
МЕХАНИЗМ КИОТСКОГО ПРОТОКОЛА: МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЛОБАЛЬНОГО ЦИКЛА УГЛЕРОДА*

А.И. Курбатова¹, А.М. Тарко²

¹Экологический факультет
Российский университет дружбы народов
Подольское ш., 8/5, Москва, Россия, 113093

²Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН
ул. Вавилова, 40, Москва, Россия, 119333

В статье представлена математическая модель глобального цикла углерода, а также рассмотрена проблема зачета поглощения двуокси углерода странами в Киотском протоколе.

Ключевые слова: Киотский протокол, глобальный цикл углерода, биосферные параметры, деградация окружающей среды, математическая модель.

Человеческая цивилизация всегда использовала природные ресурсы, во-первых, «по потребностям» — стремясь в наибольшей степени удовлетворять свои потребности в повышении уровня жизни, а во-вторых, — «по способностям» — использование ресурсов на любой степени развития цивилизации было ограничено техническими и экономическими возможностями. С течением времени технологическая мощность увеличивалась, и увеличивалось использование ресурсов. На уровне руководителей стран необходимость коренного изменения экономической деятельности впервые в истории была признана на Конференции ООН по окружающей среде и развитию в г. Рио-де-Жанейро в 1992 г. была принята в качестве базовой Концепция устойчивого развития [1].

На конференции были утверждены два фундаментальных принципа, определяющих важные элементы экологической безопасности, актуальные для современной России [1]:

1) охрана окружающей среды должна стать неотъемлемой компонентой процесса развития и не может рассматриваться в отрыве от него;

2) следует руководствоваться принципом предосторожности. В случае существования серьезного или непоправимого ущерба природе недостаток полной научной информации не должен служить причиной для отсрочки эффективных по затратам мер по предотвращению деградации окружающей среды.

В практическом плане на конференции была принята Рамочная конвенция «О стабилизации климата» [1]. Она вводит на государственном уровне добровольное ограничение воздействий на биосферу. Конвенция предполагает уменьшение государствами выбросов парниковых газов в атмосферу, в первую очередь, углекислого газа, образующегося при сжигании ископаемых органических топлив (каменного угля, нефти, газа). Эти меры должны затормозить глобальное потепление.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 11-01-00575).

Вслед за Рамочной конвенцией в 1997 г. в г. Киото был принят Киотский протокол, конкретизирующий сокращения выбросов парниковых газов частью стран. В Киотском протоколе было указано, что к 2010 г. страны должны сократить свои выбросы парниковых газов до величины на 5% меньше уровня 1990 г. Суммарный выброс странами Киотского протокола двуокиси углерода в 1990 г. составлял 61% от всех стран мира.

Недавно страны Европейского сообщества (ЕС) приняли решение: начиная с 2020 г. дополнительно сократить на 20% выбросы CO_2 в атмосферу. Этот результат они планируют получить в основном за счет разработки эффективных альтернативных источников электроэнергии.

Рассмотрим прогнозы различных ограничений выбросов двуокиси углерода и их влияние на глобальные биосферные процессы с помощью математической модели глобального цикла двуокиси углерода.

Для расчетов последствий тех или иных ограничений выбросов CO_2 в атмосферу мы будем использовать пространственно-распределенную математическую модель цикла углерода в системе «атмосфера — экосистемы суши — океан» [2]. В модели территория всей планеты разделена на ячейки размером $0,5 \times 0,5$ град. географической сетки (приблизительно 50×50 км). Предполагается, что на территории каждой ячейки суши находится растительность одного типа согласно выбранной классификации типов растительных сообществ. 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 данной ячейке характеризуется среднегодовой температурой воздуха у поверхности земли и количеством осадков за год. Значения температуры и осадков для каждой ячейки суши в зависимости от количества углерода в атмосфере рассчитываются с помощью климатической модели общей циркуляции атмосферы и океана [3].

Моделировалась динамика биосферы с 1860 г. по 2100 г. Был принят следующий базовый сценарий. Антропогенное поступление CO_2 в атмосферу происходит в результате промышленных выбросов CO_2 от сжигания ископаемых органических топлив (годовые выбросы которых в период 1860—2003 г. приведены в [4]), вырубки лесов, эрозии почв. После 2003 г. темпы роста промышленных выбросов сохраняются такими же, какими они были предыдущее десятилетие (1,618% 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 неправильной сельскохозяйственной эксплуатацией земель, соответствующее количество CO_2 также поступает в атмосферу. Эрозия начинается в 1860 г. и составляет в год 0,15%. Отдельный блок модели учитывал поглощения CO_2 океаном.

Базовый расчет динамики биосферных параметров показан на рис. 1. Происходил рост CO_2 в атмосфере. Биосферная реакция на рост концентрации CO_2 в ат-

мосфере и связанное с этим изменение климата приводили к росту продуктивности растений суши и увеличению их биомассы. Количество гумуса почвы сначала снижалось, а затем по мере проявления компенсаторных свойств биосферы увеличивалось. Оба эти фактора приводили к тому, что в целом часть CO_2 из атмосферы поглощалась экосистемами суши. Также часть CO_2 поглощалась океаном. В результате рост атмосферного CO_2 замедлялся.

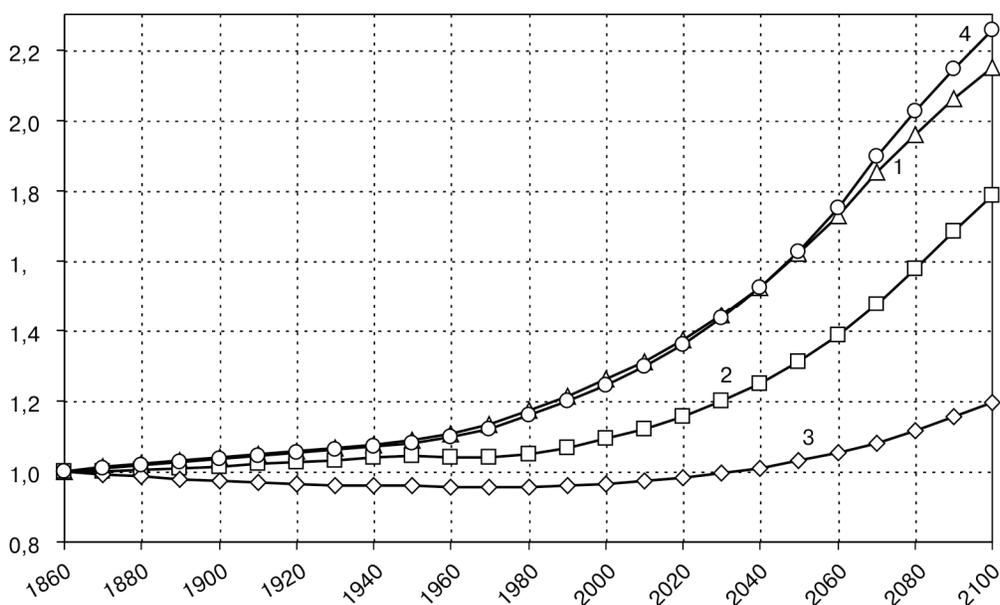


Рис. 1. Расчет динамики относительных значений углерода (по отношению к 1860 г.):

1 — в атмосфере; 2 — в фитомассе растений; 3 — в гумусе почв;
4 — в годичной продукции в 1860—2100 гг.

Согласно расчету, к 2100 г. следует ожидать роста концентрации углекислого газа в атмосфере Земли в среднем в 2,15 раза и средней температуры атмосферы на 1,77 °С по сравнению с их значениями в 1860 г.

Одной из проблем при обсуждении зачетов или незачетов факторов в Киото и на последующих переговорах был учет поглощения двуокиси углерода экосистемами стран мира. До сего времени идея учета поглощения странами атмосферных выбросов CO_2 отвергалась.

Рассмотрим подробно данное обстоятельство. В 2003 г. было выброшено 7,3 Гт С (млрд т двуокиси углерода в пересчете на углерод) промышленных выбросов. В этом году согласно расчетам все страны поглотили 2,37 Гт С, т.е. 32% выбросов. При этом 71 страна из 172 имела положительный баланс CO_2 (т.е. поглощения экосистемами страны было больше промышленных выбросов), они поглотили 0,65 Гт С, т.е. 9% выбросов.

Казалось бы, в качестве основного фактора, по которому следует определять вклад страны, является баланс — разность поглощения CO_2 экосистемами и промышленными выбросами CO_2 . Однако, как мы видели, эти страны погло-

тили всего 9% выбросов. В то же время поглощение CO_2 всеми странами составляет 32% — заметную часть уходящего из атмосферы CO_2 .

На рис. 2 показаны страны наибольшие поглотители (и выделители) двуокиси углерода.

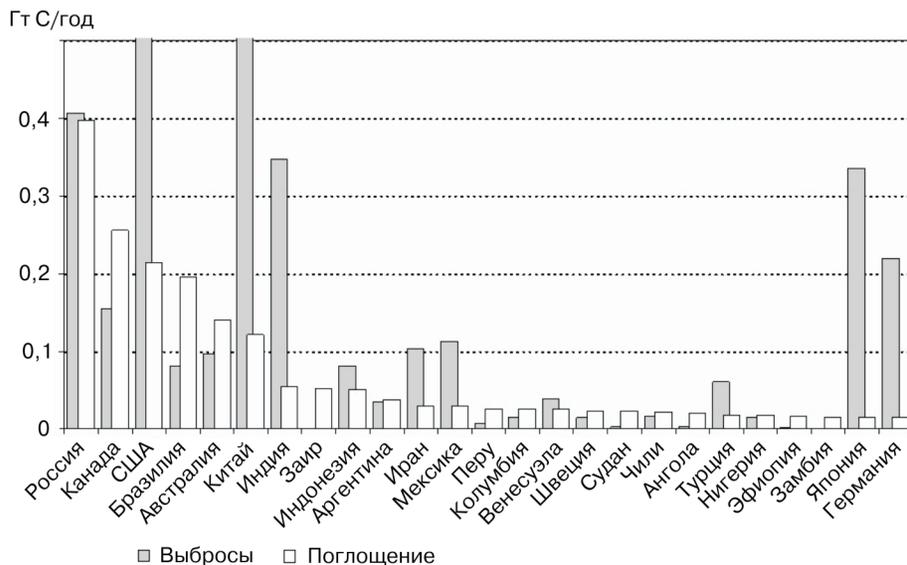


Рис. 2. Сравнение промышленных выбросов и поглощения углерода экосистемами стран крупнейших поглотителей CO_2 (Гт углерода/год) в 2003 г. Выбросы CO_2 на территории США и Китая выходят за пределы графика

Оказывается, пять стран — Россия, Канада, США, Бразилия и Австралия — поглотили в 2003 г. 1,2 Гт С в 2003 г., т.е. 16% промышленных выбросов CO_2 или 51% всего поглощенного CO_2 . Указанная величина поглощения значительно больше величины всего положительного баланса CO_2 . Таким образом, очевидно, что для зачета поглощения больше всего подходит величина поглощения CO_2 экосистемами страны, а не величина баланса. Отметим, что указанные пять стран являются наибольшими выделителями, причем за исключением Канады они выделяют CO_2 .

К сожалению, до сих пор обсуждение возможности учета поглощения CO_2 экосистемами стран отвергалось. Возможно, именно тот факт, что страны — наибольшие поглотители CO_2 одновременно являются и его наибольшими выделителями, является камнем преткновения для решения проблемы зачета поглощения.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Доклад Конференции Организации Объединенных Наций по окружающей среде и развитию. Рио-де-Жанейро, 3—14 июня 1992 года. Т. 1. Резолюции, принятые на Конференции. Приложение 1 A/CONF. 151/26/REV.1 (VOL. I).
- [2] Пархоменко В.П. Верификация климатической модели. — М.: ВЦ АН СССР, 1988.
- [3] Тарко А.М. Антропогенные изменения глобальных биосферных процессов. Математическое моделирование. — М.: Физматлит, 2005.

**KYOTO MECHANISMS:
MATHEMATICAL MODELING
OF THE GLOBAL CO₂ EMISSIONS**

A.I. Kurbatova¹, A.M. Tarko²

¹Ecological Faculty
People's Friendship University of Russia
Podolskoye shosse, 8/5, Moscow, Russia, 113093

²Dorodnitsyn Computing Center, Russian Ac.Sc.
Vavilov str., 40, Moscow, Russia, 119991

In article have been presented the mathematical model of a global cycle of carbon, and also have been analyzed the problem of offset of absorption of dioxide of carbon by the countries in the Kyoto Protocol.

Key words: Kyoto Protocol, global cycle of carbon, parameters of biosphere, environmental degradation, mathematic model.