

## ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИЙ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА И МЕТАНА В ПРИПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ НАД АТЛАНТИЧЕСКИМ ОКЕАНОМ И В АНТАРКТИДЕ

Н.Н.ПАРАМОНОВА<sup>1</sup>, Ф.В.КАШИН<sup>2</sup>, К.В.КАЗАКОВА<sup>1</sup>, В.И.ПРИВАЛОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> – Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> – НПО «Тайфун», Обнинск

*Представлены новые результаты измерений концентрации углекислого газа и метана над морской поверхностью в Атлантическом океане и на станциях Беллинсгаузен и Новолазаревская, выполненных в рамках Российских антарктических экспедиций в 2003–2006 гг. Выполнено их сравнение с данными предшествующих наблюдений в 1987, 2000 и 2001 гг. Результаты измерений показывают, что в Южном полушарии годовой рост концентрации  $CO_2$  в период с 2003 по 2005 г. оставался примерно постоянным и составлял  $1,9 \text{ млн}^{-1}$  в год. Это соответствует среднему глобальному росту за последнее десятилетие. В северных широтах ( $20\text{--}50^\circ \text{ с.ш.}$ ) с 2003 по 2004 г. увеличение концентрации  $CO_2$  для осенне-зимнего периода составило  $1 \text{ млн}^{-1}$ , а с 2004 по 2005 г. примерно  $5 \text{ млн}^{-1}$ . Концентрация метана по результатам измерений, как над поверхностью океана, так и на станции Беллинсгаузен, оставалась постоянной в период с 2003 по 2006 г. Средний годовой рост концентрации  $CO_2$  за период с 1987 по 2006 г. по данным судовых наблюдений составил  $1,59 \text{ млн}^{-1}$  в год.*

### ВВЕДЕНИЕ

При исследовании изменений климата важной задачей является мониторинг содержания парниковых газов в атмосфере, в первую очередь углекислого газа ( $CO_2$ ) и метана ( $CH_4$ ). Такие наблюдения осуществляются на станциях Глобальной службы атмосферы (ГСА), число которых достигает несколько десятков. Особое значение имеют данные относящиеся к регионам, не подверженным непосредственному антропогенному загрязнению и отражающим глобальные изменения содержания  $CO_2$  и  $CH_4$  в атмосфере. К таким регионам можно отнести Антарктику и акватории океанов. В частности, в Антарктиде действуют несколько зарубежных станций, на которых проводятся регулярные измерения содержания  $CO_2$  и  $CH_4$ . Аналогичные наблюдения организованы также и в акватории Тихого океана с использованием круизных судов [8].

Регулярные российские исследования изменчивости содержания  $CO_2$  и  $CH_4$  в атмосфере Антарктиды и акватории Атлантического океана были начаты в 2000 г. в рамках работ Российских антарктических экспедиций (РАЭ) [3], а первые данные о широтном распределении содержания  $CO_2$  получены в 1987 г. во время 32-й Советской антарктической экспедиции (САЭ) [1].

Методы измерения концентраций  $CO_2$  и  $CH_4$  в атмосфере, используемые в этих исследованиях, рекомендованы Всемирной метеорологической организацией (ВМО) [7]. Сопоставимость полученных данных с другими программами в рамках Глобальной службы атмосферы ВМО обеспечивается привязкой газоаналити-

ческой аппаратуры к единому эталону ВМО и подтверждена результатами международных сравнений.

В настоящей работе представлены результаты измерений приземных концентраций углекислого газа и метана, полученные в 2003–2006 гг., а также выполнена оценка долгосрочного изменения концентрации  $\text{CO}_2$  на основе обобщения данных САЭ 1987 г. и РАЭ 2000–2005 гг. [1, 3].

#### АППАРАТУРА И МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

Данные о концентрации  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  получены по результатам анализа проб воздуха, отбор которых в предварительно вакуумированные стеклянные однократные сосуды (фляги) и их хранение проводились в соответствии с действующими в системе Росгидромета нормативными документами. Необходимым условием обеспечения качества измерений является отсутствие искажений концентрации измеряемых компонент при длительном хранении пробы воздуха во флягах. Герметичность фляг проверялась путем проверки сохранения в них вакуума в течение 2 месяцев. Отсутствие искажений в данных при длительном хранении проб (до 1 года) проверялось специальными экспериментами и подтверждено результатами программы сравнений с Метеорологической службой Канады [10], которые показали неизменность концентрации в пробах в пределах точности измерений.

Концентрации  $\text{CO}_2$  измерялись на установке УГАН- $\text{CO}_2$  [2], созданной на базе недисперсионного оптико-акустического газоанализатора URAS-2T. Принцип действия газоанализатора основан на регистрации разности величин поглощенного инфракрасного излучения в измерительной и сравнительной камерах газоанализатора, через которые прокачивается анализируемый воздух и сравнительный газ. Для устранения поглощения парами водяного пара, полосы которого перекрывают всю инфракрасную область спектра, в том числе и полосы поглощения  $\text{CO}_2$ , проводится осушение поступающего в камеры газоанализатора воздуха путем его вымораживания при температуре  $-55\text{ }^\circ\text{C}$ . Используемый в установке дифференциальный оптико-акустический приемник, заполненный смесью  $\text{CO}_2$  с аргоном, обеспечивает высокую чувствительность за счет селективности поглощения излучения в камерах приемника. Высокая абсолютная точность измерений достигается за счет градуировки газоанализатора относительно рабочих газовых смесей с установленной концентрацией  $\text{CO}_2$ . Из-за нелинейности шкалы газоанализатора использовались три рабочие смеси с концентрациями  $\text{CO}_2$ , равными  $332,30\text{ млн}^{-1}$ ,  $362,89\text{ млн}^{-1}$  и  $384,15\text{ млн}^{-1}$ . При проведении измерений градуировка осуществлялась каждые 40–50 мин. Рабочие газовые смеси раз в 6 месяцев калибруются относительно лабораторных стандартов, в качестве которых используются 5 газовых смесей с концентрациями  $\text{CO}_2$  в диапазоне от 340 до 380  $\text{млн}^{-1}$ . Их привязка к эталону ВМО осуществлена через лабораторный стандарт Метеорологической службы Канады.

Измерения концентрации  $\text{CH}_4$  выполнялись газохроматографическим методом на установке, созданной на базе хроматографа ЦВЕТ 500М [5]. В используемой установке разделение компонентов пробы проводится на колонке, заполненной сорбентом CARBORUS, который обеспечивает время выхода метана менее 0,5 мин. Детектирование осуществляется с помощью пламенно-ионизационного детектора (ПИД), обладающего высокой степенью линейности. Влияние посторонних примесей в воздухе устраняется за счет их полного отделения на хроматографической колонке. Высокая абсолютная точность измерений достигается за счет градуировки хроматографа относительно рабочей смеси с установленной концентрацией  $\text{CH}_4$ . Линейный диапазон ПИД в несколько десятков раз перекрывает диапазон изменения атмосферных концентраций  $\text{CH}_4$  [4], поэтому для градуировки хроматографа достаточно одной стандартной газовой смеси. Цикл измерений

включает регистрацию хроматограммы анализируемой пробы воздуха и хроматограммы рабочей градуировочной смеси. Концентрация метана в анализируемой пробе определялась как среднее значение из 5–6 единичных измерений. Рабочая градуировочная смесь калибровалась относительно лабораторного стандарта не реже 1 раза в мес. В качестве лабораторного стандарта использовалась газовая смесь с концентрацией метана 2025 млрд<sup>-1</sup>, имеющая привязку к эталону ВМО через лабораторный стандарт Гейдельбергского университета Германии.

Согласно результатам аттестации используемых установок во Всесоюзном научно-исследовательском институте метрологии им. Д.И. Менделеева относительная погрешность измерений не превышает 0,3 % при измерениях концентрации CO<sub>2</sub> и 0,2 % при измерениях концентрации CH<sub>4</sub>.

### СОПОСТАВИМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Важным условием эффективности программы мониторинга парниковых газов является обеспечение сопоставимости получаемых данных с данными других исследовательских лабораторий. Это достигается за счет привязки лабораторных газовых стандартов к единому эталону ВМО (NOAA/ESRL/GMD). Проверка фактической сопоставимости данных выполнена в рамках проекта европейского союза MethMonitEur путем измерений разными лабораториями концентраций CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> в «путешествующих» газовых стандартах. В сравнениях участвовали Институт физики Гейдельбергского университета Германии (IUP), Институт теории климата и окружающей среды Франции (LSCE), Лондонский Университет Холлоуея (RHUL), Норвежский институт исследований атмосферы (NILU), Университет горной промышленности и металлургии Польши (UMM), Главная геофизическая обсерватория (RCRSA), Финский метеорологический институт (FMI).

Результаты сравнений представлены в табл. 1 и 2, а также на сайте <http://www.gl.rhul.ac.uk/METH/MonitEur>. Они показали, что сопоставимость результатов измерений европейскими институтами (включая Главную геофизическую обсерваторию) соответствует требованиям ВМО [9] для концентрации CH<sub>4</sub> ( $\pm 2$  млрд<sup>-1</sup>), и превышает установленные для концентрации CO<sub>2</sub> критерии ( $\pm 0,1$  млн<sup>-1</sup>), составляя примерно  $\pm 0,5$  млн<sup>-1</sup>.

В табл. 1 и 2 использованы следующие обозначения: *C* – концентрация соответствующего газа, определенная в каждом институте как среднее значение в серии измерений; *СКО* – среднее квадратическое отклонение значения концентрации в серии измерений; *N* – число измерений в серии; *C*–*C*<sub>IUP</sub> – отклонение значений, полученных в каждом из институтов, от результата измерений IUP.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

В ходе сезонных работ РАЭ были получены 3 серии измерений концентрации CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> в акватории Атлантического океана при следовании судна из Санкт-

Таблица 1

Сравнение результатов измерений концентрации CO<sub>2</sub> в «путешествующих» стандартах, выполненных разными европейскими институтами

Институт	Баллон SIB37-1		Баллон SIB5-5		Баллон SIB36-1	
	<i>C</i> ± <i>СКО</i> ( <i>N</i> )	<i>C</i> – <i>C</i> <sub>IUP</sub>	<i>C</i> ± <i>СКО</i> ( <i>N</i> )	<i>C</i> – <i>C</i> <sub>IUP</sub>	<i>C</i> ± <i>СКО</i> ( <i>N</i> )	<i>C</i> – <i>C</i> <sub>IUP</sub>
IUP	341,90 ± 0,03 (3)	–	382,88 ± 0,08 (3)	–	403,47 ± 0,04 (3)	–
LSCE	342,03 ± 0,10 (84)	0,13	383,01 ± 0,14 (84)	0,13	403,72 ± 0,19 (84)	0,25
RHUL	342,20 ± 0,16 (21)	0,30	383,57 ± 0,05 (21)	0,69	404,20 ± 0,08 (21)	0,73
UMM	341,58 ± 0,12 (42)	–0,32	382,95 ± 0,15 (46)	0,07	403,97 ± 0,15 (45)	0,50
RCRSA	341,62 ± 0,04 (4)	–0,28	382,57 ± 0,02 (4)	–0,31	403,36 ± 0,05 (4)	–0,11

Таблица 2

**Сравнение результатов измерений концентрации  $\text{CH}_4$  в «путешествующих» стандартах, выполненных разными европейскими институтами**

Институт	Баллон SIB37-1		Баллон SIB5-5		Баллон SIB36-1	
	$C \pm \text{CKO}(N)$	$C - C_{\text{IUP}}$	$C \pm \text{CKO}(N)$	$C - C_{\text{IUP}}$	$C \pm \text{CKO}(N)$	$C - C_{\text{IUP}}$
IUP	$1768,73 \pm 0,15$ (3)	–	$1865,42 \pm 0,33$ (3)	–	$1929,13 \pm 0,71$ (3)	–
LSCE	$1768,47 \pm 0,54$ (84)	–0,26	$1865,38 \pm 0,75$ (84)	–0,04	$1928,53 \pm 0,56$ (84)	–0,60
RHUL	$1766,4 \pm 3,2$ (21)	–2,33	$1865,6 \pm 3,3$ (21)	0,18	$1930,90 \pm 3,0$ (21)	1,77
NILU	$1767,2 \pm 7,1$ (16)	–1,53	$1864,6 \pm 7,6$ (16)	–0,82	$1926,10 \pm 11,6$ (16)	–3,03
UMM	$1768,4 \pm 3,0$ (42)	–0,33	$1867,2 \pm 4,0$ (46)	1,78	$1925,60 \pm 3,0$ (45)	–3,53
RCRSA	$1766,4 \pm 1,7$ (34)	–2,33	$1865,9 \pm 2,3$ (36)	0,48	$1930,20 \pm 2,0$ (35)	1,07
FMI	$1769,5 \pm 2,0$ (6)	0,77	$1866,7 \pm 2,0$ (6)	1,28	$1928,50 \pm 2,0$ (6)	–0,63

Петербурга в Антарктиду (с 17 ноября по 25 декабря 2003 г., с 4 ноября по 4 декабря 2004 г. и с 21 ноября по 20 декабря 2005 г.), а также на обратном пути судна 1 и 3 февраля 2006 г. Отбор проб осуществлялся одновременно в две фляги, что увеличивает надежность данных. В дальнейшем были использованы только те результаты анализа проб воздуха, которые удовлетворяли требованиям, предъявляемым при таких измерениях (описаны в [10]).

Результаты этих серий наблюдений, характеризующие широтный ход концентраций  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  в акватории Атлантического океана для осенне-зимнего периода в 2003–2006 гг., представлены на рис. 1 и 2. На этих же рисунках для сравнения приведены данные измерений на станциях ГСА (табл. 3), располагающихся в полярных областях и в районе Атлантики, и опорные значения концентраций  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  в пограничном слое над морской поверхностью (MBL-marine boundary layer concentration) [8], определенные для соответствующего месяца измерения с учетом изменения широты места наблюдений. Матрица опорных значений построена на базе результатов измерений и разработанной процедуры распространения и интеграции данных [6].

Рис. 1 демонстрирует существенную широтную изменчивость концентрации  $\text{CO}_2$  и ее возрастание от года к году. В Южном полушарии приросты концентраций за 2003–2004 гг. и в последующий интервал 2004–2005 гг. составили 2,3 и 1,8 млн<sup>-1</sup>, что в среднем соответствует средней глобальной скорости роста за последнее десятилетие [11]. В Северном полушарии межгодовой рост изменился от 1 млн<sup>-1</sup> в 2003–2004 гг. до 5 млн<sup>-1</sup> в 2004–2005 гг. Результаты измерений в основном согласуются с данными станций ГСА и MBL, но в ноябре–декабре 2005 г. широтный градиент

Таблица 3

**Станции ГСА, результаты наблюдений на которых использованы для сравнения**

Станция	Широта	Долгота	Высота над уровнем моря, м
Zeppelin	78,90° с.ш.	11,88° в.д.	474
Iceland	63,25° с.ш.	20,15° з.д.	100
Azores	38,77° с.ш.	27,38° з.д.	40
Izana	28,3° с.ш.	16,48° з.д.	2360
Ascension Is.	7,92° ю.ш.	14,42° з.д.	54
Crozet Is.	46,45° ю.ш.	51,58° в.д.	120
Halley Bay	75,58° ю.ш.	26,5° з.д.	10
Syowa	69,00° ю.ш.	39,58° в.д.	11

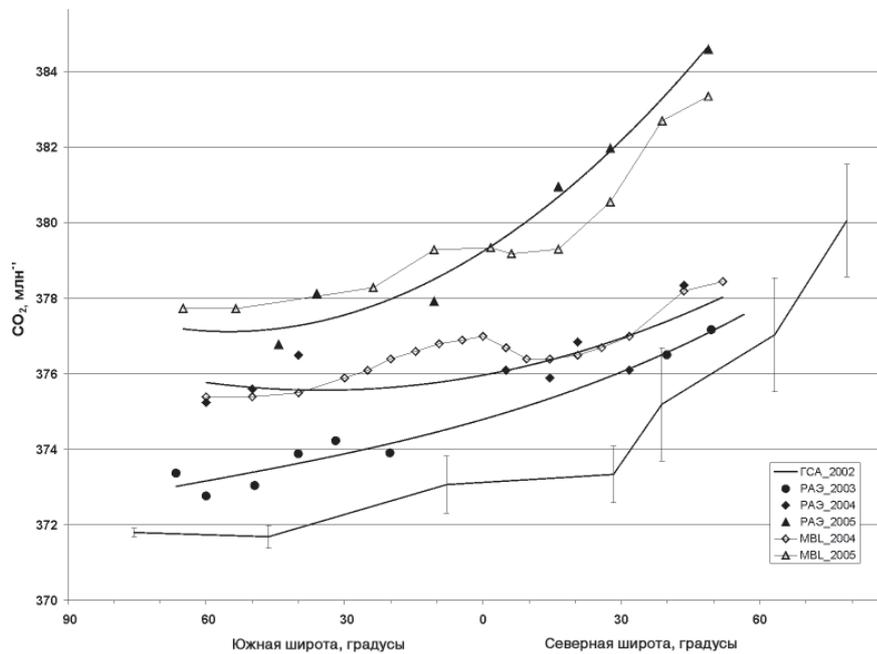


Рис. 1. Широтный ход концентрации  $\text{CO}_2$  в осенне-зимний период по результатам измерений в 2003–2005 гг. в акватории Атлантического океана (результаты измерений аппроксимированы полиномами 3-й степени) в сравнении с данными станций ГСА и MBL. Вертикальные отрезки показывают разброс среднемесячных значений концентрации на станциях ГСА

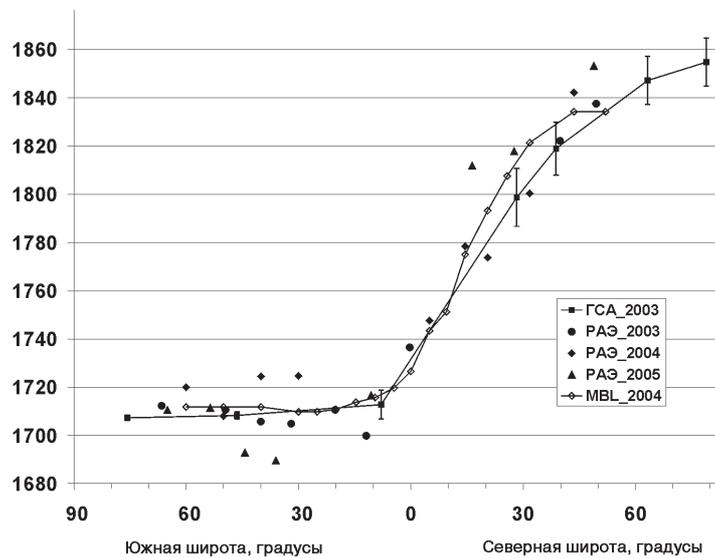


Рис. 2. Широтный ход концентрации  $\text{CH}_4$  в осенне-зимний период по результатам измерений в 2003–2005 гг. в акватории Атлантического океана (результаты измерений аппроксимированы полиномами 3-й степени) в сравнении с данными станций ГСА и MBL. Вертикальные отрезки показывают разброс среднемесячных значений концентрации на станциях ГСА

концентрации  $\text{CO}_2$  оказался большим, чем по данным MBL. Рассмотрение траекторий движения воздушных масс с использованием модели HYSPLIT, представленной для пользователей на сайте NOAA ARL (<http://www.arl.noa.gov/ready/hysplit.html>), показало, что повышенные значения концентрации  $\text{CO}_2$  в Северном полушарии в 2005 г. не могут быть связаны с поступлением воздушных масс из континентальных районов с повышенной эмиссией парниковых газов.

Данные измерений, представленные на рис. 2, показывают отсутствие изменений концентрации  $\text{CH}_4$  в Южном полушарии за рассматриваемый период и не отличаются от данных станций ГСА для 2003 г. и MBL для 2004 г. В Северном полушарии отмечается некоторое превышение значений концентрации  $\text{CH}_4$  в 2005 г. по сравнению с данными станций ГСА и MBL. Превышение является значимым и составляет около  $10 \text{ млрд}^{-1}$ . Однако недостаточный объем материала не позволяет дать заключение о достоверности указанного превышения.

В период сезонных работ в 2003–2006 гг. эпизодически проводились отборы проб воздуха на ст. Беллинсгаузен и Новолазаревская, а также при движении экспедиционного судна вдоль побережья Антарктиды от ст. Мирный до ст. Новолазаревская. Результаты измерений концентраций  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  в этих пробах приведены в табл. 4. Данные, относящиеся к ст. Беллинсгаузен, представляют средние концентрации метана в шести пробах, отобранных в течение дня 20 марта 2003 г. над подстилающими поверхностями различного типа, и концентрации метана и углекислого газа в восьми пробах воздуха, отобранных в течение пяти дней в период с 8 по 14 февраля 2006 г.

Таблица 4

Концентрации  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  на станциях Антарктиды и вдоль ее побережья

Место отбора	Дата	Широта	Долгота	$\text{CH}_4$ , $\text{млрд}^{-1}$	$\text{CO}_2$ , $\text{млн}^{-1}$
Беллинсгаузен	20.03.2003	$-62^{\circ}12'$	$-58^{\circ}56'$	1694,6	–
НЭС	25.12.2003	$-66^{\circ}33'$	$93^{\circ}01'$	1712,3	373,38
НЭС	26.03.2004	$-65^{\circ}17'$	$54^{\circ}51'$	1693,6	373,62
НЭС	27.03.2004	$-66^{\circ}57'$	$40^{\circ}17'$	1694,9	373,47
НЭС	28.03.2004	$-68^{\circ}31'$	$25^{\circ}21'$	1692,8	373,34
Новолазаревская	29.03.2004	$-70^{\circ}46'$	$11^{\circ}50'$	1700,6	374,69
Беллинсгаузен	08–14.02.2006	$-62^{\circ}12'$	$-58^{\circ}56'$	1689,9	377,88

Представленные в табл. 4 результаты измерений концентрации  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  хорошо согласуются с данными станций ГСА. Наблюдаемые расхождения, которые приведены в табл. 5, близки к достижимой в настоящее время точности измерений. Однако необходимо отметить, что на ст. Новолазаревская концентрации  $\text{CO}_2$  превышают данные в других точках измерений примерно на  $1,1$ – $1,2 \text{ млн}^{-1}$ , а концентрации  $\text{CH}_4$  – на  $5$ – $6 \text{ млрд}^{-1}$ . Повышенный уровень концентраций  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  на этой станции отмечался также по результатам измерений в 2000 г. [3].

Таблица 5

Сравнение концентраций  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ , измеренных на российских станциях Антарктиды и вдоль ее побережья с данными станций Halley Bay (HBA) и Syowa (SYO)

Место отбора	Дата	$\Delta\text{CO}_2$	$\Delta\text{CO}_2$	$\Delta\text{CH}_4$	$\Delta\text{CH}_4$
		РАЭ-SYO, $\text{млн}^{-1}$	РАЭ-HBA, $\text{млн}^{-1}$	РАЭ-SYO, $\text{млрд}^{-1}$	РАЭ-HBA, $\text{млрд}^{-1}$
Беллинсгаузен	03.03.2003	–	–	2,9	3,3
НЭС	25.12.2003	–0,5	–0,5	2,8	5,2
НЭС	26.03.2004	–0,7	–0,3	3,3	3,2
НЭС	27.03.2004	–0,8	–0,4	4,7	4,6
НЭС	28.03.2004	–0,9	–0,6	2,5	2,5
Новолазаревская	29.03.2004	0,4	0,8	10,4	10,3

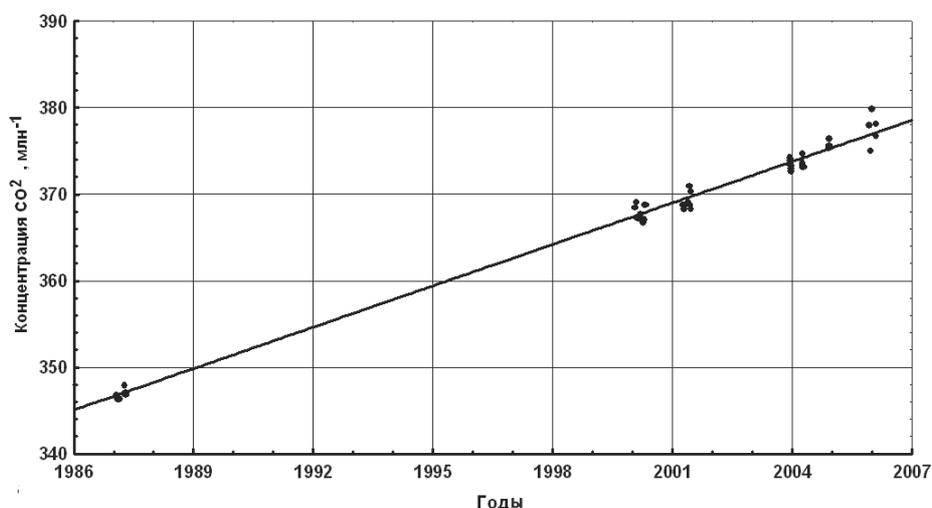


Рис. 3. Изменение концентрации CO<sub>2</sub> в Южном полушарии. Линейный тренд — 1,59 млн<sup>-1</sup>/г

Сравнение результатов измерений, выполненных в 2003–2006 гг., с данными, полученными в предыдущих антарктических экспедициях, позволяет получить оценки долговременной изменчивости концентрации CO<sub>2</sub>. Многолетний ход концентрации углекислого газа над акваторией океана в Южном полушарии приведен на рис. 3. Измерения были выполнены в период 32-й САЭ по пути следования НИС «Профессор Зубов» (1987 г.) и в ходе 45-й и 46-й РАЭ с борта НЭС «Академик Федоров» в 2000 и 2001 гг. Аппроксимация представленных на рис. 3 данных дает значение линейного тренда концентрации CO<sub>2</sub>, равное 1,59 млн<sup>-1</sup> в год для периода с 1987 г. по 2006 г. Скорость роста концентрации CO<sub>2</sub>, определенная в работе [3] для периода с 1987 по 2001 г. составляла 1,5 млн<sup>-1</sup> в год. В то же время межгодовой рост концентрации CO<sub>2</sub>, определенный по результатам измерений в 2003–2006 гг. для судовых измерений в Южном полушарии и на ст. Беллинсгаузен, изменяется в пределах от 1,8 до 2,2 млн<sup>-1</sup> в год. Таким образом, за период с 1987 по 2006 г. можно отметить тенденцию возрастания тренда концентрации CO<sub>2</sub> в Южном полушарии.

Изменчивость концентрации CO<sub>2</sub> характеризуется не только увеличением скорости ее роста, но также и существенными ее вариациями от года к году в северном полушарии, приводящими к изменению межполушарного градиента. По результатам измерений в ноябре–декабре 2003–2006 гг. годовой прирост концентрации CO<sub>2</sub> в южном полушарии практически не меняется от года к году и примерно равняется среднему глобальному значению за последнее десятилетие, в то время как в охваченном измерениями диапазоне северных широт он изменился от 1 млн<sup>-1</sup> в 2004 г. до 5 млн<sup>-1</sup> в 2005 г., приведя к увеличению широтного градиента концентрации CO<sub>2</sub> в ноябре–декабре 2005 г.

В отличие от существенной изменчивости поля концентрации CO<sub>2</sub>, концентрация метана оставалась практически неизменной за период с 2003 по 2006 г.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках сезонных работ РАЭ получен широтный ход концентрации двух основных парниковых газов (CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub>) для осенне-зимнего периода (ноябрь–декабрь). Результаты измерений показывают, что в Южном полушарии годовой рост концентрации CO<sub>2</sub> в период с 2003 по 2005 г. остается примерно постоянным и соответствует среднему глобальному росту, составляющему 1,9 млн<sup>-1</sup> в год. В се-

верных широтах (20–50° с.ш.) произошли изменения годового роста концентрации CO<sub>2</sub> для осенне-зимнего периода: в 2004 г. зафиксировано его снижение до 1 млн<sup>-1</sup> с последующим возрастанием примерно до 5 млн<sup>-1</sup> в 2005 г., что привело к увеличению широтного градиента концентрации для ноября–декабря 2005 г. по сравнению с предыдущими годами. Обобщение результатов измерений, выполненных в 2003–2006 гг., с данными, полученными в предыдущих антарктических экспедициях, позволило получить оценку долговременной изменчивости концентрации CO<sub>2</sub> для Южного полушария. Скорость роста концентрации CO<sub>2</sub> составила 1,59 млн<sup>-1</sup> в год для периода с 1987 по 2006 г. Отмечается тенденция возрастания тренда концентрации CO<sub>2</sub> по сравнению с его значением, определенным по периоду с 1987 по 2001 гг. Концентрация метана по результатам измерений была постоянной в период с 2003 по 2006 г.

*Работа выполнена в рамках проекта 8 «Исследовать малые газовые составляющие атмосферы Антарктиды» подпрограммы «Изучение и исследование Антарктики» Федеральной целевой программы «Мировой океан» и при поддержке проектов РФФИ № 05-05-64760 и № 07-05-00619. Авторы выражают благодарность В.Ф.Радионову за организацию работ при проведении РАЭ и полезные замечания при подготовке текста статьи, В.Е.Лагуну и И.А.Репиной за организацию и выполнение отборов проб на станции Беллинсгаузен, А.Н.Прахову, В.М.Перскому, Ю.С.Турчиновичу и А.Б.Тихомирову за отбор проб на борту судна.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арефьев В.Н., Кальсин Ф.В., Каменоградский Н.Е., Кашин Ф.В., Парамонова Н.Н., Устинов В.П. Измерения содержания парниковых газов в атмосфере над Атлантикой и Антарктидой // Метеорология и гидрология. 2003. № 11. С. 37–43.
2. Броунштейн А.М., Фабер Е.В., Шашков А.А. Газоаналитическая установка для осуществления мониторинга концентрации CO<sub>2</sub> в атмосферном воздухе // Труды ГГО. 1984. Вып. 472. С. 11–16.
3. Кашин Ф.В., Арефьев В.Н., Баранов Ю.И., Кальсин А.В., Каменоградский Н.Е., Устинов В.П., Парамонова Н.Н., Привалов А.И., Радионов В.Ф. Содержание и изменчивость водяного пара, углекислого газа и метана в атмосфере Антарктиды и над акваторией Атлантического океана // Проблемы Арктики и Антарктики. 2003. Вып. 74. С. 19–28.
4. Количественный анализ хроматографическими методами / Под ред. Э.Кэц; Пер. с англ. М.: Мир, 1990. 319 с.
5. Сметанин Г.Н., Привалов В.И., Решетников А.И., Парамонова Н.Н. Газохроматическая установка для прецизионных измерений концентрации метана в атмосфере на фоновом уровне // Труды Филиала ГГО Научно-исследовательского центра дистанционного зондирования атмосферы. Прикладная метеорология. 2000. Вып. 2 (548). С. 121–130.
6. Masarie K.A., Tans P.P. Extension and integration of atmospheric carbon dioxide data into a globally consistent measurement record // J. Geophys. Research. 1995. Vol. 100. P. 11593–11610.
7. Global Atmosphere Watch Measurements Guide. WMO. GAW. July 2001. №. 143.
8. GLOBALVIEW-CO<sub>2</sub> (CH<sub>4</sub>): Cooperative Atmospheric Data Integration Project – Carbon Dioxide (Methane), CD-ROM, NOAA CMDL, Boulder, Colorado, 2005.
9. Recommendations of the 12th WMO/IAEA Meeting of Experts on Carbon Dioxide Concentration and Related Tracers Measurement Techniques. 15–18 September 2003. Toronto. WMO TD № 1275.
10. Trivett N.B.A., Hudec V., Paramonova N., Shashkov A.A. An Inter-laboratory comparison at the Arctic stations of Alert and Teriberka // Report of the seventh WMO meeting of experts on carbon dioxide concentration and isotopic measurement techniques. Rome. Italy. 7–10 September 1993. WMO TD № 669. P. 19–20.
11. WMO greenhouse gas bulletin. The state of greenhouse gases in the atmosphere using global observations through 2005. WMO. № 2. November 2006.

N.N.PARAMONOVA, F.V.KASHIN, K.V.KAZAKOVA, V.I.PRIVALOV

**VARIABILITY OF THE CO<sub>2</sub> AND METHANE BOUNDARY LAYER  
CONCENTRATION OVER ATLANTIC OCEAN AND IN ANTARCTICA**

*Results of two major greenhouse gases (CO<sub>2</sub> u CH<sub>4</sub>) concentration measurements in the marine boundary layer at Atlantic Ocean and at Bellingsausen and Novolazarevskaya stations, performed in the frame of Russian Antarctic Expeditions of 2003–2006 years are presented.*

*Measurement results indicate that for the period from 2003 to 2005 inter-annual CO<sub>2</sub> concentration growth in South hemisphere do not significantly changed from year to year and corresponds to the mean growth rate for the last decade, which is equal to 1,9 ppm per year. In the north latitudes (20–50°N) inter-annual CO<sub>2</sub> concentration growth in autumn-winter season have changed from 1 ppm for the period from 2003 to 2004 to 5 ppm for the period from 2004 to 2005. Methane concentration above the ocean surface and at Bellingsgauzen stations was unchanged in the period from 2003 to 2006. The mean growth rate of CO<sub>2</sub> concentration for South hemisphere was determined as 1,59 ppm per year for the period from 1987 to 2006 on the base of the data of Soviet Antarctic Expedition (SAE) in 1987 and Russian Antarctic Expeditions (RAE) in 2000–2006.*