

УДК 519.6:[574+504.7]

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РОЛИ БИОСФЕРЫ В КОМПЕНСАЦИИ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ ГЛОБАЛЬНОГО ЦИКЛА ДВУОКИСИ УГЛЕРОДА

© 2009 А.М. Тарко

Учреждение Российской академии наук Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН,
г. Москва; e-mail: tarco@himki.net

На основе пространственной математической модели глобального цикла двуокиси углерода в биосфере рассчитано поглощение выбросов двуокиси углерода от сжигания органических топлив, вырубки лесов и эрозии почв экосистемами суши, странами и регионами мира. Сделаны расчеты последствий ограничений выбросов CO_2 в атмосферу на основе различных сценариев выполнения Киотского протокола к Рамочной конвенции о стабилизации климата. Показано, что Россия находится в исключительном положении относительно других стран: экосистемы ее территории больше других стран поглощают CO_2 атмосферы, а промышленные выбросы с ее территории практически равны поглощению.

Ключевые слова: *математическое моделирование, глобальный биогеохимический цикл двуокиси углерода, глобальное потепление, биосфера, чистая первичная продукция, антропогенные воздействия, принцип Ле-Шателье.*

Целью данной работы является математическое моделирование глобального цикла двуокиси углерода и определение роли биосферы в компенсации результатов влияния антропогенных выбросов CO_2 в атмосферу на глобальный климат. Главное внимание уделяется анализу роли экосистем суши, отдельных ее регионов, стран мира и особенно России, в глобальной стабилизации количества CO_2 в атмосфере.

Расчеты динамики биосферных процессов с учетом влияния хозяйственной деятельности для всего мира, стран и регионов были проведены с помощью разработанной автором пространственной математической модели глобального цикла углерода в системе атмосфера - экосистемы суши - океан [3]. В модели территория всей планеты разделена на ячейки размером $0.5 \times 0.5^\circ$ географической сетки (приблизительно 50×50 км). Предполагается, что в каждой ячейке суши находится растительность одного типа согласно мировой классификации [1]. Каждая ячейка характеризуется следующими переменными: количеством углерода в массе растительности, в массе мертвого органического вещества почвы (гумус и подстилка). Происходит обмен углеродом в форме CO_2 с атмосферой, общее количество углерода в которой также является переменной модели. Модель описывает процессы роста и отмирания растительности, накопления и разложения гумуса в терминах обмена углеродом между атмосферой, растениями и гумусом почвы в каждой ячейке суши. Климат в каждой ячейке характеризуется среднегодовой температурой воздуха у поверхности земли и количеством

осадков за год. Значения температуры и осадков для каждой ячейки в зависимости от количества углерода в атмосфере (парниковый эффект) рассчитываются с помощью климатической модели общей циркуляции атмосферы и океана [2]. Модель была дополнена моделью цикла углерода в системе атмосфера - океан [4]. Предполагается, что в отсутствие антропогенных выбросов CO_2 в атмосферу количество углерода в системе атмосфера - растения - почва - океан постоянно и что до начала антропогенных воздействий система была в положении равновесия.

Модель содержит более 100 тысяч дифференциальных уравнений и реализована на ЭВМ. Рассчитанные компьютерные карты годичной продукции растительности суши и количества углерода в мертвом органическом веществе почвы адекватно воспроизводят данные измерений.

Моделировалась динамика биосферы с 1860 г. по 2100 г. Был принят следующий базовый сценарий. Антропогенное поступление CO_2 в атмосферу начинается в 1860 г., оно происходит в результате промышленных выбросов CO_2 от сжигания ископаемых органических топлив (каменный уголь, нефть, газ) [5], вырубки лесов и эрозии почв. После 2006 г. темпы роста промышленных выбросов сохраняются такими же, какими были предыдущее десятилетие (1,62% в год). С 1950 г. по 2100 г. идет вырубка и последующее уничтожение тропических лесов. В этот период масса тропических лесов каждый год уменьшается на 0,6%, соответствующее количество CO_2 поступает в атмосферу. Эрозия почв связана, прежде всего, с сельскохозяйственной эксплуа-

тацией земель, соответствующее количество CO_2 также поступает в атмосферу. Эрозия начинается в 1860 г. и составляет в год 0.15%. Территория вырубки и эрозии задается соответствующими пространственными распределениями.

Расчет динамики биосферных параметров на основе принятых допущений (базовый сценарий) показан на рис. 1. Видно, что происходил рост CO_2 в атмосфере, это способствовало увеличе-

нию продуктивности растительности суши и росту фитомассы растений. Экосистемы суши и океан, поглощали излишки CO_2 и в целом замедляли его рост, проявляя компенсаторные свойства биосферы. Количество мертвого органического вещества почвы сначала снижалось, а затем по мере проявления компенсаторных свойств биосферы увеличивалось.

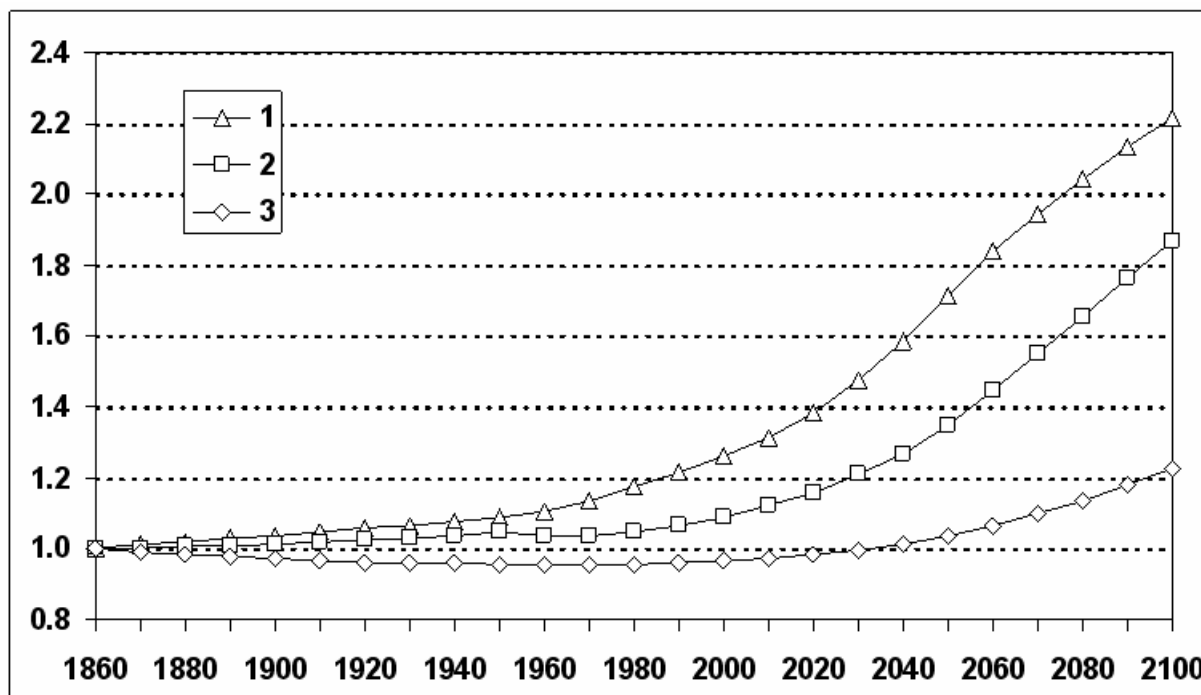


Рис. 1. Расчет динамики относительных значений углерода в атмосфере (1), в фитомассе растений (2), гумусе почв (3) в 1860–2100 гг.

Согласно расчету, к 2100 г. следует ожидать роста концентрации углекислого газа в атмосфере Земли в 2,2 раза и средней температуры атмосферы на $2,7^\circ\text{C}$ по сравнению с их значениями в 1860 г.

Расчеты показывают, что в течение всего индустриального периода экосистемы средних и высоких широт Северного полушария поглощали CO_2 , а в экваториальной - выделяли. Наибольшее поглощение происходило в широтах $53\text{--}65^\circ$ с.ш. Северного полушария, где сосредоточено большое количество лесных экосистем. Если двигаться от высоких и средних широт к экватору, то в целом, чем ближе к экватору была экосистема, тем в меньшей степени она поглощала CO_2 , а, начиная с 22° северной широты и далее до 25° южной широты, происходило выделение CO_2 .

В целом в 2006 г. 38% суммы индустриальных выбросов, выбросов от вырубки лесов и эрозии почв было поглощено экосистемами суши и океаном, при этом поглощение экосистемами суши составило 48,2% от величины выбросов,

океан поглотил 12,5%.

В модели возможно рассмотрение стран, размеры которых превышают пространственное разрешение 50×50 км. Рассмотрим выделение и поглощение двуокси углерода на территории стран. Данные индустриальных выбросов и поглощения экосистемами стран за 2006 г., имеющих наибольшие выбросы, приведены на рис. 2. Видно, что наибольшие индустриальные выбросы были с территории США, Китая, России и Индии. Больше всех стран поглощала CO_2 Россия, за ней идут Канада, Бразилия и Австралия. Поглощение CO_2 превышало индустриальные выбросы в Канаде, Бразилии, Австралии и Швеции, и др.

Проведенные расчеты показывают, что, начиная с 2002 г., для России поглощение CO_2 было примерно равно выбросам. Поглощение увеличивалось в течение всего времени, а выбросы начали слабо расти лишь после 1998 г.

Таким образом, мы можем заключить, что наибольшее возмущение естественной атмосферы происходит от двух наиболее промышленно развитых стран (США, Япония) и двух стран с

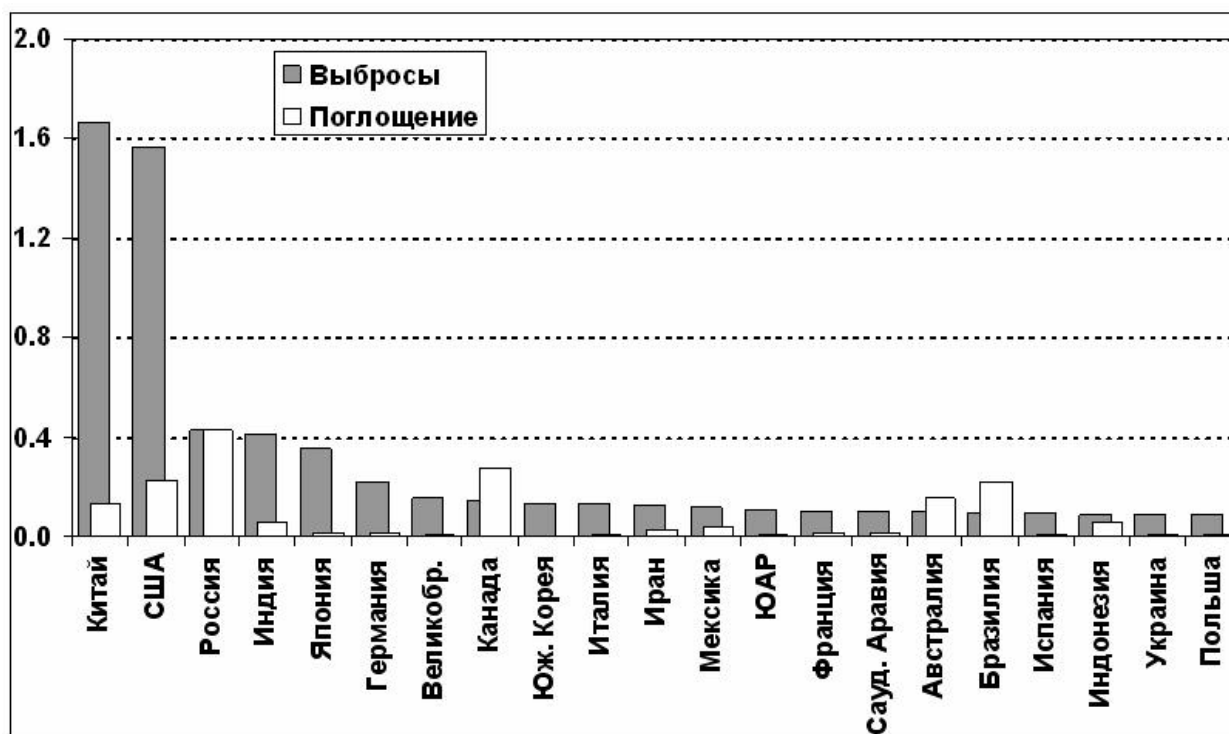


Рис. 2. Сравнение промышленных выбросов и поглощения углерода экосистемами стран в 2006 г. (Гт С в год) крупнейшими странами выделителями CO₂

наибольшим населением (Китай, Индия). В 2006 г эти страны выделили 49% от всех выбросов CO₂. Поэтому именно эти страны, а не Россия, несут главную ответственность за быстрый рост CO₂ в атмосфере

Согласно Киотскому протоколу к Рамочной конвенции ООН об изменении климата страны к 2010 г. должны уменьшить выбросы парниковых газов в атмосферу до уровня на 5% ниже промышленных выбросов CO₂ 1990 г. Не все страны участвуют в выполнении протокола. Выбросы стран, участвовавших в подписании протокола в 1990 г. составляли около 61% всех выбросов CO₂. Как известно, США отказались участвовать в выполнении Протокола, а страны ЕС пообещали к 2020 г. довести свои выбросы до значений на 20% меньше уровня 1990 г.

Отметим, что Протокол содержит конкретные ограничения на выбросы CO₂ лишь для некоторых стран и не предусматривает их для многих других. В девяти активно развивающихся и развивающихся странах с большим населением и высокими темпами роста промышленных выбросов CO₂ высоки и опережают темпы прироста численности населения: Индия – 3,1%; Индонезия – 6,2%; Бразилия – 3,8%; Пакистан – 3,7%; Бангладеш – 5,0%; Нигерия – 7,1%; Мексика – 3,1%; Вьетнам – 9,8%; Филиппины – 3,8%.

Весьма вероятно, что скоро в этих странах рост экономического развития и численность населения станут настолько высокими, что не бу-

дет другой альтернативы кроме развития энергетики и значительного увеличения роста выбросов CO₂. В частности, если принять, что темпы роста выбросов в указанных девяти странах сохранятся, то к 2060 г. их суммарный выброс будет равным 11,6 Гт С/год, т.е. в 1,4 раза больше суммарного выброса всех стран мира в 2006 г.

Рассчитаем, какой эффект могут дать различные ограничения, приводящие к уменьшению выбросов CO₂. На рис. 3 представлены результаты расчетов динамики двуокси углерода в 1860-2060 гг. Рассматривались следующие сценарии:

- 1 - изложенный выше базовый сценарий антропогенных воздействий,
- 2 - сценарий 1, при этом, начиная с 2010 г., вырубка лесов и эрозия почв прекращаются,
- 3 - сценарий 1, при этом после 2010 г. выполняется Киотский протокол всеми участвующими в нем странами за исключением США (отказ США участвовать в выполнении протокола),
- 4 - сценарий 1, при этом после 2010 г. выполняется Киотский протокол только участвующими в нем странами (Выполнение Киотского протокола).
- 5 - сценарий 1, при этом после 2010 г. всеми странами мира выполняется Рамочная конвенция ООН об изменении климата,
- 6 - сценарий 1, при этом после 2010 г. выполняется Киотский протокол всеми участниками кроме США, при этом рост выбросов CO₂ в упомянутых выше девяти странах каждый год составляет указанные выше рассчитанные значения.

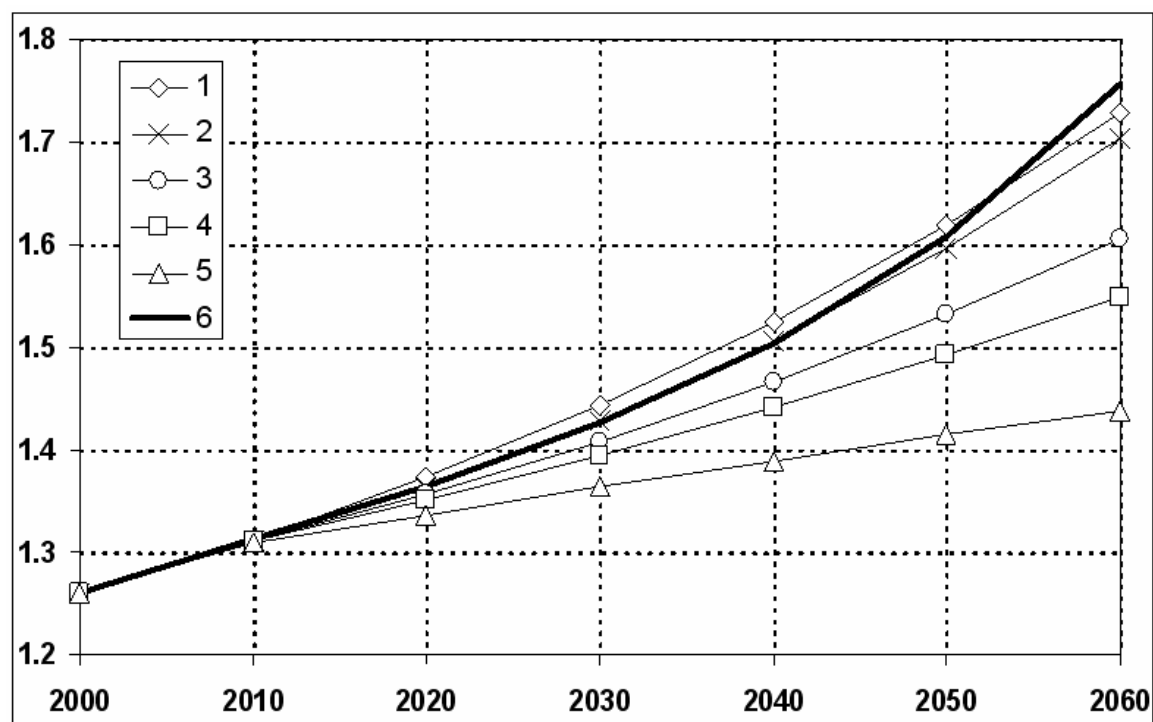


Рис. 3. Расчет изменения относительной (по отношению к величине 1860 г.) концентрации CO_2 в атмосфере при различных сценариях уменьшения выбросов CO_2 в атмосферу. Описание сценариев приведено в тексте

Согласно расчетам в соответствии со сценарием 1 концентрация CO_2 в атмосфере к 2060 г. повысится в 1,73 раза, по сравнению с 1860 г. Влияние прекращения вырубки и эрозии дает самый слабый эффект: рост CO_2 составит 1,70, т.е. сокращение будет на 0,03 меньше, чем по базовому сценарию.

Выполнение Киотского протокола по сценарию 3 приведет к тому, что концентрация CO_2 в атмосфере повысится до значения 1,55 раз, т.е. эффект снижения по отношению к базовому сценарию составит соответственно 0,18 (т.е. спад на 8% по отношению к базовому сценарию к 2100 г.), что не очень велико. Отказ США участвовать в выполнении протокола (сценарий 4) приведет к еще меньшему снижению кривой CO_2 – соответственно до значения 1,61, что на 0,12 ниже базового сценария.

Наиболее сильное влияние на замедление роста CO_2 дало бы выполнение Рамочной конвенции о стабилизации климата всеми странами. В этом случае к 2060 г. концентрация CO_2 повысилась бы в 1,44 раз, т.е. на 0,49 меньше чем при базовом сценарии. Однако этот сценарий мировое сообщество не планирует реализовать.

В случае сценария 6, когда происходит быстрый рост выбросов CO_2 в активно развивающихся и развивающихся странах с большим населением, произойдет увеличение концентрации CO_2 по сравнению с базовым сценарием: к 2060 г. рост

CO_2 составит 1,76, т.е. на 0,03 больше базового.

Для сравнения значения разных сценариев ограничений выбросов, примем за 100 процентов сокращения роста CO_2 («улучшение» по сравнению с базовым сценарием) в случае выполнения Киотского протокола к 2060 г. (сценарий 4). Тогда выполнение Киотского протокола при неучастии США (сценарий 3) дает «улучшение» на 68% сокращения выбросов – видно, что это малая величина, и остается надеяться на то, что США, выполняя свою собственную программу по ограничению выбросов, добьются более заметных успехов. Прекращение вырубки лесов и эрозии почв (сценарий 2) даст лишь «улучшение» на 14% уменьшения концентрации CO_2 по сравнению с базовым сценарием. Это самое малое влияние ограничений выбросов диоксида углерода. Самый сильный эффект давало бы выполнение Рамочной конвенции о стабилизации климата (сценарий 5), при этом «улучшение» - сокращение концентрации CO_2 достигло бы 162%. Неблагоприятный результат показывает учет неконтролируемого роста CO_2 в указанных выше активно развивающихся и развивающихся странах (сценарий 6) – минус 15%, т.е. рост CO_2 больше чем в базовом сценарии.

Проведенные расчеты по сценариям 3, 4 и 5 были дополнены расчетами, в которых страны ЕС сокращали свои промышленные выбросы CO_2 к 2020 г. до значений на 20% меньше уровня

1990 г. Это дало бы самое незначительное снижение роста концентрации CO_2 – к 2100 г. различие соответствующих концентраций составляло бы несколько процентов или долей процента.

В работе на основе математического моделирования были оценены как возможный рост концентрации CO_2 в атмосфере на фоне поглощения биосферой и океаном излишков CO_2 , так и последствия сокращения выбросов двуокиси углерода. Показано, что последнее позволит в небольшой степени уменьшить скорость роста двуокиси углерода в атмосфере. Можно надеяться, что предпринимаемые развитыми странами усилия по преобразованию экономики и увеличению эффективности расходования энергетических ресурсов позволят уменьшить их долю антропогенных воздействий на биосферу и климат без уменьшения уровня жизни населения этих стран. Однако пренебрежение процессами развития стран, находящихся за пределами «золотого миллиарда», может дать противоположный эффект – еще больший рост концентрации в атмосфере и дальнейшие нарушения климата и биосферы. Учитывая особое значение России в поглощении атмосферной CO_2 , можно надеяться, что участие России в выполнении Киотского протокола

принесет ей политические и экономические выгоды.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 08-01-00607).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Базилевич Н.И., Родин Л.Е.* Картограммы продуктивности биологического круговорота главных типов растительности суши, // Изв. Всесоюзного Географического о-ва. 1967. т. 99. № 3. с. 190-194.
2. *Пархоменко В.П.* Верификация климатической модели. М.: ВЦ АН СССР. 1988. 34 с.
3. *Тарко А.М.* Антропогенные изменения глобальных биосферных процессов. Математическое моделирование. М.: Физматлит. 2005, 232 с.
4. *Chan Y.H., Olson J.S., Emanuel W.R.,* Simulation of land-use patterns affecting the global carbon cycle, // Environmental Sciences Division. Publication N 1273, Oak Ridge National Laboratory, 1979. 173 pp.
5. *Marland G., Boden T., and Andres B.* Global CO_2 Emissions from Fossil-Fuel Burning, Cement Manufacture, and Gas Flaring: 1751-2004. NDP-030. // Carbon Dioxide Information Analysis Center. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, 2009.

INVESTIGATION OF ROLE OF THE BIOSPHERE IN COMPENSATION OF GLOBAL WARMING WITH THE AID OF THE MODEL OF GLOBAL CARBON DIOXIDE CYCLE

© 2009 A.M. Tarko

Dorodnitsyn Computing Center, Russian Ac.Sc., Moscow; e-mail: tarko@himki.net

With the aid of a spatial mathematical model of the global carbon dioxide cycle there were calculated the absorption of carbon dioxide emissions from fossil fuels burning, deforestation and soil erosion by terrestrial ecosystems, countries and regions of the world. Impacts of CO_2 reductions of emission to the atmosphere based on different scenarios of fulfillment of the Kyoto Protocol to the Framework Convention on Climate Change are calculated. Estimations show that Russia is in a unique position relative to other countries: ecosystem its territory more than other countries absorb atmospheric CO_2 and absorption by its territory almost equal to industrial emissions.

Keywords; *Mathematical modeling, Global carbon dioxide cycle, Global warming, Biosphere, Biota, Net primary production, Anthropogenic impacts, Industrial carbon dioxide emissions, Le Chatelier principle.*

Key words: *soil, thermal diffusivity of soils, mathematical models.*