

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МОДЕЛИ ОЦА ГИДРОМЕТЦЕНТРА РОССИИ К УВЕЛИЧЕНИЮ КОНЦЕНТРАЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В ЭКСПЕРИМЕНТАХ С ТЕМПЕРАТУРОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА ИЗ СОВМЕСТНОЙ МОДЕЛИ АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА*

М. С. ГУСЕВА, К. Г. РУБИНШТЕЙН

Гидрометцентр России, Москва

e-mail: msemenovna@rambler.ru, rubin@mecom.ru

Sensitivity of the global air temperature to the increased concentrations of carbon dioxide (CO₂) in the HMC general circulation model was analyzed. Concentration was increased by 1% per year. The SST was set according to the results of the same experiment with the IVM RAN coupled atmosphere-ocean model. Sensitivity of the average global air temperature in HMC model is 0.9 K and it is equal to that of the IVM RAN model. In general, sensitivity of the air temperature is lower in the HMC model than in some foreign models.

Введение

В последние несколько десятилетий происходит заметное увеличение приповерхностной температуры воздуха [1]. Согласно докладу [2], опубликованному в 2001 году IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change — Межгосударственным совещанием по изменению климата), существенный вклад в это потепление вносит увеличение концентрации парниковых газов, главным образом углекислого (CO₂).

Одним из основных, если не единственным, способов изучения отклика сложной климатической системы Земли на антропогенное воздействие является численное моделирование климатической системы. При моделировании изменений климатической системы необходимо адекватно описывать процессы в атмосфере, океане, криосфере и на суше. Как правило, современные климатические модели имеют все перечисленные компоненты. Так как невозможно предсказать, по какому сценарию будет развиваться в будущем мировая

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 03-05-64312, № 04-05-64151), а также INTAS (грант № 03-51-5296).

© Институт вычислительных технологий Сибирского отделения Российской академии наук, 2005.

экономика, в рамках ИРСС разработан ряд возможных сценариев изменения концентрации парниковых газов в атмосфере. Все модели, участвующие в исследованиях изменения климата, проводят эксперименты в соответствии с этими сценариями, в частности эксперименты с удвоением концентрации углекислого газа и ее ростом на 1 % в год (сценарий ИРСС IS92a [3]). В рамках международного проекта СМІР (Coupled Model Intercomparison-Project — Проекта сравнения совместных моделей) (<http://www-pcmdi.llnl.gov/covey/cmip>) также проводится сравнение откликов совместных атмосфера — океан моделей на увеличение концентрации углекислого газа в атмосфере. Под откликом модели на увеличение CO_2 , как и в [4], подразумевается разность результатов эксперимента с увеличением CO_2 и результатов контрольного эксперимента, в котором концентрация фиксируется. В проекте СМІР принимают участие более 30 совместных моделей, созданных в разных странах и имеющих различные параметры.

По данным аналогичного эксперимента с моделями, участвующими в проекте СМІР [4], приземная температура растет в среднем на 1.73°C , причем основные изменения происходят в высоких широтах и полярных регионах, глобальное количество осадков также увеличивается.

В Институте вычислительной математики РАН (ИВМ РАН) создана совместная модель общей циркуляции атмосферы и океана, и она также принимает участие во второй части проекта СМІР. Качество воспроизведения современного климата совместной моделью общей циркуляции атмосферы и океана продемонстрировано в [5]. В дальнейшем эту модель для краткости будем называть МКС ИВМ (модель климатической системы Института вычислительной математики).

1. Исходные данные и методика проведения численных экспериментов

Поскольку в Гидрометцентре России нет совместной модели атмосфера — океан, сценарный эксперимент с увеличением концентрации углекислого газа был проведен с помощью модели общей циркуляции атмосферы (ОЦА) Гидрометцентра, а в качестве температуры поверхности океана (ТПО) и для контрольного и сценарного экспериментов использовались ТПО из совместной модели атмосферы и океана ИВМ РАН. Температура поверхности океана методом линейной интерполяции была переведена из сетки размером 4° по широте и 5° по долготе (счетная сетка модели ИВМ) в гауссову сетку с разрешением приблизительно $2.8 \times 2.8^\circ$ (Т42 — треугольное усечение 42 гармоник).

Эксперименты проводились с версией модели Т42L15 (15 уровней по вертикали). Целями данной работы являются анализ отклика модели общей циркуляции атмосферы Гидрометцентра России на увеличение содержания CO_2 и сопоставление этого отклика с результатами экспериментов с МКС ИВМ и другими моделями. Для этого будем анализировать отклик модели ГМЦ на заданное увеличение концентрации CO_2 путем сравнения двух 20-летних расчетов. В первом (контрольном) эксперименте концентрация CO_2 в атмосфере была задана неизменной и равной 318 ppm, что примерно соответствует наблюдавшейся в период с 1979 по 1988 год [6], а температура поверхности океана задавалась согласно результатам контрольного эксперимента с той же концентрацией МКС РАН [5] за последние 20 лет интегрирования. Во втором эксперименте концентрация CO_2 увеличивалась на 1 % в год. На рис. 1 показан временной ход концентрации углекислого газа, наблюдавшийся в период с 1983 по 2002 год в полосе $3\text{--}30^\circ$ с.ш., 137° в.д. [7]. Видно, что скорость

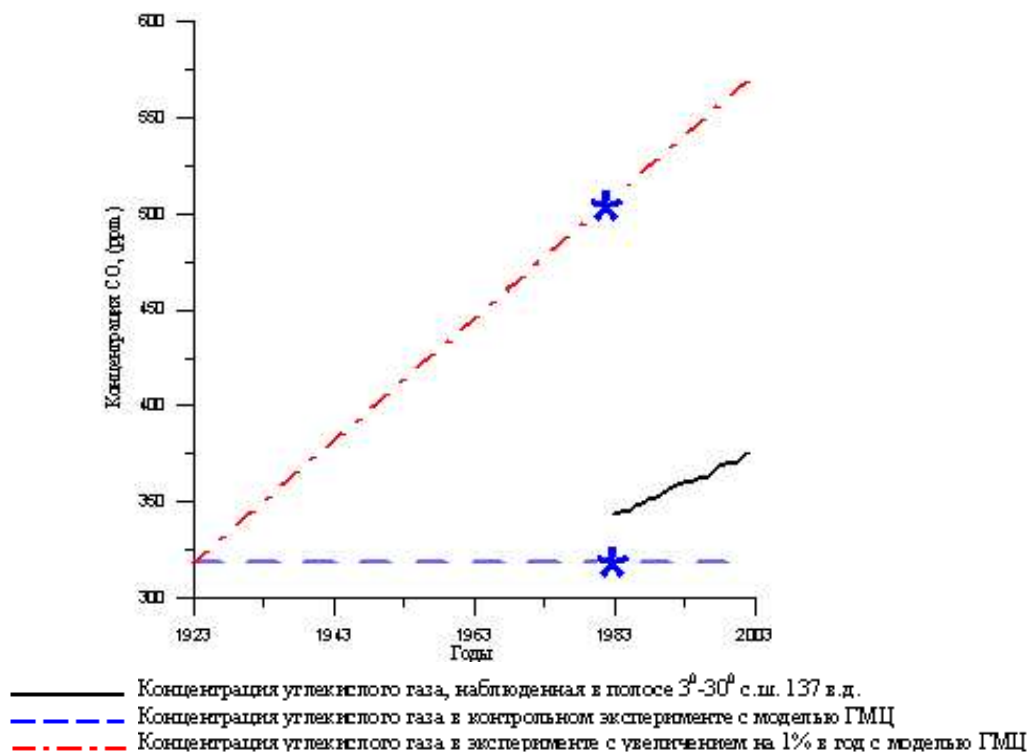


Рис. 1. Изменение со временем концентрации углекислого газа (ppm), наблюдаемое в экспериментах с моделью ГМЦ.

роста 1% в год в сценарном эксперименте примерно соответствует наблюдавшейся скорости, а уровень, заданный в контрольном эксперименте, близок к реальности. Звездочками на рисунке отмечены концентрации в начале эксперимента.

2. Сравнение интегрального отклика модели ГМЦ T42L15 на увеличение концентрации углекислого газа с аналогичным откликом, полученным участниками CMIP

В рамках вышеупомянутого проекта CMIP проводился подобный эксперимент с увеличением концентрации углекислого газа на 1% в год (сценарий IPCC IS92a).

Сравнение хода отклика глобально осредненной среднегодовой температуры этих моделей на увеличение концентрации углекислого газа с аналогичным откликом модели ГМЦ (рис. 2) показывает, что чувствительность модели Гидрометцентра примерно на 50% ниже чувствительности совместных моделей атмосферы и океана.

Значение отклика модели ГМЦ, осредненного только по суше, сопоставимо по величине с откликом глобальной приземной температуры воздуха (рис. 3) для других моделей, т. е. в целом чувствительность модели ГМЦ даже в эксперименте с ТПО, взятой из совместной модели атмосферы и океана, меньше.

Для сравнения был рассчитан отклик совместной модели атмосферы и океана ECHAM4/ORUC3 Института метеорологии Макса Планка (Гамбург, ФРГ) [9]. Для рас-

Отклик различных моделей NCAR и модели ГМЦ
на увеличение концентрации CO_2

Модель	Величина отклика, К
PCTM	1.29
CCSM	1.05
CSM	1.47
PCM	1.32
ГМЦ (глобус)	0.90
ГМЦ (суша)	1.70
ЕСНАМ4/ОРУСЗ (суша)	2.50

Примечание: CSM — Climate System Model, PCM — Parallel Climate Model, PCTM — PCM/CSM Transition Model, CCSM — Community Climate System Model [10].

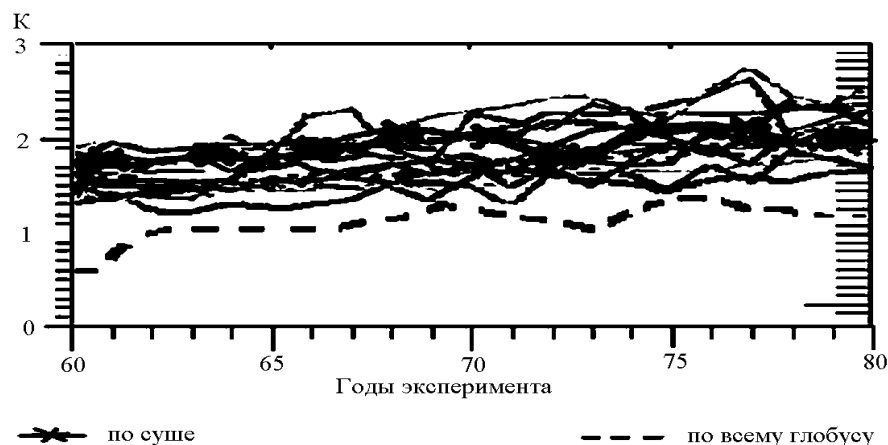


Рис. 2. Изменение со временем отклика среднегодовой приземной температуры воздуха на увеличение концентрации углекислого газа на 1% в год в модели ГМЦ и моделях-участниках СМIP.

чета были использованы данные контрольного эксперимента и эксперимента по сценарию IPCC IS92a [3]. Глобальный отклик приземной температуры воздуха немецкой модели по суше составляет 2.5 К, что на 0.9 К выше аналогичного отклика модели ГМЦ на увеличение концентрации углекислого газа.

Отклик упомянутых совместных моделей Национального центра исследований атмосферы (NCAR) [10], модели ЕСНАМ4/ОРУСЗ в сравнении с откликом модели ГМЦ представлен в таблице.

3. Сравнение географического распределения изменения приземной температуры в двух моделях при увеличении концентрации CO_2

Пространственное распределение среднегодового отклика моделей для температуры воздуха у поверхности приведено на рис. 3. В модели ИВМ потепление максимально в центре Евразии (рис. 3,б) и достигает там 3.5 К (в модели ГМЦ (рис. 3,а) этот максимум не вы-

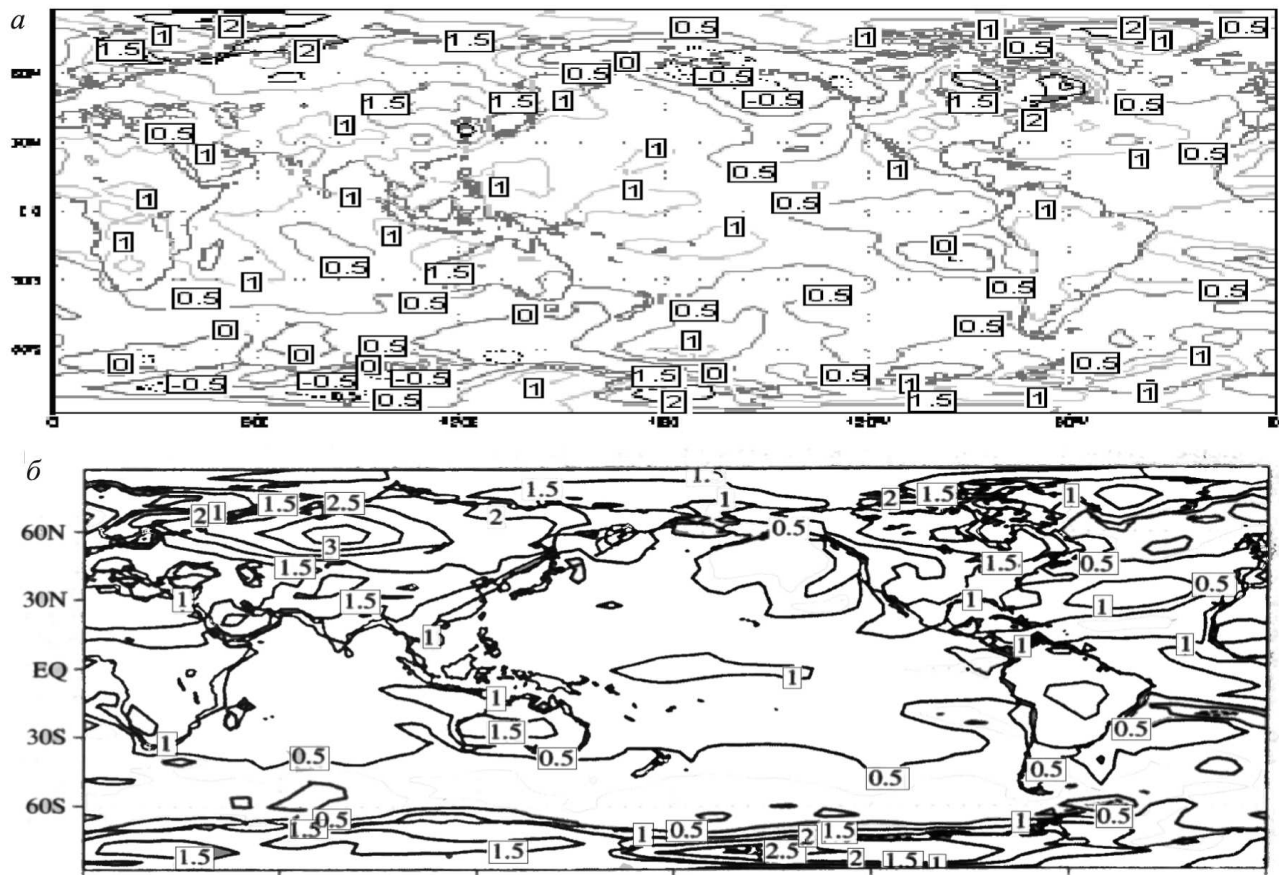


Рис. 3. Карта среднегодового отклика приземной температуры в модели ГМЦ (а) и совместной модели ИВМ РАН (б) на увеличение концентрации углекислого газа.

явлен), а также в Антарктиде (до 2.5 К, что на 1 К больше, чем в модели ГМЦ). На большей части остальных континентов потепление по обоим расчетам составляет 1...1.5 К, а на большей части океанов 0.5...1 К. В Южном океане, а также на севере Атлантики и Тихого океана есть области, где в модели величина потепления меньше 0.5 К. Следует отметить, что в эксперименте с моделью ГМЦ в Восточном полушарии в районе побережья Антарктиды наблюдается отрицательный отклик приземной температуры на увеличение концентрации углекислого газа (-0.5 К). В целом конфигурации изолиний по данным эксперимента как с одной, так и с другой моделью схожи между собой.

Перейдем к отклику моделей отдельно в ноябре — апреле и мае — октябре. На континентах Северного полушария потепление в холодный сезон по данным обоих расчетов существенно больше, чем среднегодовое. В МКС ИВМ оно достигает в Евразии 3...5 К, а в Северной Америке 2...3.5 К, в модели ГМЦ — 1.5...2.5 К. Как и в случае со среднегодовой приземной температурой, положение изолиний по данным экспериментов с обеими моделями схожи.

В мае — октябре потепление на континентах Северного полушария значительно меньше по данным обоих расчетов, чем в ноябре — апреле, и достигает лишь 1...1.5 К. В то же время на континентах Южного полушария, в том числе и в Антарктиде, различие между потеплением в мае — октябре и ноябре — апреле гораздо меньше, чем в средних широтах Северного полушария. Эта тенденция прослеживается как в распределении отклика по результатам экспериментов с моделью ГМЦ, так и с МКС ИВМ.

Заключение

Проанализирован отклик модели Гидрометцентра России на увеличение концентрации CO_2 в экспериментах с использованием данных ТПО из совместной модели атмосферы и океана ИВМ РАН. Максимальное потепление по расчетам с моделью ГМЦ происходит на северо-западе Северной Америки и составляет 2 К, что меньше максимального отклика МКС ИВМ, который составляет 3.5 К и характерен для центра Евразии. В ноябре — апреле по расчетам с моделью ГМЦ теплеет сильнее (на 2.5 К), чем в мае — октябре (на 1 К). Такая же тенденция прослеживается и по данным расчетов с МКС ИВМ, но там отклик выше (на 1 К) по своему абсолютному значению.

Из анализа карт изменения температуры можно сделать вывод, что в целом конфигурация изолиний и регионы максимумов/минимумов схожи, за исключением некоторых случаев, а также что температурный отклик модели ГМЦ на увеличение концентрации углекислого газа меньше, чем отклик МКС ИВМ, а отклик давления больше.

Из анализа хода температурного отклика модели ГМЦ на увеличение концентрации углекислого газа в эксперименте и сравнения его с совместными моделями, участвующими в проекте CMIP, следует, что чувствительность модели ГМЦ меньше.

Список литературы

- [1] JONES P.D., NEW M., PARKER D.E. ET AL. Surface air temperature and its changes over the past 150 years // *Rev. Geophys.* 1999. Vol. 37. P. 173–199.
- [2] CLIMATE Change 2001. The Scientific Basis. Intergovernmental Panel on Climate Change / Eds. J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs et al. Cambridge, 2001. 881 p.
- [3] CLIMATE Change: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment, Intergovernmental Panel on Climate Change / Eds. J.T. Houghton, B.A. Callander, S.K. Varney. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1992. 198 p.
- [4] COVEY C., ACHUTARAO K.M., LAMBERT S.J., TAYLOR K.E. Intercomparison of present and future climates simulated by coupled ocean-atmosphere GCMs. PCMDI Report № 66. 2000. P. 1–20.
- [5] ДИАНСКИЙ Н.А., ВОЛОДИН Е.М. Воспроизведение современного климата с помощью совместной модели общей циркуляции атмосферы и океана // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.* 2002. Т. 38, № 6. С. 824–840.
- [6] GATES W.L. AMIP: The Atmospheric Model Intercomparison Project. PCMDI Report. N 7. Dec. 1992. P. 6.
- [7] THE Global Climate System Review: June 1996 — December 2001. WMO, 2003. N 950. 136 p.
- [8] REYNOLDS R.W., SMITH T.M. Improved global sea surface temperature analyses using optimal interpolation // *J. of Climate.* 1994. N 7. P. 929–948.
- [9] ROECKNER L., BENGSTON L., FEICHER J. ET AL. Transient climate change simulations with a coupled atmosphere-ocean GCM including the tropospheric sulfur cycle // *J. of Climate.* N 12. P. 3004–3032.

- [10] MEEHL G.A., WASHINGTON W.M., ARBLASTER M.J., HU A. Factors affecting climate sensitivity in global coupled models // J. of Climate. 2004. Vol. 17. April. P. 1584–1596.

Поступила в редакцию 2 июня 2005 г.