictow A., Bemmouna Y., Blechschmidt A.-M., Chabrillat S., Clark H., Cuevas E., Flentje H., Hansen K.M., Im U., Kapsomenakis J., Langerock B., Richter A., Sudarchikova N., Thouret V., Warneke T., Zerefos C. Validation report of the CAMS near-real-time global atmospheric composition service: September–November 2018, Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) report [Electronic resource]. URL: [https://atmosphere.copernicus.eu/sites/default/files/2019-03/16\\_CAMS84\\_2018SC1\\_D1.1.1\\_SON2018\\_v1.pdf](https://atmosphere.copernicus.eu/sites/default/files/2019-03/16_CAMS84_2018SC1_D1.1.1_SON2018_v1.pdf) (last access: 30.03.2020).
6. Hans W., Chen L.N., Zhang Fuqing Zhang Kenneth J. Davis Thomas Lauvaux Sandip Pal Brian Gaudet Joshua P. Di Gangi. Evaluation of Regional CO<sub>2</sub> Mole Fractions in the ECMWF CAMS Real-Time Atmospheric Analysis and NOAA Carbon Tracker Near-Real-Time Reanalysis With Airborne Observations From ACT – America Field Campaigns // J. Geophys. Res.: Atmos. 2019. V. 124, iss. 14. P. 8119–8133.
7. Validation report for the CO<sub>2</sub> fluxes estimated by atmospheric inversion, v18r3 Version 1.0. Issued by: CEA / F. Chevallier (ed.). [Electronic resource]. URL: [https://atmosphere.copernicus.eu/sites/default/files/2019-11/CAMS73\\_2018SC1\\_D73.1.4.1-2018-v2\\_201911\\_v1.pdf](https://atmosphere.copernicus.eu/sites/default/files/2019-11/CAMS73_2018SC1_D73.1.4.1-2018-v2_201911_v1.pdf) (last access: 30.03.2020).
8. Hourdin F., Musat I., Bony S., Braconnot P., Cordon F., Dufresne J., Fairhead L., Filiberti M., Friedlingstein P., Grandpeix J., Krinner G., LeVan P., Li Z., Lott F. The LMDZ4 general circulation model: Climate performance and sensitivity to parametrized physics with emphasis on tropical convection // Clim. Dyn. 2006. P. 787–813.
9. Remaud M., Chevallier F., Cozic A., Xin Lin, Bousquet Ph. On the impact of recent developments of the LMDz atmospheric general circulation model on the simulation of CO<sub>2</sub> transport // Geosci. Model Dev. 2018. V. 11. P. 4489–4513. DOI: 10.5194/gmd-11-4489-2018.
10. Фока С.Ч., Макарова М.В., Поберовский А.В., Тимофеев Ю.М. Временные вариации концентрации CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> и СО в пригороде Санкт-Петербурга (Петергоф) // Оптика атмосфер. и океана. 2019. Т. 32, № 10. С. 860–866.
11. Timofeyev Yu., Virolainen Ya., Makarova M., Poborovsky A., Polyakov A., Ionov D., Osipov S., Imhassin H. Ground-based spectroscopic measurements of atmospheric gas composition near Saint Petersburg (Russia) // J. Mol. Spectrosc. 2016. V. 323. P. 2–14. DOI: 10.1016/j.jms.2015.12.007.
12. Тимофеев Ю.М., Березин И.А., Виролайнен Я.А., Макарова М.В., Поляков А.В., Поберовский А.В., Филитов Н.Н., Фока С.Ч. Пространственно-временные вариации содержания CO<sub>2</sub> по данным спутниковых и наземных измерений вблизи Санкт-Петербурга // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2019. Т. 55, № 1. С. 65–72. DOI: 10.31857/S0002-351555165-72.
13. Barthlott S., Schneider M., Hase F., Wiegeler A., Christner E., Gonzalez Y., Blumenstock T., Dohe S., Garca O.E., Sepulveda E., Strong K., Mendonca J., Weaver D., Palm M., Deutscher N.M., Warneke T., Notholt J., Lejeune B., Mahieu E., Jones N., Griffith D.W.T., Velasco V.A., Smale D., Robinson J., Kivi R., Heikkinen P., Raffalski U. Using XCO<sub>2</sub> retrievals for assessing the long-term consistency of NDACC/FTIR data sets // Atmos. Meas. Tech. 2015. V. 8. P. 1555–1573. DOI: 10.5194/amt-8-1555-2015.
14. Wunch D., Wennberg P.O., Osterman G., Fisher B., Naylor B., Roehl C.M., O'Dell C., Mandrake L., Viatte C., Kiel M., Griffith D.W.T., Deutscher N.M., Velasco V.A., Notholt J., Warneke T., Petri C., De Maziere M., Sha M.K., Sussmann R., Rettinger M., Pollard D., Robinson J., Morino I., Uchino O., Hase F., Blumenstock T., Feist D.G., Arnold S.G., Strong K., Mendonca J., Kivi R., Heikkinen P., Iraci L., Podolske J., Hillyard P.W., Kawakami S., Dubey M.K., Parker H.A., Sepulveda E., Garcia O.E., Te Y., Jeseck P., Gunson M.R., Crisp D., Eldering A. Comparisons of the Orbiting Carbon Observatory-2 (OCO-2) XCO<sub>2</sub> measurements with TCCON // Atmos. Meas. Tech. 2017. V. 10. P. 2209–2238. DOI: 10.5194/amt-10-2209-2017.
15. Виролайнен Я.А. Методические аспекты определения содержания углекислого газа в атмосфере с помощью ИК-Фурье-спектрометрии // Журн. прикл. спектроскоп. 2018. Т. 85, № 3. С. 453–460.

*G.M. Nerobelov, Y.M. Timofeyev, S.P. Smyshlyayev, Y.A. Virolainen, M.V. Makarova, S.Ch. Foka.*  
**Comparison of CAMS data on CO<sub>2</sub> content and measurements in Petergof.**

Mixing ratio of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) for 2018 from CAMS database was compared with those from *in situ* and remote measurements carried out in Petergof (St. Petersburg, Russia). The analysis shows that the differences in surface CO<sub>2</sub> concentration from CAMS and measurements and the correlation coefficients significantly varied depending on months. Ground-based and satellite spectroscopic measurements of column averaged CO<sub>2</sub> mixing ratio are in a good agreement with CAMS. Even though the CAMS data which was analyzed in current research requires further development, our results have shown that the CAMS data can be used in resolving an inverse problem to derive anthropogenic emissions for the territory of Saint-Petersburg and its suburbs.