
ВЛИЯНИЕ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ CO₂ НА БИОСФЕРНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЭКОСИСТЕМ СТРАН БРИКС

А.И. Курбатова¹, А.М. Тарко²

¹ Российский университет дружбы народов, экологический факультет
Подольское шоссе, 8/5, Москва, Россия, 113093

² Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Вычислительный центр
им. А.А. Дородницына Российской академии наук (ВЦ РАН)
ул. Вавилова, 40, Москва, Россия, 119991

Проведено моделирование динамики биосферы для периода 1860—2100 гг. на пространственной модели глобального цикла углерода в биосфере на основе новых мировых данных промышленных выбросов двуокси углерода стран мира до 2010 г. Сделаны расчеты для стран крупнейших выделителей CO₂ в атмосферу и стран группы БРИКС. В 2010 году поглощение экосистемами на территории России почти равнялось выбросам CO₂, в то время как крупнейшие выделители CO₂ Китай, США Япония и Индия были сильными выделителями CO₂ и мало его поглощали. Показано, что благодаря повышению концентрации двуокси углерода в атмосфере, несмотря на значительную вырубку тропических лесов и эрозию почв в Бразилии, Индии, ЮАР, рост концентрации CO₂ и температуры в этих странах приводил к увеличению годичной продукции и фитомассы и гумуса в целом по стране, что компенсирует эффект частичного сокращения фитомассы от вырубки деревьев. В моделируемый период наибольший прирост фитомассы происходил в России, самый низкий — в ЮАР.

Ключевые слова: математическое моделирование, глобальный биохимический цикл, диоксид углерода, глобальное потепление, антропогенное воздействие, региональные последствия

На глобальной пространственной модели углерода в биосфере ВЦ РАН [1] рассчитаны динамика CO₂ в биосфере и бюджет углерода для группы стран БРИКС и всего мира. Модель описывает биогеохимический цикл углерода в системе «атмосфера — экосистемы суши — океан». Страны БРИКС — Бразилия, Китай, Индия, Россия и ЮАР — в современном виде сформировались в 2011 г. Они были объединены в союз как наиболее быстро развивающиеся крупные страны мира. Эти страны имеют большую площадь, огромное население и мощную растительность, располагающуюся во всех климатических зонах планеты — от полярных пустынь Северного полушария до тропических лесов Южного. Страны потенциально и реально обладают сильным влиянием на глобальные климатические и экологические процессы на планете [1].

Объединение БРИКС по принципу наиболее быстро развивающихся и крупных стран пока является проектом, устремленным в будущее. Во многом параметры этих стран близки. Однако есть много даже формальных отличий. Так, скорости роста экономики у них отличаются в 4,8 раз. За десятилетие 2000—2010 гг. скорости развития уменьшались. Отношение ВВП на душу населения 2010 г. к 2000 г. составляло: Китай — 0,67 (отношение и далее положительно), Индия — 0,48, Бразилия — 0,82, Россия — 0,16, ЮАР — 0,14. Спад темпов роста был особенно заметен в кризисном для экономики 2009 г. (рис. 1), у России он был максимальным и составил (–)7,8%, а у Китая в этом же году прирост ВВП был 8,7%.

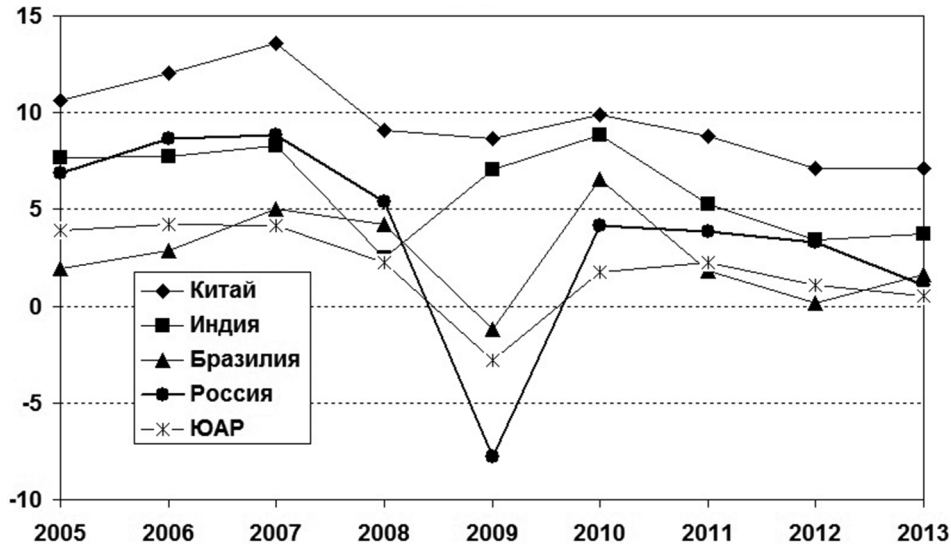


Рис. 1. Рост ВВП на душу населения стран БРИКС в 2005—2013 гг. (%)

По соотношению промышленных выбросов CO₂ в результате сжигания ископаемых топлив разница также велика — 20 раз (рис. 2). При этом немногим больше чем за 10 лет выбросы Китая увеличились в 2,5 раза [2], Индии — почти в 2 раза, а прирост трех остальных стран составил около 1,2 раза (рис. 2). Таким же был рост величины выбросов на душу населения (рис. 3).

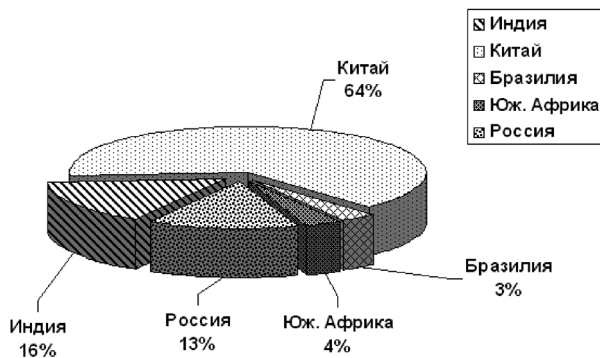


Рис. 2. Соотношение промышленных выбросов CO₂ в странах БРИКС в 2010 г.

В 2010 году выброс CO₂ стран БРИКС составлял 38% от всего промышленного выброса стран мира (рис. 4, 5).

На глобальной пространственной модели цикла углерода в биосфере ВЦ РАН были проведены расчеты процессов развития глобального потепления в мире, с одной стороны, с целью определения вклада стран БРИКС в увеличение атмосферных выбросов CO₂ и роста темпов глобального потепления, с другой стороны, для получения прогнозов влияния глобального потепления, вырубки лесов и эрозии почв в результате сельскохозяйственной практики на экологические и сельскохозяйственные процессы в этих странах.

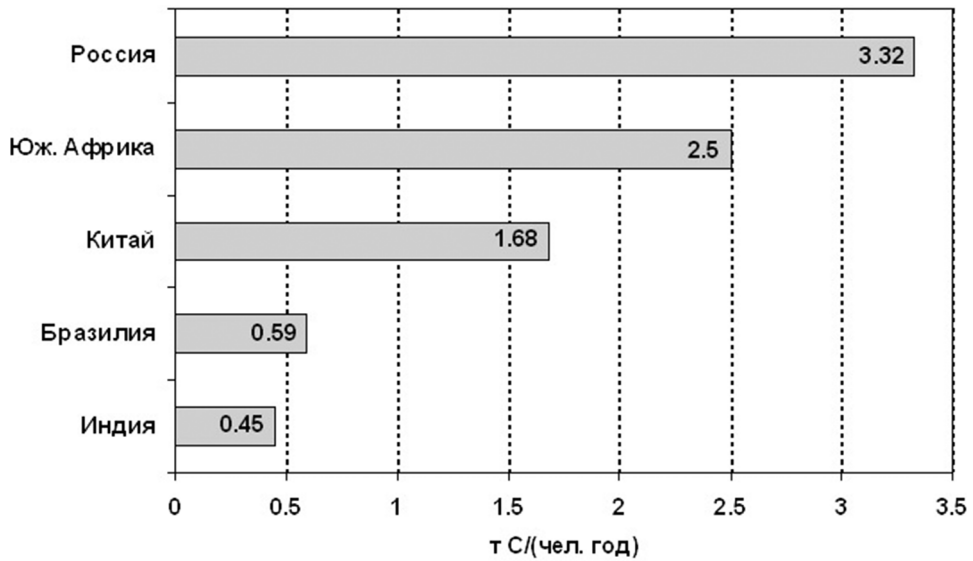


Рис. 3. Индустриальные выбросы CO₂ (т С/чел.год) в странах БРИКС в 2010 г.

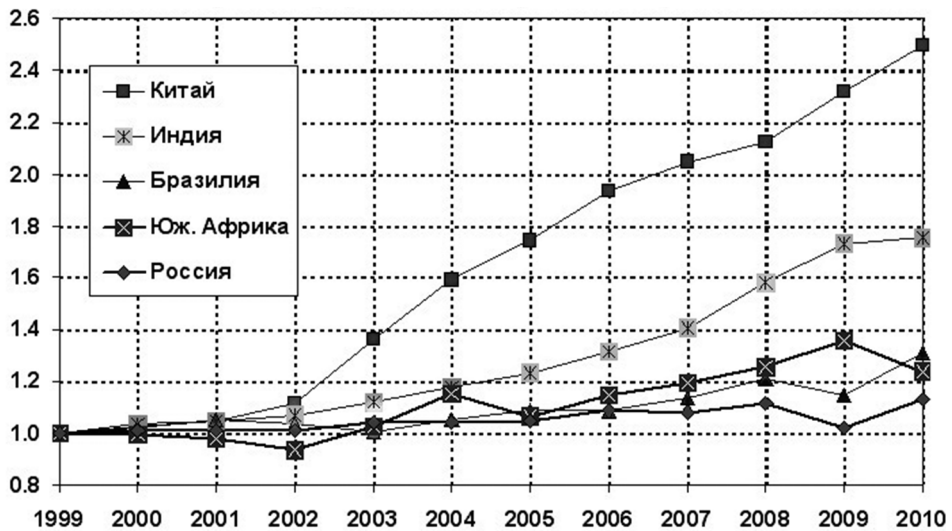


Рис. 4. Относительный рост индустриальных выбросов CO₂ стран БРИКС в 1999—2010 гг. Здесь значение выбросов каждой страны в 1999 г. принимается за единицу

Индустриальные выбросы CO₂ (в результате сжигания каменного угля, нефти, газа), вырубки лесов и эрозии почв, происходящие на территории государств мира, в течение 2 недель перемешиваются в широтном направлении и в течение 2—3 месяцев в меридиональном направлении, т.е. в течение одного года. Поэтому каждая страна или регион мира одновременно испытывает действие изменения климата, зависящее от суммарных выбросов всех стран мира в течение года. Это обстоятельство определяет необходимость для расчета изменений климата и экосистем, происходящих при глобальном потеплении в любой стране или группе

стран типа БРИКС, учитывать суммарные выбросы стран всего мира и применять пространственную модель климата для всей планеты, начиная расчеты с доиндустриального периода (за начало которого часто принимают 1860 г.).

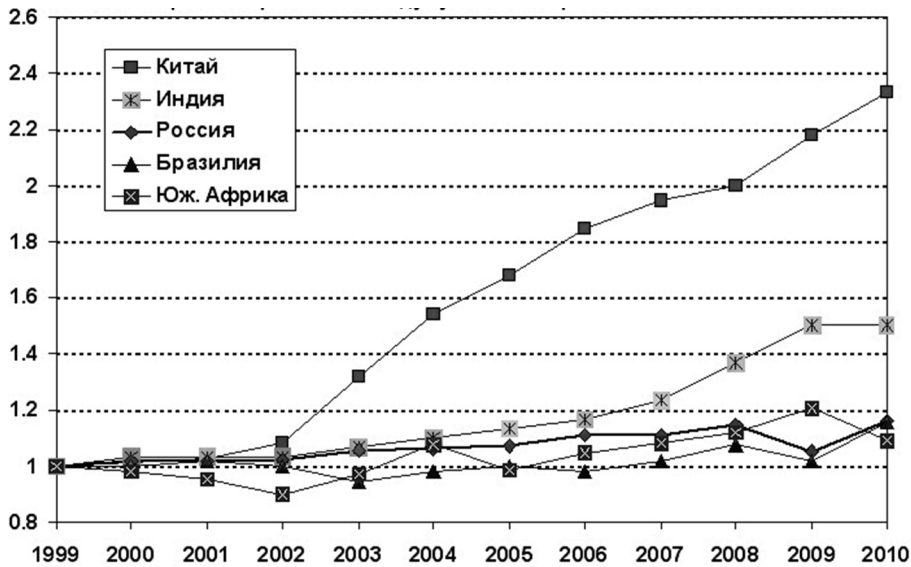


Рис. 5. Относительный рост промышленных выбросов CO₂ на душу населения в странах БРИКС в 1999—2010 гг. На графике для каждой страны 1999 г. принимается за единицу

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. Каждая ячейка характеризуется следующими переменными: количеством углерода в массе растительности, в гумусе почвы. Общее количество углерода в виде CO₂ в атмосфере также является переменной. 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. Значения температуры и осадков для каждой ячейки в зависимости от количества углерода в атмосфере (парниковый эффект) рассчитываются с помощью пространственной климатической модели общей циркуляции атмосферы и океана. Модель содержит более 100 тысяч дифференциальных уравнений и реализована на ЭВМ.

При моделировании динамики биосферы с 1860 г. по 2100 г. был принят следующий базовый сценарий. Антропогенное поступление CO₂ в атмосферу начинается в 1860 г., оно происходит в результате промышленных выбросов CO₂ от сжигания ископаемых органических топлив, вырубки лесов и эрозии почв. Заданы величины промышленных выбросов CO₂ для 1860—2010 гг. После 2010 года темпы роста промышленных выбросов сохраняются такими же, какими были в предыдущем десятилетии (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 CO₂ поступает в

атмосферу. Эрозия почв связана прежде всего с сельскохозяйственной эксплуатацией земель, соответствующее количество CO_2 также поступает в атмосферу. Эрозия начинается в 1860 г. и составляет 0,15% в год. Территория вырубки и эрозии задается соответствующими пространственными распределениями для каждой ячейки модели.

Расчет динамики биосферных параметров на основе принятых допущений показывает, что к 2060 г. происходит рост CO_2 в атмосфере до значения 1,6 по отношению к 1860 г. и до 2,04 по отношению к 2100 г. (рис. 6) Это способствовало увеличению продуктивности растительности суши и росту фитомассы растений. Экосистемы суши и океан поглощали часть излишков CO_2 и в целом замедляли его рост, проявляя компенсаторные свойства биосферы.

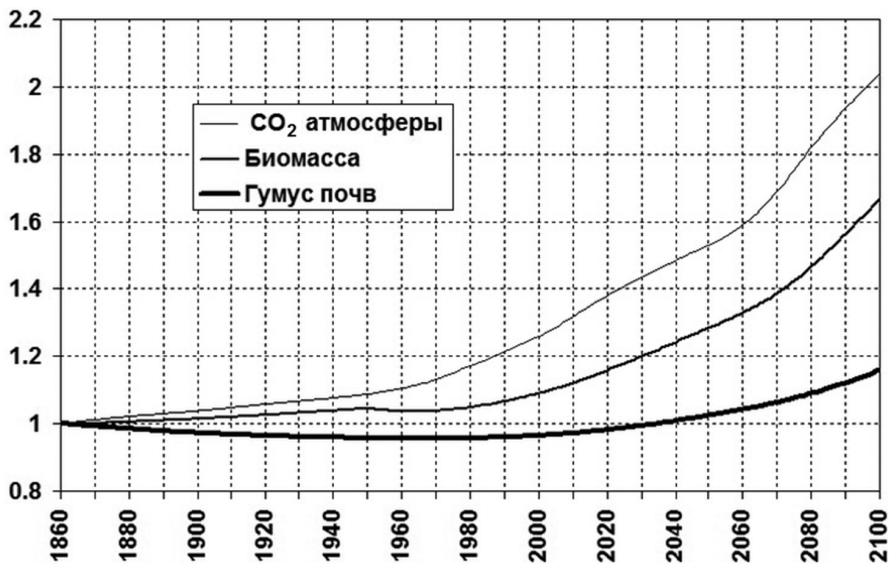


Рис. 6. Расчет динамики относительных значений углерода в атмосфере, фитомассе растений и гумусе почв Земли в 1860—2100 гг.

Рассмотрим выделение и поглощение двуокси углерода на территории стран — крупнейших мировых выделителей CO_2 . Данные промышленных выбросов и поглощения экосистемами стран за 2010 г., имеющих наибольшие выбросы (см. рис. 3), таковы: Китай — 2,26, США — 1,48, Индия — 0,55, Россия — 0,47, Япония — 0,32. В этом году поглощение экосистемами на территории России почти равнялось выбросам CO_2 , в то время как Китай, США Япония и Индия были сильными выделителями CO_2 . Таким образом, можно заключить, что в настоящее время наибольшее возмущение естественной атмосферы происходит от двух наиболее промышленно развитых стран (США, Япония) и двух стран с наибольшим населением (Китай, Индия). В 2010 году эти страны выделители 52% от всех выбросов CO_2 . Поэтому именно эти страны, а не Россия несут главную ответственность за современный быстрый рост CO_2 в атмосфере.

Выделение CO_2 в атмосферу территорией страны равно разности промышленных выбросов и поглощения экосистемами суши. Поглощение CO_2 экосистемами суши на территории России (рис. 7) увеличивалось последнее десятилетие за

счет роста CO₂ в атмосфере и роста температуры атмосферы, а выбросы начали слабо расти после 1998 г. в результате роста экономики. В 2009 году из-за мирового экономического кризиса произошел спад промышленных выбросов на 8,2%. В результате в 2010 г. для России поглощение стало примерно равным выбросам [4]. По величине выбросов CO₂ в 2010 г. (рис. 8) страны БРИКС идут в следующем порядке: Китай — 2,26, Индия — 0,55, Россия — 0,47, ЮАР — 0,12, Бразилия — 0,11. В 2010 году выбросы CO₂ этих стран составляли 38% выбросов. Только в России и Бразилии поглощение экосистемами превышало промышленные выбросы. Это объясняется большой площадью лесных экосистем двух стран.

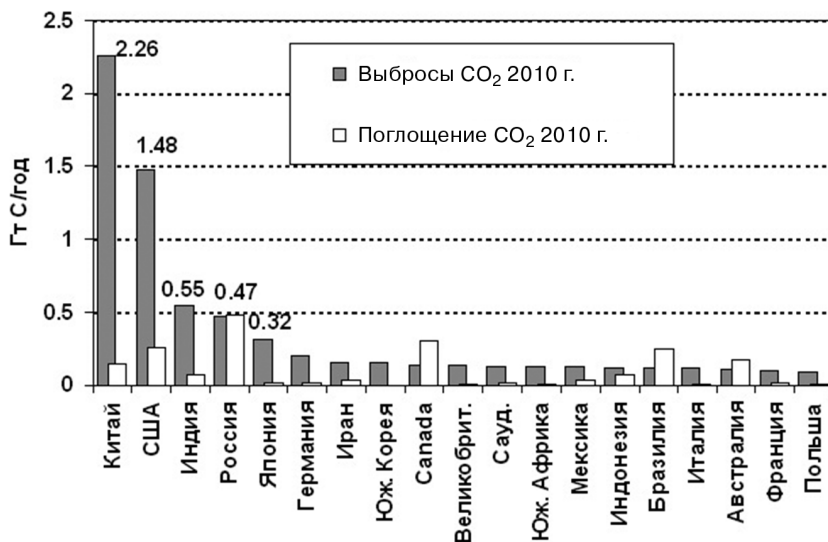


Рис. 7. Сравнение промышленных выбросов (Гт С/год) стран — главных производителей CO₂ и поглощения углерода экосистемами в 2010 г.

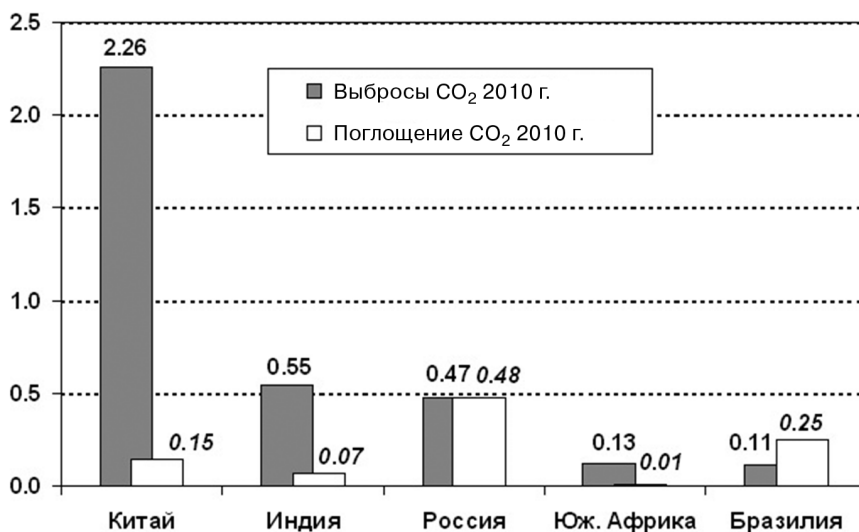


Рис. 8. Сравнение промышленных выбросов и поглощения углерода экосистемами стран БРИКС в 2010 г. (Гт С/год)

Отметим, что поглощение CO_2 странами БРИКС составляло 27% от общего поглощения. Мы можем сравнить динамику индустриальных выбросов CO_2 и рассчитанного поглощения CO_2 экосистемами для 2000—2010 гг. в странах БРИКС (рис. 9).

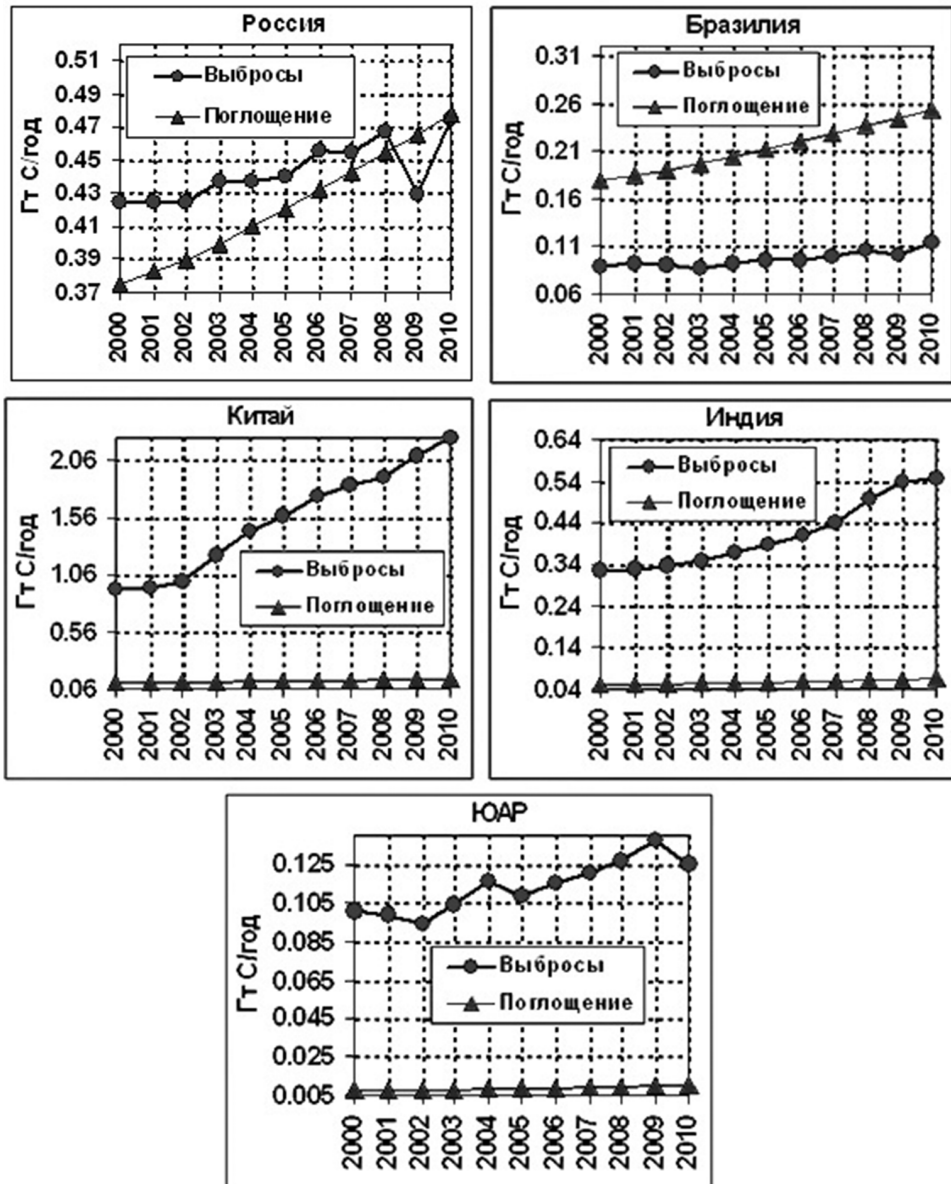


Рис. 9. Сравнение динамики индустриальных выбросов и поглощения углерода экосистемами стран БРИКС в 2000—2010 гг. (Гт С/год)

Видно, что в большинстве стран темпы роста выбросов CO_2 превышают темпы его поглощения экосистемами стран и выделение все больше превышает поглощение. Как уже отмечалось, в России и Бразилии поглощение больше выделения, причем поглощение CO_2 в указанный период росло быстрее, чем выбросы.

Рассмотрим региональные последствия глобального потепления и других антропогенных воздействий на экосистемы БРИКС. Для исследования региональных последствий глобального потепления и землепользования в странах БРИКС был проведен расчет изменения фитомассы, гумуса и общего количества углерода под воздействием промышленных выбросов CO₂, вырубки лесов (тропические леса) и эрозии гумуса, связанной с неправильным землепользованием. Расчеты проводились для периода 1860—2060 гг. на пространственной модели глобального цикла углерода ВЦ РАН на основе указанного выше базового сценария антропогенного воздействия. Рассматривались изменения углерода в фитомассе растения, в гумусе почв и общем количестве углерода в экосистемах каждой из этих стран.

Результаты расчетов с 2000 по 2060 гг. показывают рост фитомассы во всех странах (рис. 10). Несмотря на значительную вырубку тропических лесов в Бразилии, Индии, ЮАР в этих странах, рост концентрации CO₂ и температуры приводит к увеличению годичной продукции и фитомассы в целом по стране, и это компенсирует эффект частичного сокращения фитомассы от вырубки деревьев. В моделируемый период наибольший прирост фитомассы происходил в России, самый низкий — в ЮАР.

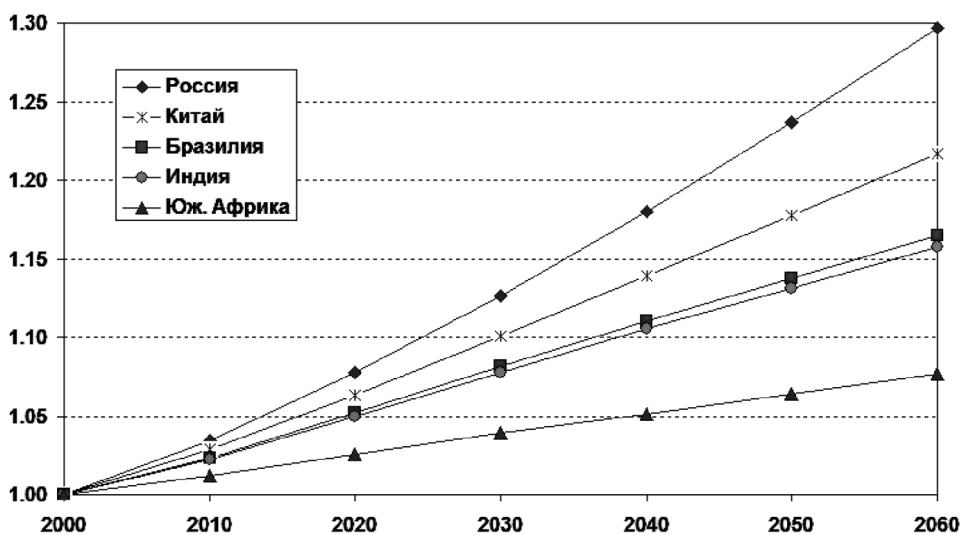


Рис. 10. Изменение количества углерода фитомассы в странах БРИКС в течение 2000—2060 гг. Здесь 100% относится к 2000 г.

В течение 2000—2060 гг. в целом будет происходить рост углерода почвенного гумуса (рис. 11). В данном случае эрозии почвы противостоит рост гумуса, связанный с увеличением продуктивности и фитомассы от роста концентрации CO₂ в атмосфере, прямо влияющей на фотосинтетические процессы. Также влияет региональное изменение климата, происходящее от глобального потепления. Наибольшее увеличение гумуса будет происходить в Индии и Бразилии, а наименьшее — в Китае и ЮАР.

Рассмотрим изменение общего количества углерода (сумма в фитомассе и гумусе) в 2000—2060 гг. (рис. 12). Во всех странах БРИКС количество углерода будет

увеличиваться. В этом случае рост концентрации CO_2 и температуры постепенно приводит к увеличению годичной продукции, что, в свою очередь, приводит к некоторой компенсации антропогенных воздействий — вырубке лесов и эрозии почв. Наибольший рост общего углерода происходит в России, далее идет Бразилия, за ними — Индия, Китай и ЮАР.

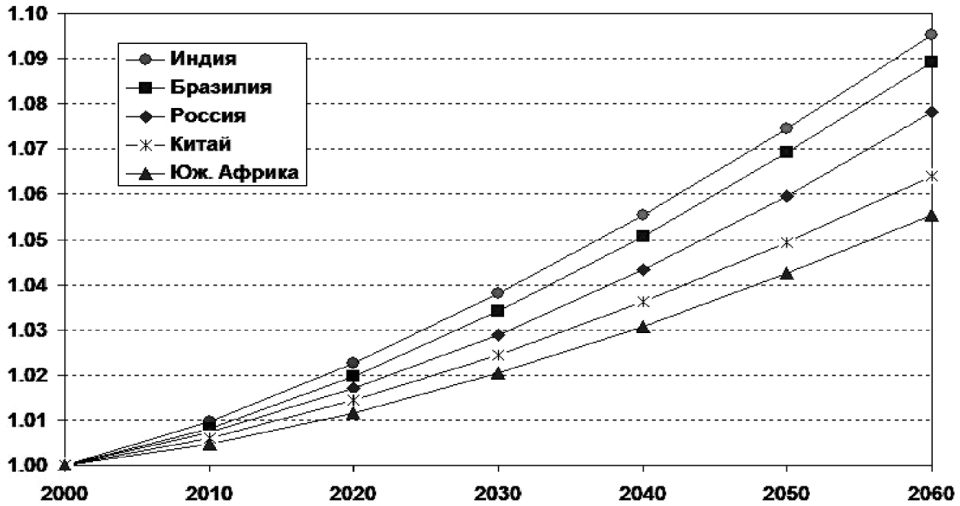


Рис. 11 Изменение количества углерода гумуса в странах БРИКС в течение 2000—2060 гг. Здесь 100% относится к 2000 г.

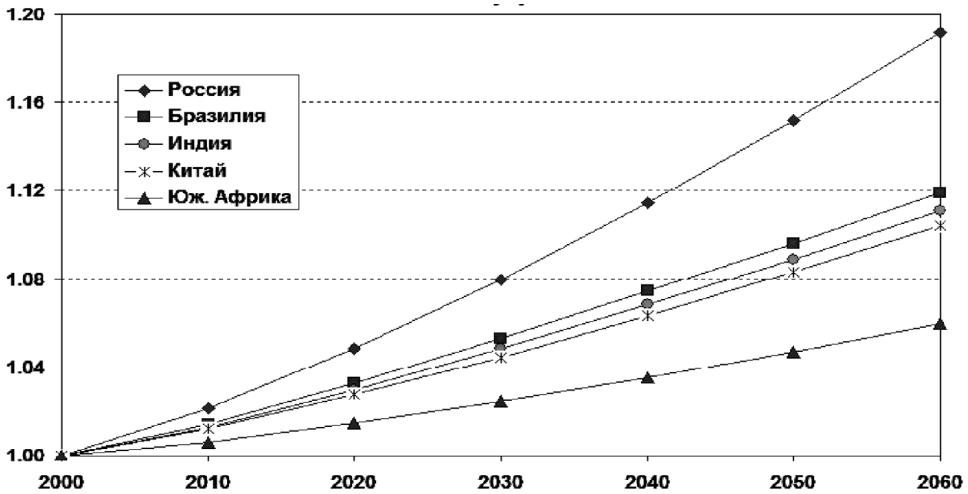


Рис. 12. Изменение общего углерода (фитомас + гумус) в странах БРИКС в течение 2000—2060 гг. Здесь 100% относится к 2000 г.

Суммируя результаты моделирования цикла углерода применительно к странам БРИКС, можно заключить, что, обладая 27-процентной величиной промышленных выбросов CO_2 в атмосферу, страны БРИКС могут оказать заметное влияние на рост CO_2 в мире. Можно надеяться, что предпринимаемые развитыми странами усилия по преобразованию экономики и повышению эффективности

использования энергетических ресурсов, уменьшит их долю антропогенного воздействия на биосферу и климат без снижения уровня жизни населения этих стран. Однако пренебрежение развитием таких стран БРИКС, как Китай и Индия, имеющих максимальные темпы роста выбросов CO₂, может дать противоположный эффект — значительный рост концентрации углекислого газа в атмосфере и дальнейшее нарушение климата и биосферы. Вклад стран БРИКС в глобальное потепление будет особенно заметным в 2020—2060 гг.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Тарко А.М. Антропогенные изменения глобальных биосферных процессов. Математическое моделирование. М.: Физматлит, 2005.
- [2] Курбатова А.И., Тарко А.М. Анализ стран — сильнейших загрязнителей мира // Проблемы региональной экологии. 2013. № 3. С. 66—69.
- [3] Курбатова А.И., Тарко А.М. Моделирование глобального биогеохимического цикла углерода и азота в системе «атмосфера—растения—почва» // Вестник РУДН. Серия «Экология и безопасность жизнедеятельности». 2012. № 3. С. 40—48.
- [4] Курбатова А.И., Тарко А.М., Филимонова О.А. Загрязнения окружающей среды в мире в современную эпоху // Проблемы региональной экологии. 2012. № 3. С. 38—40.

INFLUENCE OF INDUSTRIAL EMISSIONS OF CO₂ ON BIOSPHERIC PARAMETERS OF ECOSYSTEMS OF THE COUNTRIES OF BRICS

A.I. Kurbatova¹, A.M. Tarko²

¹ Ecological Department
Peoples' Friendship University of Russia
Podolskoe shosse, 8/5, Moscow, Russia, 113093

² Institution of Russian Academy of Sciences Dorodnicyn Computing Centre of RAS
Vavilov str., 40, Moscow, Russia, 119991

Modeling of dynamics of the biosphere for the period of 1860—2100 on spatial model of a global cycle of carbon in the biosphere on the basis of new world these industrial emissions of carbon dioxide of the countries of the world till 2010 is carried out. Calculations for the countries of the largest emitters of CO₂ in the atmosphere and the BRICS group countries are made. In 2010 absorption by ecosystems in the territory of Russia almost equaled to emissions of CO₂ while the largest emitters of CO₂ China, USA, Japan and India were strong emitters of CO₂ and a little it absorbed. It is shown that thanks to increase of concentration of carbon dioxide in the atmosphere, despite considerable cutting down of rainforests and an erosion of soils in Brazil, India, the Republic of South Africa growth of concentration of CO₂ and temperature in these countries led to increase in year production and phytoweight and a humus countrywide that compensates effect of partial reduction of phytoweight from cutting down of trees. During the modelled period the greatest gain of phytoweight occurred in Russia, the lowest — in the Republic of South Africa.

Key words: mathematical modeling, global biogeochemical cycles, carbon dioxide, global warming, anthropogenic impacts, regional consequences

REFERENCES

- [1] Tarko A.M. Antropogenye izmeneniya globalnykh biosfernykh protsesov. [Anthropogenic transformation of the global biosphere]. Matematicheskoe modelirovaniye [Math modeling]. M.: Fismatlit, 2005.
- [2] Kurbatova A.I., Tarko A.M. Analiz stran, silneynich zagriyazniteley mira [An analysis of the World's strongest pollutants countries]. Problemy regionalnoy ekologii [Problems of regional ecology]. 2013. № 3. pp. 66—69.
- [3] Kurbatova A.I., Tarko A.M. Modelirovaniye globalnovo biogeochymicheskovo tsikla ugleroda y azota v sisteme «atmosfera-rasteniya-pochva» [Modelling of the global biogeochemical cycle of carbon and nitrogen in the system of “atmosphere-plant-soil”]. Vestnik RUDN, seriya ekologiya y besapasnosth zhiznetedeyatelnosti. [Bulletin of Peoples' Friendship University, a series of ecology and life safety]. 2012. № 3. pp. 40—48.
- [4] Kurbatova A.I., Tarko A.M., Filimonova O.A. Zagriyazneniya okruzhaiushey sredy v mire v sobremennuiyu epochy [World's pollution in the modern era]. Problemy regionalnoy ekologii [Problems of regional ecology]. 2012. № 3. pp. 38—40.