В.И. Биненко, А.И. Решетников, Н.О. Шевчук

АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ АНОМАЛИЙ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И КОНЦЕНТРАЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ПО ДАННЫМ НАЗЕМНЫХ И СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ

V.I. Binenko, A.I. Reshetnikov, N.O. Shevchuk

THE VARIABILITY OF ANOMALIES OF SURFACE AIR TEMPERATURE AND THE CONCENTRATION OF GREENHOUSE GASES ON THE BASIS OF GROUND AND SATELLITE MEASUREMENTS AT THE REGIONAL LEVEL

Анализируется изменчивость наземных концентраций диоксида углерода по данным наземных и спутниковых измерений для разных регионов. Превышение концентрации CO_2 по отношению к морской станции не более 17 млн$^{-1}$ и не носит явно выраженный характер с высотой, что свидетельствует о хорошем перемешивании в приземном слое атмосфере и в тропосфере в целом. Не смотря на различия методов определения CO_2 с помощью приборов в AIRS и ACOS полученные данные сопоставимы в пределах приборной погрешности и метода. Сравнение наземных в приземном слое и спутниковых измерений CO_2 показывает различие в пределах 2–5 млн$^{-1}$,хотя алгоритм обращения CO_2 из радиометрических измерений и используемая весовая функция взяты для тропосферы. Значимые коэффициенты корреляции получены для более долговременных периодов измерений аномалией температуры приземного воздуха и концентрацией CO_2 для станций мониторинга ПГ в Мауна-Лоу, Барроу и не значимые для станций мониторинга в регионе Балтийского моря, и для Санкт-Петербурга и Ленинградской области, в частности, а также других рассмотренных станций мониторинга ПГ. Что не позволяет утверждать, что причиной наблюдаемого потепления климата отдельных регионов напрямую связано с ростом концентрации ПГ.

Ключевые слова: парниковые газы, наземный и спутниковый мониторинг углекислого газа, аномалии температуры приземного воздуха.

Analyzed the variability of ground concentrations of carbon dioxide on the basis of ground and satellite measurements for different regions. Exceeding of concentration of CO_2 in relation to the marine station of not more than 17 ppm and is not apparent from a height, that indicates a good hashing in the surface layer of the atmosphere and in the troposphere as a whole. Comparison of ground to surface and satellite measurements of CO_2 indicates the difference in 2–5 ppm, although the algorithm for the treatment of CO_2 from radiometric measurements and used the weight function are taken for the troposphere.

Despite differences of methods for determination of CO_2 by devices in the AIRS and the ACOS obtained data are comparable within the instrument and method error. Significant coefficients correlation obtained for longer-term periods of measurements anomaly of surface air temperature and CO_2 concentration important for the monitoring stations GHG Mauna Lou, Barrow and not relevant for monitoring stations in the Baltic sea region, and St. Petersburg, in particular. That does not allow to assert ,that the cause of the observed warming of the climate of certain regions is directly connected with the growth of GHG concentrations.

Key words: monitoring, ground and satellite measurements of carbon dioxide, monitoring.

Введение

Исследование вклада природной и антропогенной составляющих парниковых газов (ПГ) в изменение климата и влияние этого изменения на биосферу в глобальном масштабе относится к фундаментальным научным задачам. Одной из важнейших среди них является исследование источников и стоков парниковых газов, что возможно как на основе расчётов, так и измерений концентрации ПГ — на основе сети специализированных наземных станций мониторинга и данных дистанционного зондирования с использованием самолётов и спутников.

В соответствии с Экологической доктриной РФ развитие государственной системы мониторинга окружающей среды является одним из средств реализации государственной политики в области экологии, а в перечень критических технологий Российской Федерации, утвержденный президентом Российской Федерации (Пр-842 от 21 мая 2006 г.) входят «Технологии мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы. Мониторинг ПГ в России позволяет оценить насколько успешно будет проводиться модернизация промышленности и перестройка технологий производства энергии, направленной на резкое снижение энергоемкости отечественной продукции промышленности и сельского хозяйства.

Молекулы малых газовых примесей атмосферы, к которым относятся и парниковые газы (табл. 1), в зависимости от их структуры и степени симметрии, образуют колебательно — вращательные полосы поглощения. Ряд газов имеют полосы поглощения достаточной интенсивности, которые расположены в ИК-области электро-магнитного спектра излучения. К ним относятся: водяной пар H_2O, относительная концентрация которого в атмосфере по объёму может достигать 2 % и более (с увеличением температуры), углекислый газ (CO_2), концентрация которого составляет около 0,04 %, метан (CH_4) с концентрацией близкой к 2 млн$^{-1}$, и ряд других, концентрации которых существенно ниже: тропосферный озон (O_3), закись азота (N_2O), хлорфторуглеродные соединения, а также — поглощающий аэрозоль (например, сажевый), облачность. Водяной пар H_2O — основной парниковый газ, влияние которого на тепловой режим тропосферы является наиболее значимым и с современным потеплением климата содержание его в атмосфере должно возрастать. Однако, вклад в поглощение H_2O и облачности (особенно над мегаполисами и за исключением перистых облаков), в парниковый эффект атмосферы скомпенсирован за счёт отрицательной обратной связи, обусловленной высоким альбедо облаков, которое способствует похолоданию

глобального климата. Время жизни водяного пара и облаков исчисляется сутками, региональные и сезонные колебания концентрации H_2O велики, а оценка влияния H_2O на климат в глобальном масштабе сопряжено с большими неопределённостями и быстрыми вариациями его концентрации [1–6, 12].

Таблица 1

Газы, измеряемые в настоящее время на зарубежных станциях обсерваторского типа и региональных станциях мониторинга

Основные парниковые газы		
CO_2	CH_4	N_2O
Парниковые газы		
HFCs	SF_6	CFCs
HCFCs	CCl_4	CH_3CCl_3
$CHCl_3$	CH_2Cl_2	C_2Cl_4
CH_3Cl	CH_3Br	O_3
Другие ПГ, не прямого действия определяющие химию тропосферы		
CO	ЛОС*	SO_2
NO_x	NO	NO_2
NO_y	ROOH	PAN
H_2	H_2O_2	^{222}Rn**
$^{13}CH_4$***	$^{13}CO_2$	$^{14}CO_2$

Примечания. * ЛОС — летучие органические соединения метанового и не метанового ряда.
** ^{222}Rn — радиоактивный, достаточно инертный изотоп радона, эмиссия которого с земной поверхности в атмосферу достаточно стабильна и зависит только от типа почвы, для многих задач используется в качестве трассера, на химические свойства тропосферы влияния не оказывает.
*** В нижней строке таблицы приведены тяжелые изотопы углерода, измерение концентраций которых позволяет разделять вклад естественных и антропогенных источников в формируемое поле концентрации метана и диоксида углерода в приземном слое атмосферы.

Современное изменение климата в рамках 4 и 5-го докладов МГЭИК(IPCC) связывают с ростом концентрации парниковых газов ПГ и, в частности, углекислого газа CO_2 [11]. Мониторинг CO_2, CH_4 осуществляется на основе наземных измерений его концентрации на фоновых станциях (Мауна-Лоу, Барроу, Териберка, Тикси и др.), а также спутниковых (Aqua) измерений в полосе 13,4–15,4 мкм с помощью инфракрасного спектрометра — AIRS, а также (GOSAT) CO_2 и CH_4 на основе ACOS в полосах 1,56–1,72 мкм и 1,92–2,08 мкм [10, 16].

Целью работы явилось сравнение данные наземных и спутниковых в тропосфере концентрации CO_2, рассмотрение сезонной изменчивости CO_2 и CH_4 [7, 8], влияние высоты мониторинга CO_2 по сравнению с измерениями на уровне моря [13], взаимосвязи между аномалиями температуры приземного воздуха по отношению к 1900 г. (на основе исходных данных сети метеорологических станций) [10] и наземных станций мониторинга CO_2 [5, 17] и соответствующих спутниковых измерений CO_2 для отдельных регионов.

Приборы и методы измерения ПГ

Инструментальные методы измерения ПГ в случае наземного мониторинга могут осуществляться посредством фляжечного отбора проб воздуха, как правило, один раз в неделю, с последующим использованием в лабораторных условиях газовой хроматографии, газо-хромас-спектрометрии или ИК-Фурье спектрометрии в зависимости от предъявляемых требований к погрешностям измерения. На фоновых станциях мониторинга ПГ осуществляются непрерывная регистрация на основе использования дисперсионных газоанализаторов. Приборная погрешность измерения, например CO_2 должна быть на уровне 0,6 млн$^{-1}$ (ppm), для метана CH_4 — 2 млрд$^{-1}$ (ppb). Мониторинг ПГ в атмосфере обеспечивается Всемирной Метеорологической организацией (ВМО) через государственные Метеорологические службы стран входящих в ВМО, а также рядом национальных служб по охране природной среды развитых промышленных стран, в частности National Oceanic and Atmosphere Administration/Earth Scientific Research Laboratory (NOAA/ESRL) — США и Commonwealth Scientific Industrial Research Organisation (CSIRO) — Государственная организация по проведению научных исследований (Австралия). Измерения CO_2 выполняются почти на 150 стационарных станций, небольшая часть которых имеет статус глобальных станций мониторинга, и как правило, выполняются непрерывные измерения концентрации газов в приземном слое атмосферы, результаты исследований публикуются на сайте World Data Center for Greenhouse Gases (WDCGG) — Всемирного центра данных по парниковым газам с осреднением за час, сутки и месяц. На станциях NOAA/ESRL и CSIRO, которые обычно совмещены со станциями ВМО, организован фляжечный отбор проб воздуха, как правило, один раз в неделю [2, 18].

Спутниковых измерения ПГ реализуются на базе Aqua или GOSAT в спектральной полосе 13,4–15,4 мкм с помощью инфракрасного спектрометра — AIRS или CO_2 и CH_4 на основе ACOS в полосах 1,56–1,72 мкм и 1,92–2,08 мкм соответственно [10, 15, 20].

AIRS имеет 2378 каналов и работает совместно, со спектрорадиометром AIRS/VisNIR (AIRS/Visible Near InfraRed), микроволновые радиометры AMSU-A1 (Advanced Microwave Sounding Unit-A1) и AMSU-A2. Центральным прибором этого комплекса является AIRS — первый гиперспектральный прибор космического базирования, осуществляющий измерения уходящего излучения в диапазонах 3,74–4,61мкм (2181–2665 см$^{-1}$), 6,20–8,22 мкм (1217–1613 см$^{-1}$), 8,8–15,4 мкм (650–1136 см$^{-1}$) с высоким спектральным разрешением ($\lambda/\Delta\lambda$) ≈ 1200. Эти диапазоны включают важные для восстановления температурного профиля атмосферы зоны поглощения углекислого газа (4,3 и 15 мкм), водяного пара (6,3 мкм) и озона (9,6 мкм). Этот прибор установлен на спутнике AQUA с полярной геосинхронной орбитой высотой 705,3 км, период обращения 98,88 мин. Угол зрения 98,2°±1°. Степень покрытия территории за день — 95 % поверхности Земли. AQUA покрывает Землю дважды в сутки (днем и ночью). Число регистрируемых пикселей при одном сканировании 90×1, угловой размер пикселя 1,1°, разрешение в надире 13,5 км, полоса сканирования на экваторе 1650 км, время одного сканирования 2,667 с. [10, 15, 20].

Мониторинг парниковых газов ПГ

На станциях ВМО, как правило, выполняются непрерывные измерения концентрации газов в приземном слое атмосферы, результаты исследований публикуются на сайте World Data Center for Greenhouse Gases (WDCGG) — Всемирного центра данных по парниковым газам с осреднением за час, сутки и месяц. На станциях NOAA/ESRL и CSIRO, которые обычно совмещены со станциями ВМО, организован фляжечный отбор проб воздуха, как правило, один раз в неделю. Мониторинг парниковых газов в атмосфере обеспечивается ВМО, а также рядом национальных служб по охране природной среды развитых промышленных стран, в частности NOAA (США), CSIRO (Австралия) и рядом других стран.

В РФ мониторинг фоновых значений концентрации ПГ проводятся на станциях Териберка, Тикси и Новый Порт, а также в пос. Воейково вблизи г. Санкт-Петербурга, что позволяет оценить различие концентраций ПГ от фоновых и антропогенных источников в пограничном слое атмосферы (рис. 1*а*,*б*).

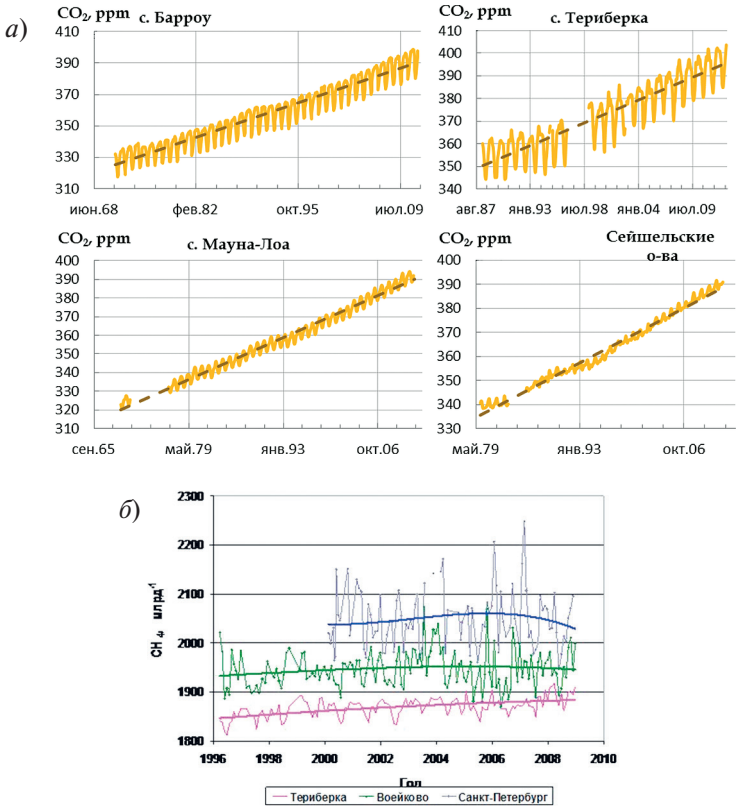


Рис. 1. Временная изменчивость ПГ: *а* — тренды изменчивости углекислого газа CO_2 для фоновых станций мониторинга ПГ на Барроу,Териберке, Мауна-Лоу и Сейшельские острова; *б* — временная изменчивость CH_4 для Териберки, Воейково и Санкт-Петербурга

Как показал многолетний опыт наблюдений составляющих газового состава атмосферы, измерений только концентраций парниковых и сопутствующих газов в атмосфере совершенно недостаточно для выяснения причин их сезонных и суточных вариаций. Так, например, резкое замедление глобального тренда CH_4 в атмосфере, наблюдаемое начиная с 1992 г., объяснялось и падением промышленного производства на территории бывшего СССР, и причинами, связанными с естественными изменениями в эмиссии болот и переувлажненных территорий. Наиболее вероятной версией причины стабилизации концентрации метана по мнению большой группы зарубежных ученых считается версия снижения эмиссии природных источников при сохраняющемся росте антропогенных [7, 8], однако причины снижения естественной эмиссии метана до настоящего времени не установлены. Содержатся лишь утверждения, что это лишь временная стабилизация и в ближайшие годы, рост концентрации CH_4 должен возобновиться [5].

Поскольку одним из основных природных источников CH_4 являются болота, а в РФ, по разным оценкам они занимают от 7 до 11 % территории, то оказывается, что в части вклада в естественную эмиссию метана Россия обладает существенными преимуществами перед другими странами.

Измерение CO_2 на разных высотах по отношению к морской станции

Станции мониторинга CO_2 в северо-западном регионе включая Балтийское море расположены на разных высотах относительно уровня моря (табл. 2), поэтому важно рассмотреть вклад высоты измерения CO_2 по отношению к морской станции мониторинга [14].

Таблица 2

Изменчивость CO_2 по отношению к морской станции

Станция	Страна	С.ш.	В.д.	Высота над уровнем моря, м	Превышение концентрации CO_2 по отношению к морской станции М, (млн$^{-1}$ или ppm)
Териберка	Россия	69°12'	35°07'	29	2,6
Pallas-Sammaltuntunturi	Финляндия	67°58'	24°07'	565	1,7
СПб Войково	Россия	59°57' 59°57'	30°19' 30°42'	6 71	1,4 — оценка на основе данных AIRS за 2010 г.
Ostergarnsholm	Швеция	57°27'	18°59'	30	2,8
Zingst	Германия	54°26'	8°19'	1	8,9
Neuglobsow	Германия	53°10'	13°02'	65	17,0

Превышение концентрации CO_2 по отношению к морской станции для Санкт-Петербурга была оценена на основе спутниковых измерений прибором AIRS (рис. 2).

Как видно из табл. 2 превышение концентрации CO_2 по отношению к морской станции не более 17 млн$^{-1}$ и не носит явно выраженный характер с высотой, что

свидетельствует о хорошем перемешивании в приземном слое атмосфере и в тропосфере в целом. Как будет показано ниже результаты наземных и спутниковых измерений CO_2 различаются в пределах 5–10 млн$^{-1}$, хотя алгоритм обращения CO_2 из радиометрических измерений и используемая весовая функция взяты для тропосферы.

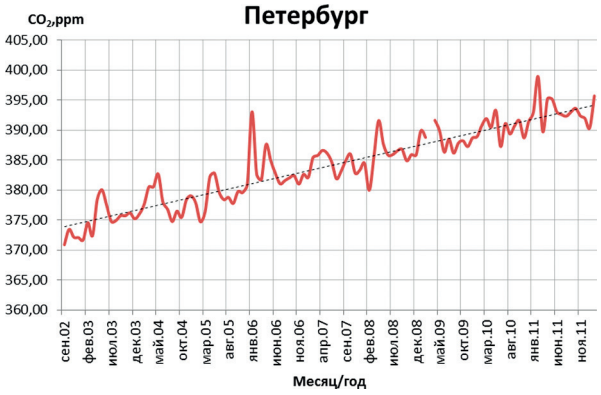
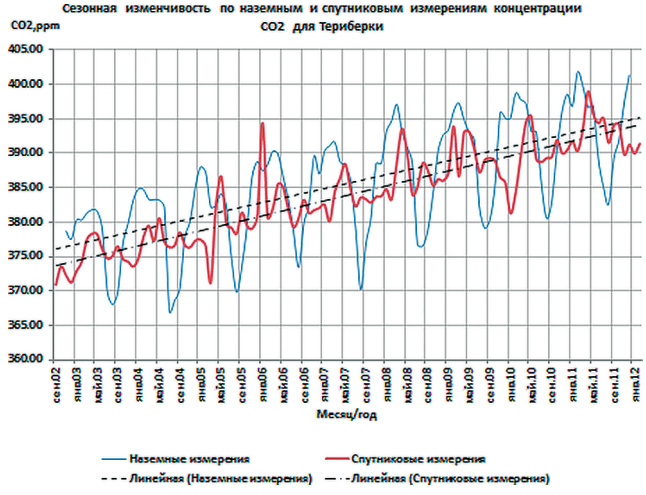


Рис. 2. Тренд изменчивости концентрации CO_2 для Санкт-Петербурга (на основе спутниковых измерений прибором AIRS)

Сравнение наземных и спутниковых измерений CO_2

На рис. 3*а*,*б* представлен характерный сезонный ход концентрации CO_2 за последние два десятилетия для станций Териберка и Pallas, которые показывают рост концентрации CO_2. Здесь же представлены спутниковые измерения с помощью прибора AIRS и видно, что результаты наземных и спутниковых измерений CO_2 сопоставимы с учётом приборной погрешности и метода обращения радиометрических измерений.

а)



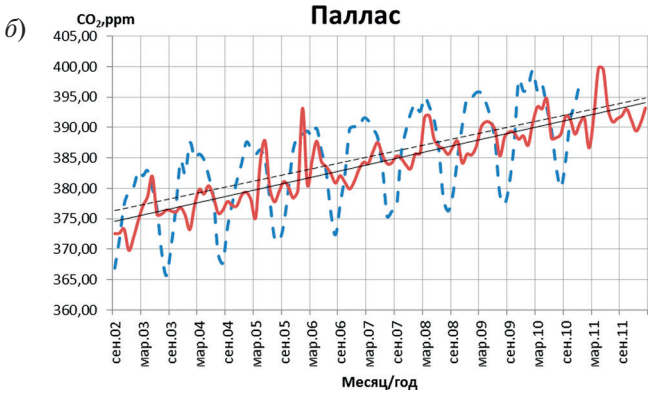


Рис. 3. Сезонный ход концентрации CO_2 по данным наземных и спутниковых измерений AIRS (http://en.ilmatieteenlaitos.fi/greenhouse-gases): *а* — для станции Териберка; *б* — для станции Pallas

На рис.4 представлена также изменчивость CO_2 по спутниковым измерений AIRS для района Тикси ,что также не противоречит данным наземных измерений приведённых в работе [9].

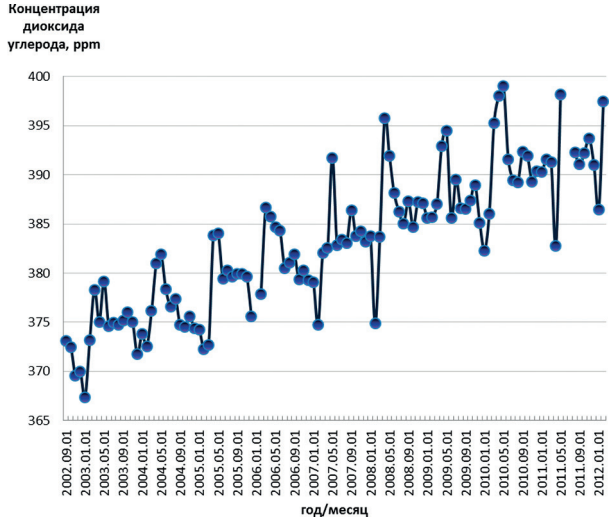


Рис. 4. Тренд изменчивости CO_2 по спутниковым данным прибора AIRS для района Тикси

Изменчивость аномалии температуры приземного воздуха и концентрации углекислого газа для отдельных регионов

Аномалии температуры приземного воздуха для отдельных регионов определялись как разность среднегодовых температур и соответствующих температур за 1900 г. для

регионов с различными аномалиями по сравнению со среднеглобальным потеплением за последние десятилетия в 0,6°С [1, 3, 7, 11, 14].

Среднегодовые тепературы приземного воздуха для регионов, где существовали станции мониторинга ПГ, оценивалась на основе сетевых гидрометеорологических измерений [13]. Наземные и спутниковые данные о концентрациях ПГ отбирались для северных и южных регионов со сравнительно длительными рядами измерений от 10 до 40 лет.

Связь исследуемых процессов оценивается по соответствию изменений их значений во времени и пространстве. Эта связь может быть как линейной, так и нелинейной. По тесноте связи, или иначе степени определенности одного из сопоставляемых процессов относительно другого, связи природных процессов, если они есть, могут быть разделены на функциональные и стохастические.

Функциональными связями между процессами Y и X называют такие связи, когда каждой величине X соответствует одно возможное значение Y.

Стохастическими (вероятностными) связями называются такие связи, когда каждой величине X соответствует определенное множество значений Y.

Случайную величину Y называют зависимой переменной, или предикантом, а X-независимой переменной, или предиктором. В общем случае величина Y может зависеть от множества предикторов (X_1, X_2, ..., X_k), но мы рассматриваем такую ситуацию, когда предиктор лишь один. В этом случае исследуемые данные можно представить в виде таблицы с двумя столбцами: в одном значения предиктора, во втором значения соответствующих ему значений предиканта. Обычно точки на графике не лежат на одной линии, даже если X и Y связаны функциональной зависимостью, а образуют так называемое поле рассеяния (или корреляционное поле).

Общий вид математической модели линейной регрессии можно представить в виде:

$$y_i = y(x_i) = \hat{y}(x_i) + \varepsilon_i,$$

где $\hat{y}(x_i) = ax_i + b$ — составляющая Y, закономерно, зависящая от X; ε_i — случайная составляющая, не зависящая от X.

Суть метода наименьших квадратов (МНК) состоит в том, чтобы определить такие расчетные параметры a и b, при которых сумма квадратов отклонений наблюденных значений y_i от рассчитанных по уравнению регрессии будет иметь минимальное значение.

Другой задачей исследования математической модели линейной регрессии является определение тесноты связи исходных рядов. Для этого чаще всего используется коэффициент корреляции r_{xy}, служащий мерой разброса точек связи (y, x) относительно линии регрессии.

Если все точки связи ложатся на линию регрессии и каждой величине X в поле графика $y = f(x)$ соответствует одно единственное значение Y, т.е. связь является функциональной, то коэффициент корреляции равен 1. Если каждой величине X отвечает весь возможный диапазон значений Y, т.е. связь отсутствует, то коэффициент корреляции равен 0. Если Y возрастает с увеличением X, то коэффициент корреляции положительный, если уменьшается — отрицательный. Таким образом, все возможные значения коэффициента корреляции находятся в пределах $-1 \leqslant r_{xy} \leqslant 1$.

На основе регрессионного анализа и парной корреляция были выполнены оценки взаимосвязи между среднегодовой аномалией температурой ΔT по отношению к 1900 г. и концентрацией двуокиси углерода С ppm (млн$^{-1}$) .

За период с 1972 по 2011 г. для фоновой станции мониторинга CO_2 в Барроу с коэффициентом корреляции 0,664. Для Мауна-Лоу взаимосвязь между аномалией температуры и концентрацией CO_2 оказалась 0,886 (рис. 5). В тоже время для Санкт-Петербурга, где среднегодовые аномалия температуры воздуха за последние десятилетия достигали 2,9°С по отношению к 1900 г., а для Балтийского региона до 1,5°С, что связано с наблюдаемым потеплением климата, то для северо-западного региона оказалась не значимой с коэффициентом корреляции в пределах 0,3–0,6.

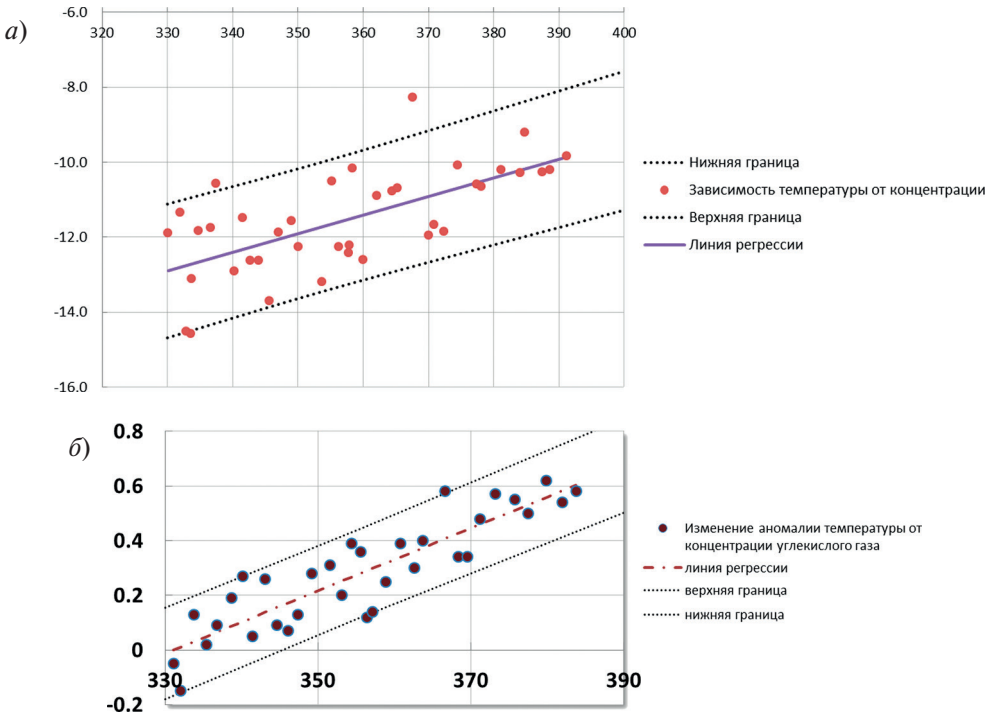


Рис. 5. Взаимосвязь между среденегодовой температурой T и концентрацией двуокиси углерода С (млн$^{-1}$): *а* — для Барроу с 1972 по 2011 г.; *б* — изменчивость аномалии температуры ΔT°С для Мауна-Лоу за период с 1975 по 2012 г. по отношению к 1900 г. и соответствующим измненениям концентрации углекислого газа С, млн$^{-1}$

В табл. 3 приведены рассчитанные значения коэффициентов корреляции аномалии температуры с наземными и спутниковыми значениями концентрации диоксида углерода.

Очевидно, что ряды измерений концентраций диоксида углерода как наземные так и спутниковые не обладают достаточной длиной, чтобы модель линейной парной корреляции можно было бы с уверенностью назвать адекватной. Однако все же в отдельных пунктах, в которых измерения проводятся достаточно давно, существует

достаточно тесные значимые связи между исследуемыми параметрами: так, например, для станций Барроу и Мауна-Лоа наблюдаются достаточно высокие коэффициенты корреляции с наземными данными (0,664 и 0,886 соответственно) и высокие, но в силу малого числа точек связи незначимые, коэффициенты корреляции со спутниковыми данными (0,528 и 0,339 соответственно). Тем не менее следует отметить, что изменчивость площади, толщины льдов, сокращение ледового периода на 20–40 дней в Балтийском море, а также в Северном ледовитом океане особенно в 2007 и 2012 г. могут быть связаны с наблюдаемым потеплением климата на рубеже веков, что возможно связано с временем жизни CO_2 порядка 12 лет и инерционностью термодинамических процессов атмосфере. Несмотря на мнение алармистов [7, 14–18] неопределённости измерений и расчётов дают возможность для обоснований и скептиков в части причин современных изменений климата (краткосрочная изменчивость циркуляции атмосферы и температуры мирового океана, облачность, аэрозоль, солнечно-земные связи, изменения альбедо земной поверхности).

Таблица 3

Коэффициенты корреляции аномалии температуры с приземными и спутниковыми измерениями концентрации диоксида углерода

Станция	Коэффициент корреляции аномалии температуры концентрации CO_2	
	с наземными данными	со спутниковыми данными
Барроу	0,664	0,528
Териберка	0,370	−0,321
Паллас	0,065	−0,454
Микава	0,243	0,009
Йонаганиджима	−0,029	0,633
Кисай	0,183	0,222
Мауна-Лоа	0,886	0,339
о-в Махе	0,561	0,767

Тем не менее следует отметить, что изменчивость площади, толщины льдов, сокращение ледового периода на 20–40 дней в Балтийском море, а также в Северном ледовитом океане особенно в 2007 и 2012 г. могут быть связаны с наблюдаемым потеплением климата на рубеже XX–XXI вв., что возможно связано с временем жизни CO_2 порядка 12 лет и инерционностью термодинамических процессов атмосфере. Несмотря на мнение алармистов [12–15] неопределённости измерений и расчётов дают возможность для обоснований скептиков в части современных изменений климата.

Представленная на рис. 6*б* изменчивость глобальной аномалии температуры с 1880 по 2012 г. (по отношению к доиндустриальному периоду), который с одной стороны свидетельствует о потеплении на рубеже XX и XXI в. и в тоже время несмотря на некоторое похолодание в 2012 г., это обстоятельство не сказалось на росте площади ледового покрова в Арктике и, даже, наоборот в 2012 г. наблюдалось рекордное сокращение площади льда в результате его таяния в августе-сентябре. Это можно объяснить

инерционностью изменения климата на Земле или региональными особенностями изменчивости температуры приземного воздуха в Арктике.

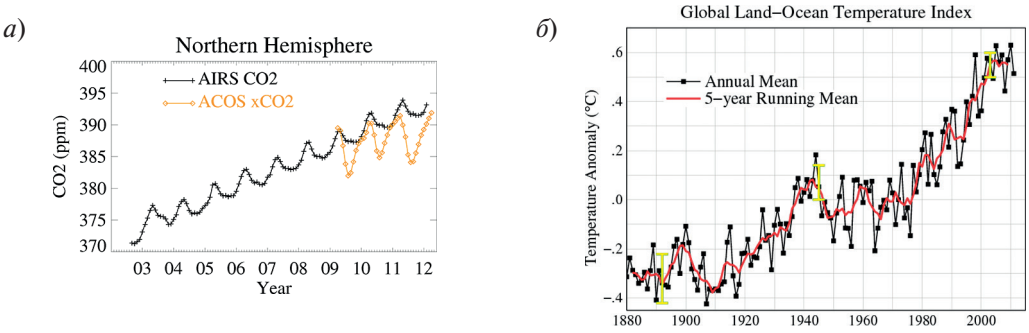


Рис. 6. Сопоставление изменчивости CO_2 для северного полушария по данным AIRS и ACOS: *а* — согласно [16] и глобальной аномалии температуры с 1980 по 2012 г.; *б* — согласно Goddard Institute for Space Studies NASA (http://data.giss.nasa.gov/gistemp)

Согласно данных по AMSR2 Японского космического агентства и ААНИИ максимальное сокращение ледового покрова в Северном Ледовитом океане до 4,21 млн км^2 отмечалось 24 сентября 2007 г., тогда как в 2012 г. уже 24 августа отмечается ещё большее сокращение льда в Арктике. Следует отметить, что согласно данных ААНИИ сокращение площади льдов в Арктике сопровождается в тоже время ростом площади льдов в Антарктиде, но при этом глобальная площадь ледового покрова уменьшается (рис. 7).

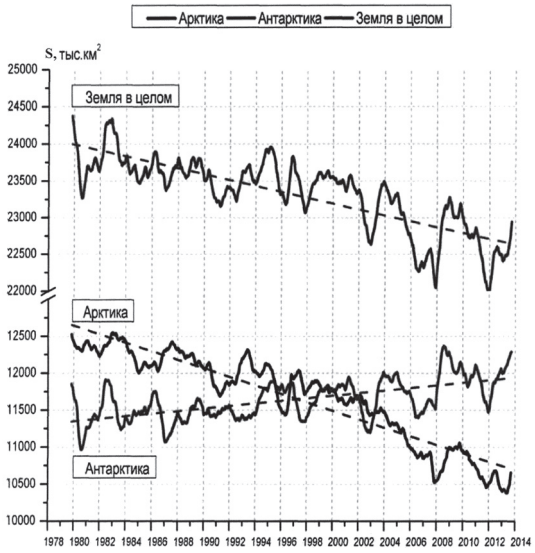


Рис. 7. Тренды изменчивости площади ледового покрытия в Арктике, Антарктиде и на Земле в целом за период с 1979 по 2013 г. по данным ААНИИ и AMSR2 Японского космического агентства

Заключение

В работе проанализирована изменчивость наземных концентраций диоксида углерода на основе наземных и спутниковых измерений для разных регионов. Рпревышение концентрации CO_2 по отношению к морской станции не более 17 млн$^{-1}$ и не носит явно выраженный характер с высотой, что свидетельствует о хорошем перемешивании в приземном слое атмосфере и в тропосфере в целом. Сравнение наземных в приземном слое и спутниковых измерений CO_2 показывает различие в пределах 2–5 млн$^{-1}$,хотя алгоритм обращения CO_2 из радиометрических измерений и используемая весовая функция взяты для тропосферы. Не смотря на различия методов определения CO_2 с помощью приборов в AIRS и ACOS полученные данные сопоставимы в пределах приборной погрешности и метода. Значимые коэффициенты корреляции получены для более долговременных периодов измерений аномалией температуры приземного воздуха и концентрацией CO_2 для станций мониторинга ПГ в Мауна-Лоу, Барроу и не значимые для станций мониторинга в регионе Балтийского моря, и для Санкт-Петербурга и Ленинградской области, в частности, а также других рассмотренных станций мониторинга ПГ. Что не позволяет утверждать, что причиной наблюдаемого потепления климата отдельных регионов напрямую связано с ростом концентрации ПГ.

Литература

1. *Биненко В.И., Решетников А.И.* Парниковые газы в атмосфере. // Региональная экология, 2010, № 3(29), с. 24–38.
2. Биненко В.И., Решетников А.И. Изменчивость температуры приземного воздуха и риски, связанные с потеплением климата. // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций, 2008, № 6, с. 86–111.
3. *Биненко В.И., Решетников А.И., Шевчук Н.О.* Изменчивость аномалий температуры приземного воздуха и концентрации углекислого газа в атмосфере региона Балтийского моря. // Материалы 14-го межд. экологического форума «День Балтийского моря» 21–22 марта 2013, СПб.
4. *Гусакова М.А., Карлин Л.Н.* Оценка влияния отдельных климатообразующих факторов на радиационные потоки в атмосфере и межгодовую изменчивость глобальной приповерхностной температуры воздуха. // Ученые записки РГГМУ, 2013, № 31, с. 95–103.
5. *Парамонова Н.Н., Привалов В.И., Решетников А.И.* Мониторинг углекислого газа и метана в России. // Изв. РАН, Физика атмосферы и океана, 2001, т. 37, № 1, с. 67–73.
6. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. // Росгидромет, 2008, т. 1. — 230 с.
7. *Макарова М.В, Поберовский А.В., Яговкина С.В., Кароль И.Л., Лагун В.Е., Парамонова Н.П., Решетников А.И., Привалов В.И.* Исследование процессов формирования поля метана в атмосфере Северо-Западного региона Российской Федерации. // Изв. РАН, Физика атмосферы и океана, 2006, т. 42, № 2, с. 237–249.
8. *Решетников А.И., Зинченко А.В., Яговкина С.В., Кароль И.Л., Лагун В.Е., Парамонова Н.Н.* Исследования эмиссии метана на севере Западной Сибири. // Метеорология и гидрология, 2009, № 3, с. 52–63.
9. *Решетников А.И., Макитас А.П.* Арктическая гидрометеорологическая обсерватория «Тикси». // Труды Главной Геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова, вып. 567, с. 267–283.
10. *Olsen E.T.* AIRS Version 5 Release Tropospheric CO_2 Products. — Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, 2009. — 38 p. — Электронный ресурс: [http://airs.jpl.nasa.gov/AskAirs].
11. [http://global-climate-change.ru/index.php/en/officialdocuments/nationainventoryreport/197-inventory report20092011].
12. [http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/AIRS/data-holdings/by-data-product/AIRX3C2M].
13. [http://meteo.infospace.ru, http://www.gismeteo.ru/].

14. *Solomon S., Quin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., Miller H.L. (eds)* Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. // IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. — Cambridge University Press, Cambridge United Kington and New York, № 4. — 996 p.
15. *Maddy E.S., Barnet C.D., Goldberg M., Sweeney C., Liu X.* CO_2 retrievals from the Atmospheric Infrared Sounder: Methodology and validation. // Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2008, vol. 113, iss. D11.
16. *Pitman A.J. et. al.* Uncertainties in climate responses to past land cover change: First results from the LUCID intercomparison study. // Geophysical Research Letters, 2009, vol. 36, iss. 14.
17. *Rutgersson A., Norman M., Astrom G.* Atmospheric CO_2 variation over the Baltic Sea and The impact on air-sea change. // Bor. Env. Res., 2009, vol. 14, pp. 238–249.
18. OCO (Orbiting Carbon Observatory)-2. Level 2 Full Physics Retrieval Algorithm Theoretical Basis. Version 1.0 Rev 4. — NASA JPL, 2010. — 69 p.
19. WMO Greenhouse Gas Bulletin, 2012, No. 5.
20. *Wunch D. et. al.* A method for evaluating bias in global measurements of CO_2 total columns from space. // Atm. Chem. Phys. Discuss, 2011, vol. 11, pp. 20899–20946.