

# ЭКОЛОГИЯ

## ВЛИЯНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ И ОСОБЕННОСТЕЙ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ НА ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ИНДОКИТАЕ\*

А.И. Курбатова<sup>1</sup>, А.М. Тарко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Экологический факультет  
Российский университет дружбы народов  
Подольское шоссе, 8/5, Москва, Россия, 113093

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

На основе глобальной пространственной математической модели глобального цикла углерода в биосфере сделаны расчеты изменения экологических процессов от выбросов углекислого газа при сжигании ископаемого топлива, вырубки лесов и эрозии в странах мира и Индокитая. Проведено исследование уменьшения роста глобального потепления на основе различных сценариев ограничения промышленных выбросов двуокиси углерода, в том числе реализации Киотского протокола к Рамочной конвенции ООН об изменении климата. Страны Индокитая играют заметную роль в поглощении выбросов  $\text{CO}_2$  в атмосферу. Однако прогноз выбросов  $\text{CO}_2$  в этих странах показывает быстрый рост выбросов на протяжении ближайших 10—40 лет. Это приведет к значительному увеличению концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере, что нарушит выполнение планов Киотского протокола и современных сценариев ограничения выбросов. Рассчитано влияние вырубки тропических лесов и эрозии почв из-за неправильного землепользования на изменение климата для стран Индокитая до 2060 г.

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

Страны Индокитая — Вьетнам, Бангладеш, Камбоджа, Лаос, Малайзия, Мьянма (бывшая Бирма), Таиланд, с одной стороны, выбрасывают в атмосферу большое количество  $\text{CO}_2$  от сжигания ископаемых органических топлив (так называемые промышленные выбросы), вырубки лесов и эрозии почв, с другой стороны, они имеют большие массивы растительных сообществ, которые поглощают часть антропогенных выбросов  $\text{CO}_2$  в атмосферу, способствуя уменьшению глобального потепления. На глобальной пространственной модели цикла углерода в биосфере ВЦ РАН [1; 2] были проведены расчеты процессов развития глобального потепления в странах Индокитая и в мире. В задачи, которые решались при моделировании, входила оценка вкла-

\* Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 14-01-00308.

да стран мира Индокитай и в глобальное потепление, в том числе рассматривались различные сценарии выбросов  $\text{CO}_2$ , включая эффект Киотского протокола.

В модели учитывается, что индустриальные выбросы  $\text{CO}_2$ , вырубка лесов и эрозия почв, происходящие на территории стран, в течение приблизительно двух 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 (в нашем случае Индокитай) одновременно испытывает действие изменения климата, зависящее от суммарных выбросов всех стран мира в течение года. В связи с этим для расчета изменений климата, происходящих при глобальном потеплении в одном регионе или стране, необходимо применять глобальную пространственную модель цикла углерода, учитывающую суммарные выбросы  $\text{CO}_2$  стран всего мира, начиная с индустриального периода (обычно в моделях глобального цикла углерода за начало антропогенного периода принимается 1860 г.).

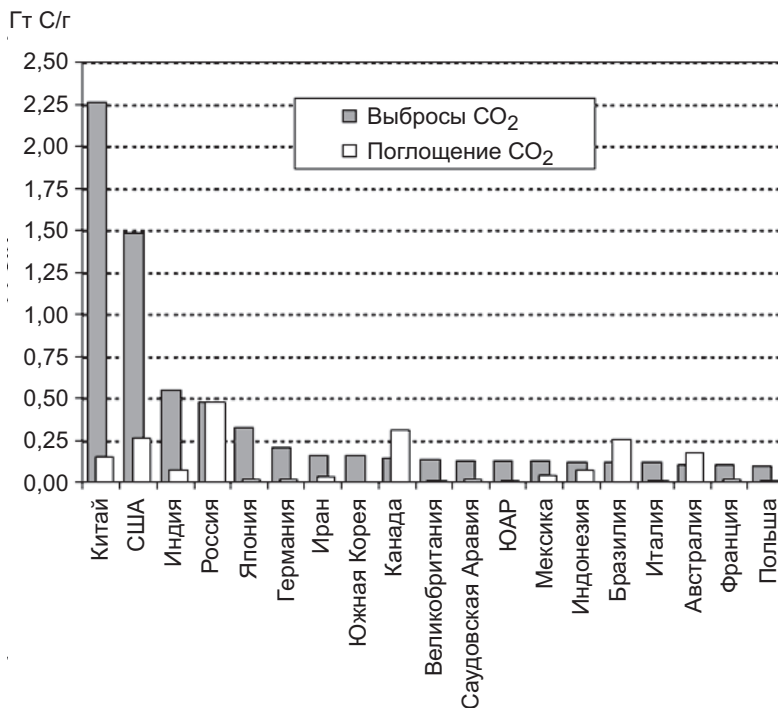
В глобальной пространственной модели цикла углерода ВЦ РАН в биосфере [1; 2] применено разбиение поверхности суши на ячейки  $0,5 \times 0,5$  град. (примерно  $50 \times 50$  км) географической сетки, она реализована на ЭВМ. Модель описывает процессы роста и отмирания растительности, накопления и разложения гумуса в терминах обмена углеродом между атмосферой, растениями и гумусом почвы в каждой ячейке суши. Переменными модели является количество углерода в фитомассе растительности суши и в гумусе почв в каждой ячейке применяемого разбиения, а также количество углерода в атмосфере в виде  $\text{CO}_2$ . Принята классификация типов экосистем Дж. Олсона, в которой учитываются не только естественные экосистемы, но и сельскохозяйственные [6]. Климат в каждой ячейке характеризуется среднегодовой температурой воздуха у поверхности земли и количеством осадков за год, учитывается парниковый эффект диоксида углерода атмосферы. Значения температуры и осадков для каждой ячейки суши в зависимости от количества углерода в атмосфере (парниковый эффект) рассчитываются с помощью климатической модели общей циркуляции атмосферы и океана [7]. Модель дополнена моделью цикла углерода в системе «атмосфера — океан» [4].

Моделировалась динамика биосферы с 1860 по 2100 г. Был принят следующий базовый сценарий. Антропогенное поступление  $\text{CO}_2$  в атмосферу начинается в 1860 г., оно происходит в результате индустриальных выбросов  $\text{CO}_2$  от сжигания ископаемых органических топлив, вырубки лесов и эрозии почв. После 2010 г. темпы роста индустриальных выбросов сохраняются такими же, какими были в предыдущее десятилетие (2,62% в год). После 1950 г. идет вырубка и последующее уничтожение тропических лесов. В этот период масса тропических лесов каждый год уменьшается на 0,6% [3], соответствующее количество  $\text{CO}_2$  от разложившегося органического вещества древесины поступает в атмосферу. Эрозия почв связана с неправильной сельскохозяйственной эксплуатацией земель, соответствующее количество  $\text{CO}_2$  от разложения вынесенного гумуса поступает в атмосферу. Темпы эрозии, начиная с 1860, принимаются равными 0,15% в год [3]. В разных сценариях учитывается различное изменение вырубки и эрозии во времени. Территория вырубки и эрозии задается соответствующими пространственными распределениями для каждой ячейки модели. Данные о значениях индустриальных выбросов  $\text{CO}_2$  для всего мира и всех стран в 1751—2010 гг. взяты из [5].

Расчет динамики биосферных параметров на основе принятых допущений (базовый сценарий) показывает, что происходит рост  $\text{CO}_2$  в атмосфере до значения 1,83 в 2060 г. по отношению к 1860 г. Это способствует увеличению продуктивности рас-

тительности суши и росту фитомассы растений, увеличению количества гумуса в почвах. Экосистемы суши и океан поглощали часть излишков  $\text{CO}_2$  и в целом замедляли его рост, проявляя компенсаторные свойства биосферы. В целом, количество фитомассы и мертвого органического вещества почвы сначала снижалось под влиянием вырубки лесов и эрозии почв, а затем по мере проявления компенсаторных свойств биосферы увеличивалось.

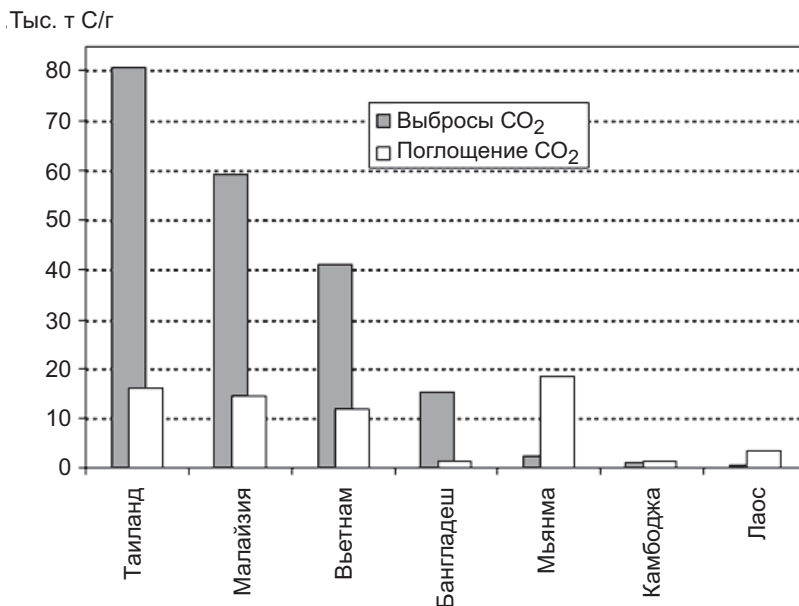
Рассмотрим выделение и поглощение двуокиси углерода на территории стран в 2010 г. Данные промышленных выбросов и поглощения экосистемами стран за 2010 г., имеющих наибольшие выбросы (рис. 1), таковы: наибольшие промышленные годовые выбросы были с территории Китая (1,92 Гт С) (1), США (1,55 Гт С), Индии (0,48 Гт С), России (0,47 Гт С), Японии (0,33 Гт С). В этом году выбросы  $\text{CO}_2$  с территории России почти равнялись поглощению, в то время как Китай, США Япония и Индия были сильными выделителями  $\text{CO}_2$  и мало его поглощали. Таким образом, можно заключить, что 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 выделили 51% от всех промышленных выбросов  $\text{CO}_2$ . Поэтому именно эти страны несут главную ответственность за быстрый рост  $\text{CO}_2$  в атмосфере. Россия имеет уникальное положение среди стран мира — ее экосистемы больше всех других стран мира поглощают выбросы  $\text{CO}_2$  из атмосферы.



**Рис. 1.** Сравнение промышленных выбросов стран, которые являются его главными производителями  $\text{CO}_2$ , и поглощением углерода экосистемами в 2010 г.

По величине выбросов  $\text{CO}_2$  в 2010 г. (рис. 2) страны Индокитая идут в следующем порядке: Таиланд (77,9 тыс. т С), Малайзия (56,8 тыс. т С), Вьетнам (34,7 тыс. т С), Бангладеш (12,7 тыс. т С), Мьянма (3,5 тыс. т С), Камбоджа (1,3 тыс. т С), Лаос

(0,4 тыс. т С). В 2010 году выбросы CO<sub>2</sub> этих стран составляли около 10% от указанных выше крупнейших выделителей CO<sub>2</sub>.

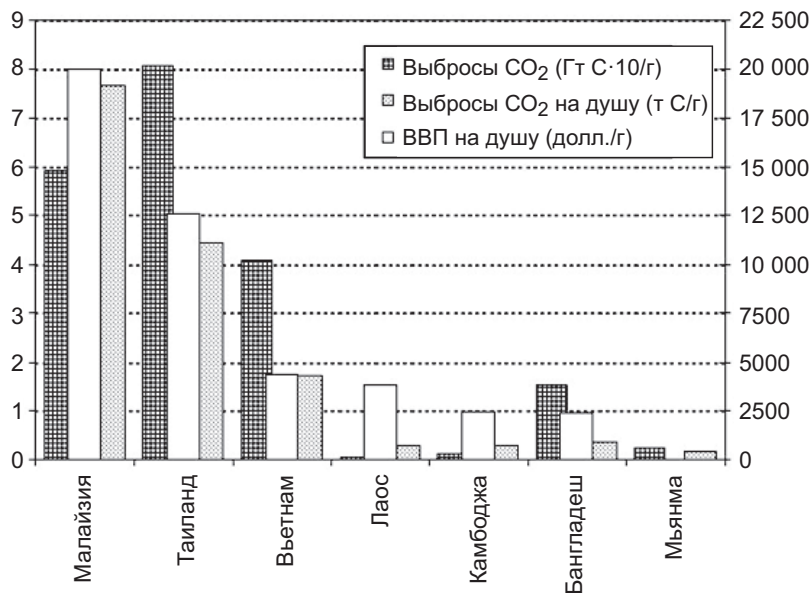


**Рис. 2.** Сравнение промышленных выбросов и поглощения углерода экосистемами стран Индокитая в 2010 г.

Согласно расчетам поглощение экосистемами стран в 2010 г. происходило в следующем порядке: Таиланд — 80 524 тыс. т углерода, Малайзия — 59 123 тыс. т углерода, Вьетнам — 40 968 тыс. т углерода, Бангладеш — 15 313 тыс. т углерода, Мьянма — 2453 тыс. т углерода, Камбоджа — 1140 тыс. т углерода, Лаос — 511 тыс. т углерода. В большинстве этих стран промышленные выбросы превышали поглощение экосистемами: в 5 раз у Тайланда, у Малайзии в 4 раза, у Вьетнама превышение наблюдается в 3,5 раза, у Бангладеш почти в 11 раз. Только в Мьянме, Камбодже и Лаосе поглощение экосистемами превышало промышленные выбросы в 7,5, 1,19 и 7 раз соответственно. Это объясняется относительно малыми выбросами CO<sub>2</sub> и большой площадью лесных экосистем в этих странах.

Для последующего расчета и понимания вклада стран Индокитая в рост глобального потепления рассмотрим ряд характеристик региона, прежде всего соотношение ВВП на душу населения, промышленных выбросов CO<sub>2</sub> и выбросов CO<sub>2</sub> на душу населения для стран Индокитая (рис. 3).

Мы видим, что страны имеют разброс почти в 10 раз по богатству, выражаемому в ВВП на душу населения. Самыми богатыми при этом являются Малайзия (19 986 долл. США) и Таиланд (12 562 долл. США), а самыми бедными — Камбоджа (2462 долл. США) и Бангладеш (2410 долл. США). Самые богатые страны, Малайзия и Таиланд, по выбросам CO<sub>2</sub> — одни из первых в регионе (5,91 и 8,05 соответственно (Гт С)·1000/г.); не самая богатая страна Вьетнам (4,10 (Гт С)·1000/г.) также выбрасывает много CO<sub>2</sub>. Самое большое количество выбросов CO<sub>2</sub> на душу населения достигается в богатых странах — Малайзии (7,67 т/(год·человека)) и Таиланде (4,45 т/(год·человека)), в то время как в самой бедной стране Бангладеш эта величина составляет лишь (0,37 т/(год·человека)).



**Рис. 3.** Соотношение ВВП на душу населения (долл. США с учетом паритета покупательной способности доллара) (правая ось), промышленных выбросов CO<sub>2</sub> (Гт С·10 /г.) (левая ось) и выбросов CO<sub>2</sub> на душу населения (т/г) (левая ось) для стран Индокитая в 2010 г.

Приведем показатели развития стран Индокитая по данным Всемирного банка в 2010 г. (табл. 1).

Таблица 1

**Значения параметров развития стран Индокитая в 2010 г.  
Сортировка по численности населения**

Страна	Рост выбросов CO <sub>2</sub> в 2010 г.,%/г	Рост ВВП на душу населения,%/г	Прирост населения, %/г	Население, человек
Бангладеш	7,3	4,44	1,08	151 125 475
Вьетнам	7,3	5,31	1,05	86 932 500
Таиланд	6,8	7,61	0,19	66 402 316
Мьянма	-13,4		0,76	51 931 231
Малайзия	6,3	5,58	1,73	28 275 835
Камбоджа	3,2	4,34	1,55	14 364 931
Лаос	3,4	6,36	2,02	6 395 713

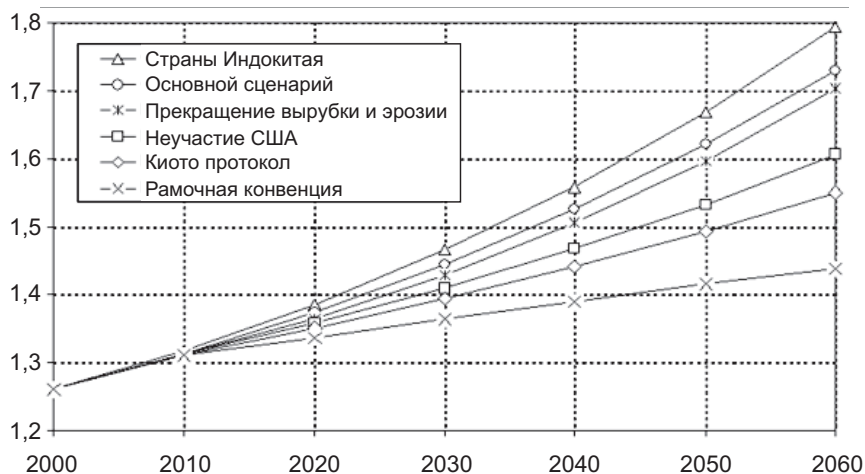
Мы видим, что в четырех из семи странах Индокитая (Бангладеш, Вьетнам, Малайзия, Таиланд) темпы роста выбросов CO<sub>2</sub> превышают 6% в год, а рост ВВП на душу населения во всех странах превышает в среднем 5,6% в год (что значительно выше, чем в России). При этом темп роста численности населения невелик и находится в пределах от 0,76 до 1,55 (%/год).

Рассмотрим, какой вклад делают страны Индокитая в реализацию планов Киотского протокола к Рамочной конвенции ООН об изменении климата. В соответствии с Киотским протоколом страны мира к 2010 г. должны были сократить выбросы парниковых газов в атмосферу на 5% от величины промышленных выбросов CO<sub>2</sub> в 1990 г.

Был произведен расчет эффектов различных ограничений, ведущих к сокращению выбросов  $\text{CO}_2$  до 2060 г. Рассматривались следующие сценарии:

- 1) описанный выше базовый сценарий антропогенных воздействий;
- 2) сценарий 1, но после 2010 г. вырубку лесов и эрозия почв во всем мире прекращены;
- 3) сценарий 1, но после 2010 г. Киотский протокол за исключением США осуществляется всеми странами (неучастие США);
- 4) сценарий 1, после 2010 г. Киотский протокол выполняется всеми странами — участницами его ратификации;
- 5) сценарий 1, но после 2010 г. во всех странах мира выполняются требования Рамочной Конвенции ООН об изменении климата, т.е. любая страна мира сокращает выбросы  $\text{CO}_2$  до значений на 5% меньше, чем уровень 1990 г.;
- 6) сценарий 1, но после 2010 г. Киотский протокол выполняется во всех странах, за исключением стран Индокитая (Вьетнам, Бангладеш, Камбоджа, Лаос, Малайзия, Мьянма, Таиланд). Значения выбросов  $\text{CO}_2$  в каждой из стран Индокитая равны данным экспоненциального прогноза, основанном на параметрах роста выбросов каждой страны за последние четыре года.

Расчеты показывают следующие результаты (рис. 4). В соответствии со сценарием 1 концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере увеличится до 2060 г. в 1,73 раза по сравнению с 1860 г. Влияние прекращения вырубki и эрозии дает слабый эффект: увеличение  $\text{CO}_2$  составляет 1,70, т.е. сокращение будет на 0,03 ниже, чем в базовом сценарии.



**Рис. 4.** Вычисление сценариев выполнения Киотского протокола, включая учет реального роста выбросов  $\text{CO}_2$  в странах Индокитая

Выполнение Киотского протокола приведет к тому, что концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере будет расти до величины 1,55. Это означает, что уменьшение эффекта по отношению к базовому сценарию будет 0,18, т.е. совсем незначительное. Эффект из-за отказа США принять участие в реализации Протокола приведет к еще меньшему снижению кривой  $\text{CO}_2$  к 1,61 или на 0,12 ниже базового сценария.

Наиболее существенное влияние на замедление темпов роста  $\text{CO}_2$  оказало бы выполнение Рамочной конвенции. В этом случае к 2060 г. концентрация  $\text{CO}_2$  увеличилась бы на 1,44, т.е. на 0,49 меньше, чем в базовом сценарии. Однако этот сценарий мировое сообщество не предполагает выполнять.

Сценарий 6, учитывающий рост выбросов  $\text{CO}_2$  в странах Индокитая, дает самый быстрый из рассмотренных сценариев рост  $\text{CO}_2$  — 1,79 в 2060 г. Этот рост  $\text{CO}_2$  на 0,06 больше базового сценария.

Для сравнения результатов разных сценариев ограничений выбросов примем за 100% сокращение роста  $\text{CO}_2$  в случае выполнения Киотского протокола к 2060 г. (рис. 5). Тогда выполнение Киотского протокола при неучастии США дает «улучшение», равное сокращению выбросов на 68%. Прекращение вырубki лесов и эрозии почв даст «улучшение» лишь на 14%. Это самое малое влияние ограничений выбросов диоксида углерода. Самый сильный эффект давало бы выполнение Рамочной конвенции, при этом «улучшение» достигло бы 162%. Отрицательный результат показывает учет роста  $\text{CO}_2$  в странах Индокитая — 36%, т.е. рост  $\text{CO}_2$  больше чем в базовом сценарии.

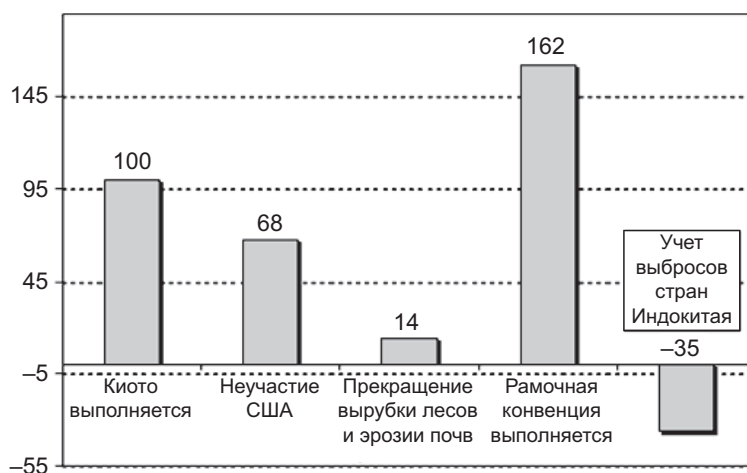


Рис. 5. Уменьшение концентрации  $\text{CO}_2$  при выполнении вариантов Киотского протокола (проценты по отношению к его выполнению)

При таких значительных превышениях требований Протокола для стран Индокитая и других стран, которые не имеют развитой эффективной экономики и энергетической эффективности, очевидно, что политика развитых стран в обмене квотами, предусматриваемыми Киотским протоколом (и его современным продолжением), не приведет к сокращению или уменьшению индустриальных выбросов  $\text{CO}_2$ , требуемых для ограничения глобального потепления. Единственный приемлемый путь для ограничения предстоящего значительного роста  $\text{CO}_2$  от выбросов — это сегодняшнее бесплатное распространение передовых энергетических технологий в этих странах.

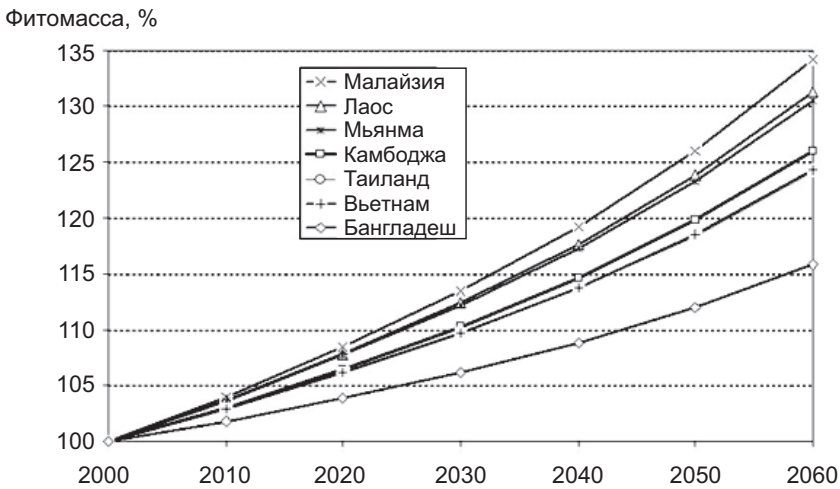
Однако в любом случае взаимодействия с развивающимися странами положительную роль Киотского протокола нельзя отрицать. Значение принятого ограничения становится особенно важным для преобразования экономики и увеличения эффективности расходования энергетических ресурсов в развитых странах.

Рассмотрим региональные последствия глобального потепления и других антропогенных последствий в Индокитае.

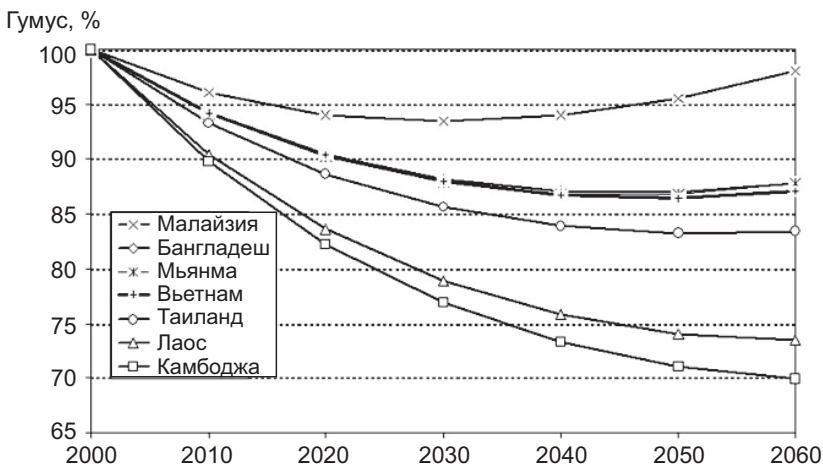
Для исследования региональных последствий глобального потепления и землепользования в странах Индокитая был проведен расчет изменения фитомассы, гу-

муса и общего количество углерода под воздействием индустриальный выбросов  $\text{CO}_2$ , вырубки лесов (тропические леса) и эрозии гумуса связанной с неправильным землепользованием. Расчеты проводились для периода 1860—2060 гг. на основе указанного выше базового сценария антропогенного воздействия. Рассматривались изменения углерода в фитомассе, гумусе и общем количестве углерода в экосистемах каждой из этих стран.

Результаты расчетов с 2000 по 2060 гг. показывают рост фитомассы во всех странах (рис. 6). Несмотря на значительную вырубку тропических лесов в этих странах, рост концентрации  $\text{CO}_2$  и температуры приводит к увеличению годичной продукции и фитомассы в целом по стране, и это компенсирует эффект частичного сокращения фитомассы от вырубки деревьев. Наибольший прирост фитомассы происходит в Малайзии, самый низкий — в Бангладеш.



**Рис. 6.** Изменение количества углерода фитомассе в странах Индокитая в течение 2000—2060 гг. Здесь 100% относится к 2000 г.



**Рис. 7.** Изменение количества углерода гумусе в странах Индокитая в течение 2000—2060 гг. Здесь 100% относится к 2000 г.



В течение 2000—2060 гг. в целом происходит уменьшение почвенного гумуса (рис. 7). Причины уменьшения — это, во-первых, эрозия почвы, связанная с неправильным использованием земли; во-вторых, влияние региональных изменений климата, происходящих от глобального потепления. Уменьшение гумуса происходит в Таиланде, Вьетнаме, Камбодже. Однако в Малайзии, Бангладеш, Мьянме снижение гумуса в начале 2000-х гг. после 2040—2050 гг. сменяется увеличением количества гумуса. Это увеличение связано ростом годичной продукции в странах в результате роста концентрации  $\text{CO}_2$  и температуры атмосферы, т.е происходит компенсация уменьшения гумуса за счет внешних факторов.

Рассмотрим изменение общего количества углерода (в фитомассе и гумусе) в 2000—2060 гг. (рис. 8). Во всех странах Индокитая после нескольких лет снижения количество углерода начинает увеличиваться. В этом случае рост концентрации  $\text{CO}_2$  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 выбросов углекислого газа в 2060 г. происходит в Малайзии, самый низкий — в Камбодже. Вьетнам занимает 3-е место.

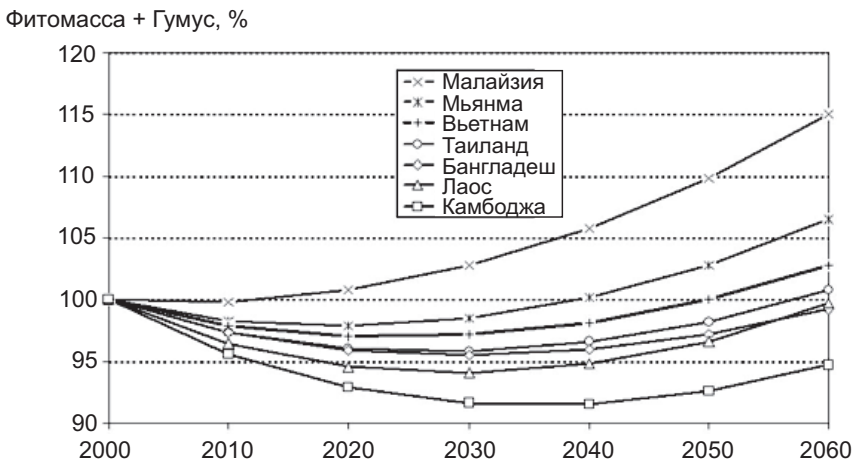
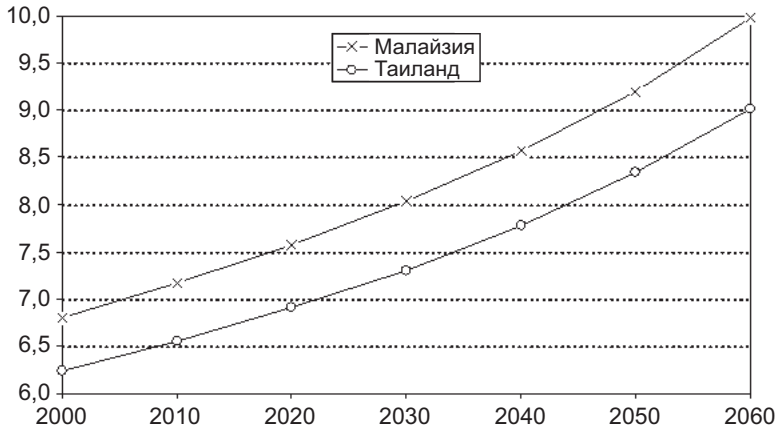
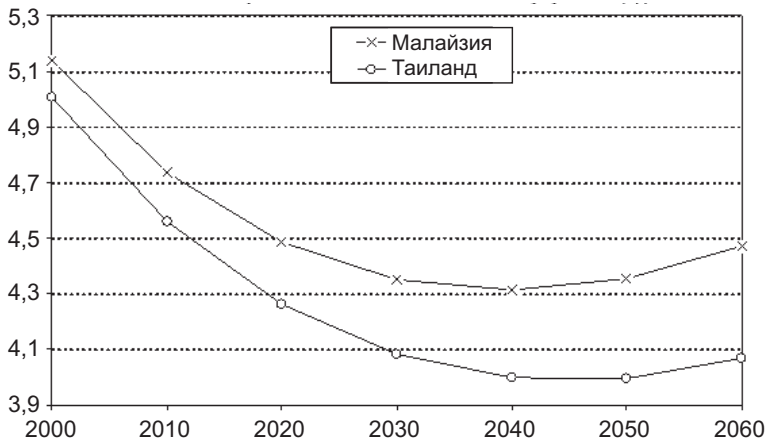


Рис. 8. Изменение общего углерода в странах Индокитая в течение 2000—2060 гг. Здесь 100% относится к 2000 г.

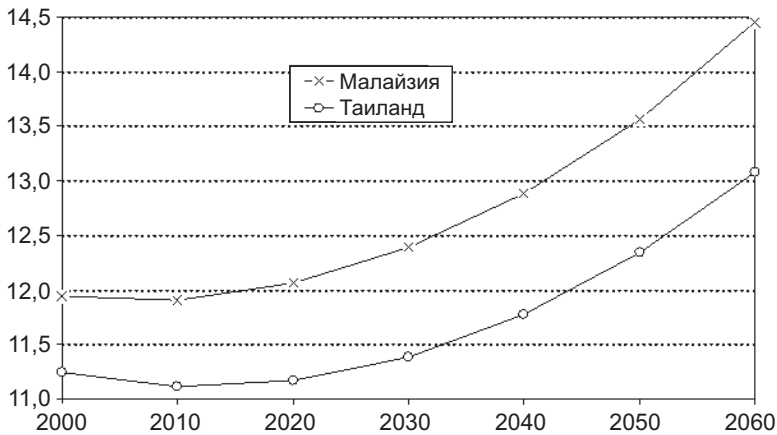
Результаты расчетов для основных отдельных типов экосистем ( $\text{Гт С/км}^2$ ) в странах Индокитая в 2000—2060 гг. представлены на рис. 9—25. Отметим, что продукция и сумма фитомассы и гумуса всех типов экосистем во всех изучаемых странах увеличивается к 2060 г. из-за влияния повышения концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере и температуры при глобальном потеплении. В то же время запасы гумуса почти во всех типах экосистем и странах уменьшаются с небольшим увеличением, не достигающим к 2060 г. уровня 2000 г. Исключением являются смешанные леса, в которых не производятся масштабные рубки лесов и количество гумуса растет. В рисовых чеках, содержащих травяную системой, не существенна фитомасса, а важна продуктивность (рис. 24, 25). Она медленно увеличивается в течение всех лет моделирования из-за влияния повышения концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере и температуры при глобальном потеплении.



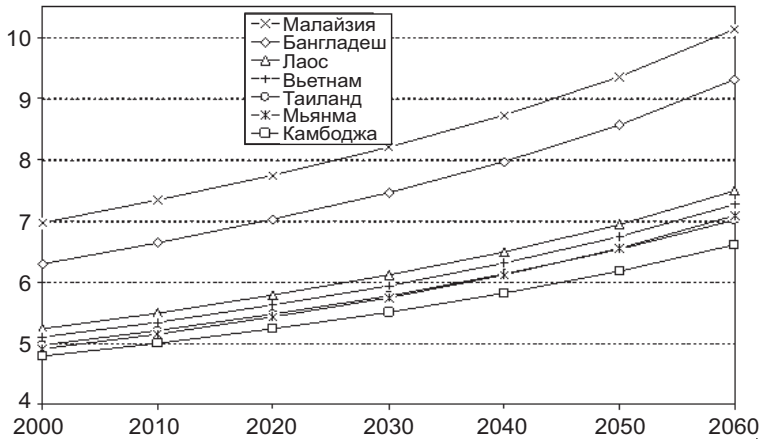
**Рис. 9.** Тропические вечнозеленые леса.  
Углерод фитомассы растений на единицу площади (т С/км²)



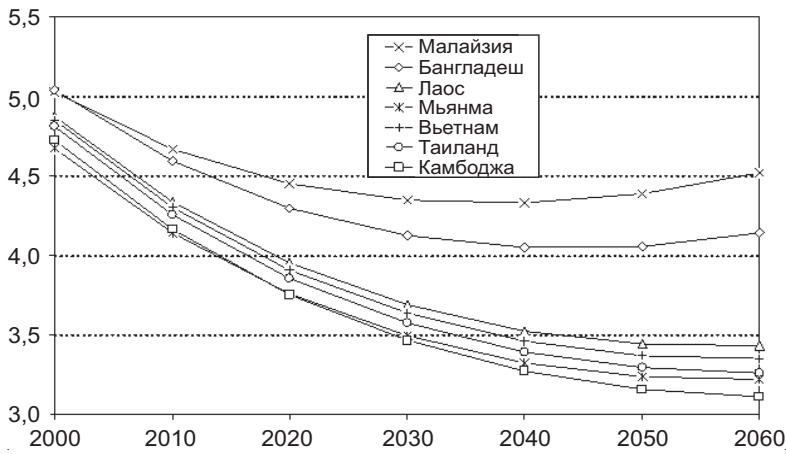
**Рис. 10.** Тропические вечнозеленые леса.  
Углерод гумуса почвы на единицу площади (т С/км²)



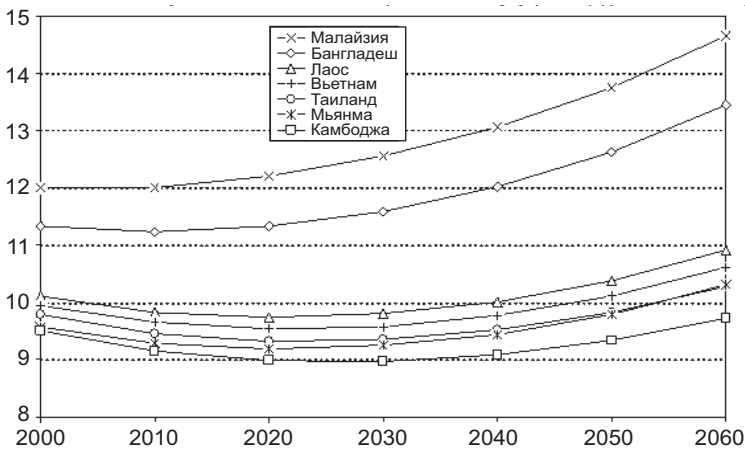
**Рис. 11.** Тропические вечнозеленые леса.  
Углерод фитомассы растений + гумуса почвы на единицу площади (т С/км²)



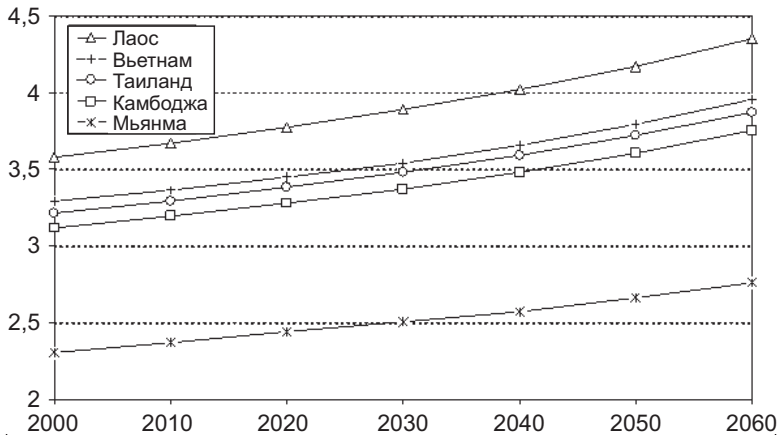
**Рис. 12.** Тропические сезонные леса. Углерод фитомассы растений на единицу площади (т С/км<sup>2</sup>)



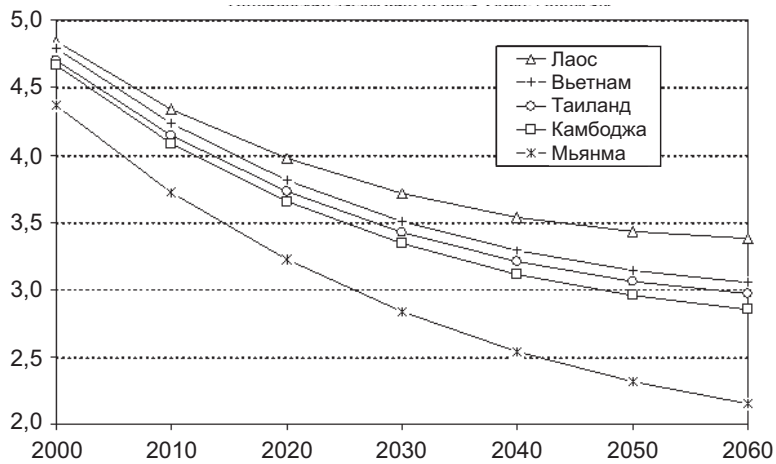
**Рис. 13.** Тропические сезонные леса. Углерод гумуса почвы на единицу площади (т С/км<sup>2</sup>)



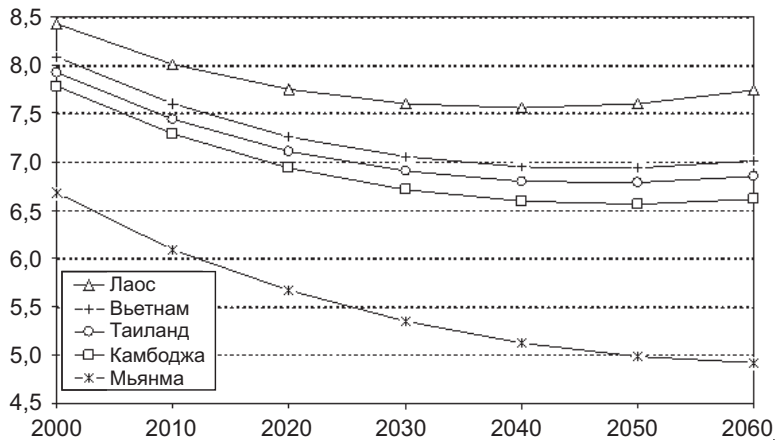
**Рис. 14.** Тропические сезонные леса. Углерод фитомассы растений + гумуса почвы на единицу площади (т С/км<sup>2</sup>)



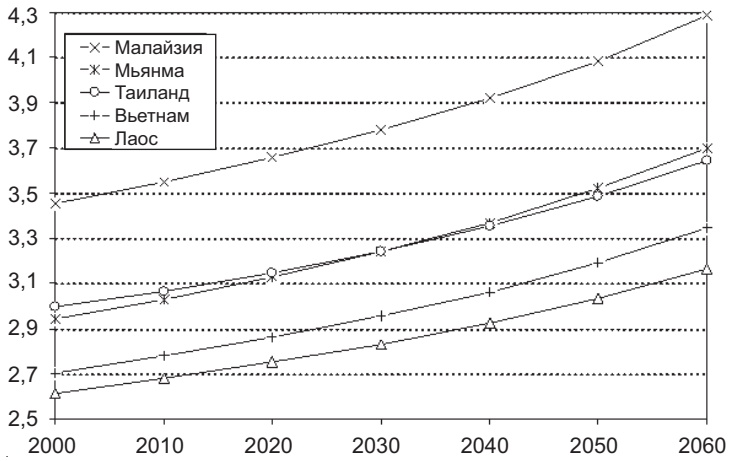
**Рис. 15.** Тропические засушливые леса.  
Углерод фитомассы растений на единицу площади (т С/км<sup>2</sup>)



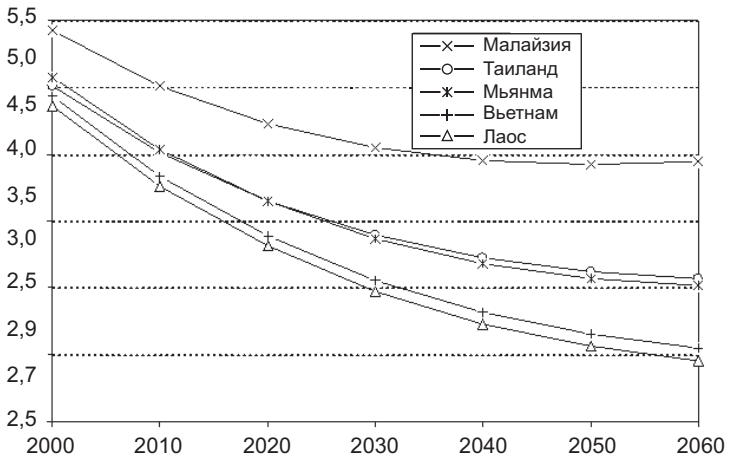
**Рис. 16.** Тропические засушливые леса.  
Углерод гумуса почвы на единицу площади (т С/км<sup>2</sup>)



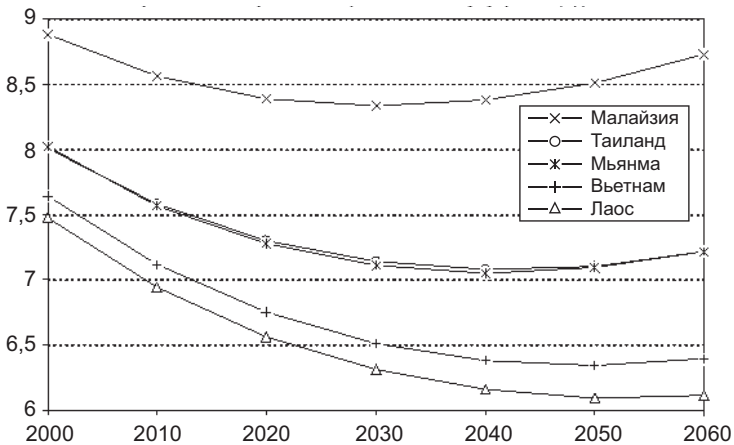
**Рис. 17.** Тропические засушливые леса.  
Углерод фитомассы растений+ гумуса почвы на единицу площади (т С/км<sup>2</sup>)



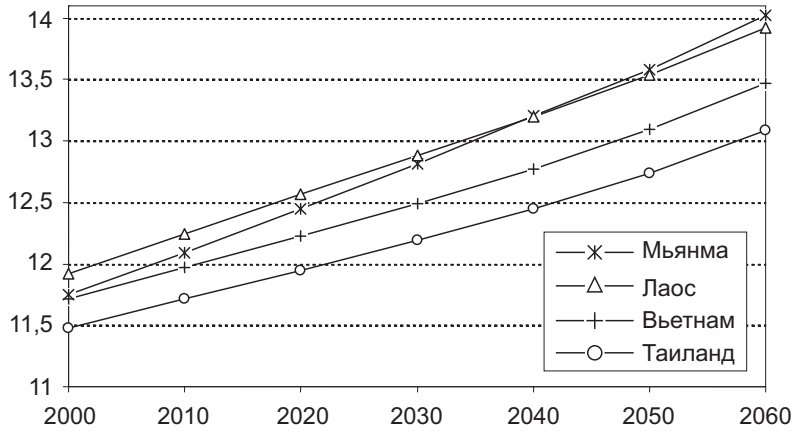
**Рис. 18.** Тропические горные леса. Углерод фитомассы растений на единицу площади (т С/км<sup>2</sup>)



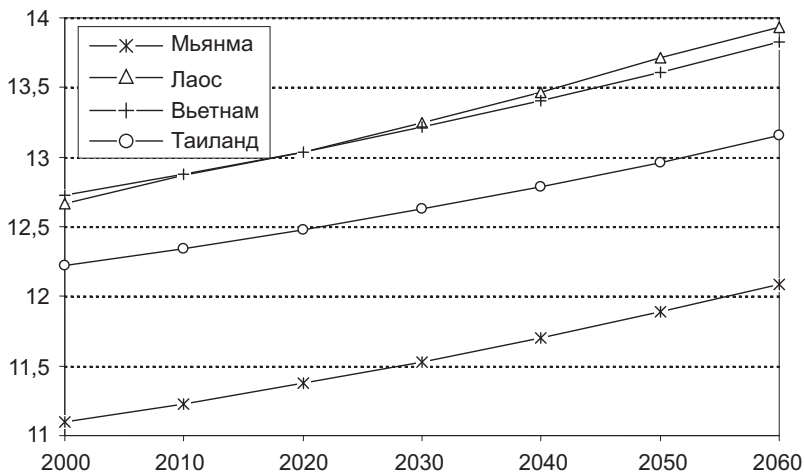
**Рис. 19.** Тропические горные леса. Углерод гумуса почвы на единицу площади (т С/км<sup>2</sup>)



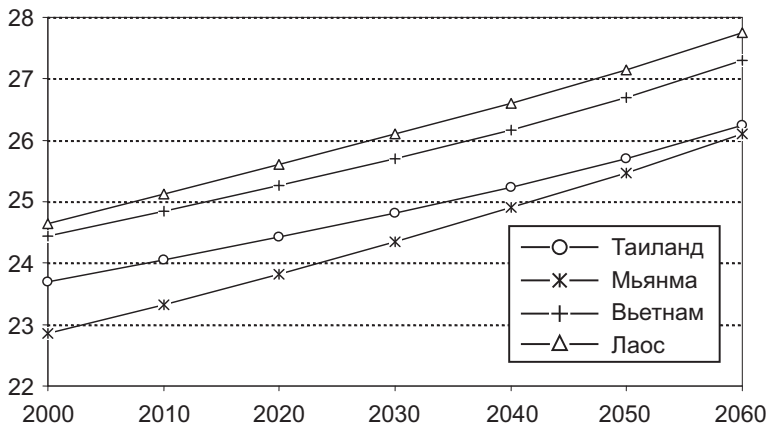
**Рис. 20.** Тропические горные леса. Углерод фитомассы растений + гумуса почвы на единицу площади (т С/км<sup>2</sup>)



**Рис. 21.** Лиственные леса.  
Углерод фитомассы растений на единицу площади (т С/км²)



**Рис. 22.** Лиственные леса.  
Углерод гумуса почвы на единицу площади (т С/км²)



**Рис. 23.** Лиственные леса.  
Углерод фитомассы растений + гумуса почвы на единицу площади (т С/км²)

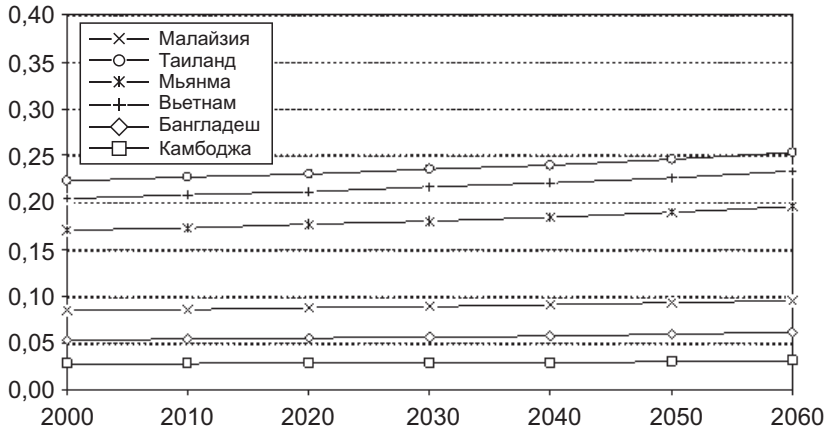


Рис. 24. Продуктивность рисовых чеков (полей) (т С/(км<sup>2</sup> г.)

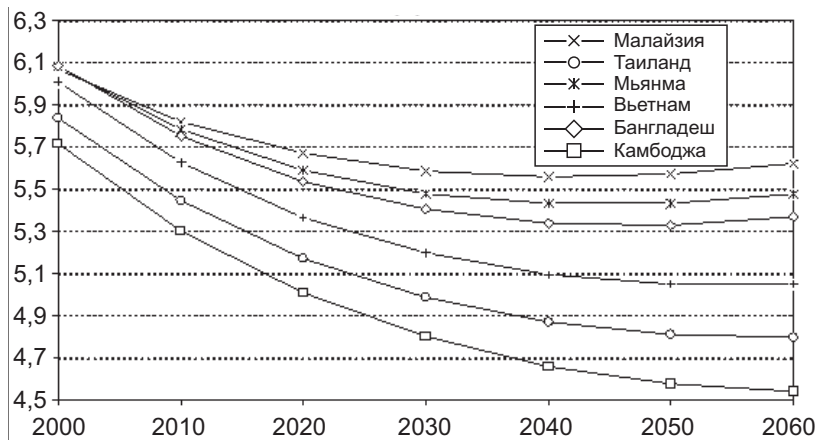


Рис. 25. Рисовые чеки (поля). Углерод гумуса почвы на единицу площади (т С/км<sup>2</sup>)

Для полученных результатов было определено, в какой последовательности по количеству фитомассы следовали страны Индокитая в 2060 г. для каждого типа экосистем, первое место и самый высокий рейтинг считались у страны с самым большим значением переменной, последнее — у страны с самым малым значением. В таблице 2 указано, какие типы экосистем и какие страны лидируют по количеству фитомассы. Мы видим, что наиболее мощные тропические вечнозеленые леса есть только в двух странах — Малайзии и в Таиланде. Во всех семи странах есть тропические сезонные леса, имеющие меньшую фитомассу, чем тропические вечнозеленые: Малайзия (1-е место), Бангладеш (2-е место), Лаос (3-е место), Вьетнам (4-е место), Мьянма (5-е место), Таиланд (6-е место), Камбоджа (7-е место). В рассматриваемых странах большие площади занимают рисовые чеки (поля), они есть во всех странах, кроме Камбоджи.

Далее был определен рейтинг стран по всем экосистемам, для этого по каждому параметру сначала были рассчитаны средние места по каждому типу экосистем, а затем произведена сортировка от первой до последней страны (табл. 4, 5). Мы видим, что по величине фитомассы страны следуют в таком порядке по снижению рейтинга:

Малайзия, Бангладеш, Лаос, Мьянма, Таиланд, Вьетнам, Камбоджа. По величине гумуса страны идут в таком порядке: Малайзия, Бангладеш, Лаос, Вьетнам, Таиланд, Мьянма, Камбоджа. Видно, что рейтинги первых трех (Малайзия, Бангладеш, Лаос) стран как для фитомассы, так и для гумуса одинаковы, Камбоджа занимает последнее место в обоих случаях, а различаются Мьянма и Вьетнам. Средние значения по фитомассе Малайзии и Бангладеш близки, также близки средние значения Мьянмы, Таиланда и Вьетнама. Для случая гумуса близки средние значения Бангладеш и Лаоса, а также Вьетнама и Таиланда. Среднее значение Камбоджи в обоих случаях заметно отличается от других рассмотренных стран.

Таблица 2

**Рейтинг стран Индокитая в 2060 г. по фитомассе растений для каждого типа экосистем**

Рейтинг	Тропические вечно-зеленые леса	Рейтинг	Тропические сезонные леса	Рейтинг	Тропические сухие леса	Рейтинг	Тропические горные леса	Рейтинг	Теплые лиственные леса	Рейтинг	Рисовые чеки
1	Малайзия	1	Малайзия	1	Лаос	1	Малайзия	1	Мьянма	1	Бангладеш
2	Таиланд	2	Бангладеш	2	Вьетнам	2	Мьянма	2	Лаос	2	Камбоджа
		3	Лаос	3	Таиланд	3	Таиланд	3	Вьетнам	3	Малайзия
		4	Вьетнам	4	Камбоджа	4	Вьетнам	4	Таиланд	4	Мьянма
		5	Мьянма	5	Мьянма	5	Лаос			5	Таиланд
		6	Таиланд							6	Вьетнам
		7	Камбоджа								

Таблица 3

**Рейтинг стран Индокитая в 2060 г. в распределении по количеству гумуса в почвах для каждого типа экосистем**

Рейтинг	Тропические вечно-зеленые леса	Рейтинг	Тропические сезонные леса	Рейтинг	Тропические сухие леса	Рейтинг	Тропические горные леса	Рейтинг	Теплые лиственные леса	Рейтинг	Рисовые чеки
1	Малайзия	1	Малайзия	1	Лаос	1	Малайзия	1	Лаос	1	Малайзия
2	Таиланд	2	Бангладеш	2	Вьетнам	2	Таиланд	2	Вьетнам	2	Мьянма
		3	Лаос	3	Таиланд	3	Мьянма	3	Таиланд	3	Бангладеш
		4	Вьетнам	4	Камбоджа	4	Вьетнам	4	Мьянма	4	Вьетнам
		5	Таиланд	5	Мьянма	5	Лаос			5	Таиланд
		6	Мьянма							6	Камбоджа
		7	Камбоджа								



Таблица 4

**Рейтинги стран по величине фитомассы**

Страна	Место в типах экосистем	Среднее значение	Место по среднему значению
Малайзия	1, 1, 1, 3	1,25	1
Бангладеш	2, 1	1,5	2
Лаос	3, 1, 5, 2	2,75	3
Мьянма	5, 5, 2, 1, 4	3,40	4
Таиланд	2, 6, 3, 3, 4, 5	3,67	5
Вьетнам	4, 2, 4, 3, 6	3,80	6
Камбоджа	7, 4, 2	4,33	7

Таблица 5

**Рейтинги стран по величине гумуса**

Страна	Место в типах экосистем	Среднее значение	Место по среднему значению
Малайзия	1, 1, 1, 1	1	1
Бангладеш	3, 2	2,5	2
Лаос	5, 3, 1, 1	2,50	3
Вьетнам	4, 4, 4, 2, 2	3,20	4
Таиланд	2, 5, 2, 5, 3, 3	3,33	5
Мьянма	2, 3, 6, 5, 4	4	6
Камбоджа	6, 7, 4	5,67	7

Результаты моделирования показывают, что ограничение промышленных выбросов CO<sub>2</sub> позволяет в некоторой мере снижать темпы роста двуокси углерода в атмосфере и тормозить развитие глобального потепления. Известно, что предпринимаемые развитыми странами усилия по преобразованию экономики и повышению эффективности использования энергетических ресурсов приводят в ряде случаев к уменьшению промышленных выбросов CO<sub>2</sub> и уменьшают их воздействие на глобальное потепление без снижения уровня жизни населения этих стран [5]. Однако пренебрежение развитием в странах, не входящих в «золотой миллиард», дает противоположный эффект — значительный рост концентрации углекислого газа в атмосфере и дальнейшие нарушение климата и биосферы. Проведенные авторами расчеты показали, что политика квот обмена CO<sub>2</sub>, проводимая в рамках Киотского протокола, не будет эффективной, поскольку быстрый рост выбросов CO<sub>2</sub> в таких странах, как страны Индокитая, превысит потенциал этого метода ограничения. Вклад стран Индокитая в связи с последствиями глобального потепления будет заметным в 2020—2060 гг., что будет сопровождаться значительным ростом выбросов. В странах Индокитая в эти годы под влиянием глобальных биосферных эффектов и региональных последствий развития местной экономики, будет значительный рост фитомассы лесов и уменьшение содержания гумуса в почве.

## ПРИМЕЧАНИЕ

- (1) Указано количество вещества, выраженное в массе углерода.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Tарко А.М.* Антропогенные изменения глобальных биосферных процессов. Математическое моделирование. — М.: Физматлит, 2005.
- [2] *Tарко А.М.* Математическая модель глобального цикла углерода в биосфере // Журнал общей биологии. — 2010. — Т. 71. — № 1. — С. 97—109.
- [3] *Bolin B.* How much CO<sub>2</sub> will remain in the atmosphere? The carbon cycle and projections for the future. — Greenhouse effect, climatic change and ecosystems. SCOPE 29. Eds: Bolin B., Doos Bo R., Jager J., and Warrick R., N.Y.: Wiley. 1986, 93—155.
- [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.
- [5] *Marland G., Boden T., Andres B.* Global CO<sub>2</sub> Global CO<sub>2</sub> Emissions from Fossil-Fuel Burning, Cement Manufacture, and Gas Flaring: 1751—2010. NDP-030 // Carbon Dioxide Information Analysis Center. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, 2010.
- [6] *Olson J.S., Watts J.A., Allison L.J.* Major world ecosystem complexes ranked by carbon in live vegetation: a data base // Oak Ridge National Laboratory. Environmental Sciences Division, Oak Ridge, NDP-017, 1985.
- [7] *Schlesinger M.E.* Simulating CO<sub>2</sub> — induced climatic change with mathematical climate models: Capabilities, limitations and prospects. Proceedings: Carbon Dioxide Research, 1983.

## LITERATURA

- [1] *Tарко А.М.* Антропогенные изменения глобальных биосферных процессов. Математическое моделирование. — М.: Физматлит, 2005.
- [2] *Tарко А.М.* Математическая модель глобального цикла углерода в биосфере // Журнал общей биологии. — 2010. — Т. 71. — № 1. С. 97—109.
- [3] *Bolin B.* How much CO<sub>2</sub> will remain in the atmosphere? The carbon cycle and projections for the future. — Greenhouse effect, climatic change and ecosystems. SCOPE 29. Eds: Bolin B., Doos Bo R., Jager J., and Warrick R., N.Y.: Wiley. — 1986, 93—155.
- [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.
- [5] *Marland G., Boden T., Andres B.* Global CO<sub>2</sub> Global CO<sub>2</sub> Emissions from Fossil-Fuel Burning, Cement Manufacture, and Gas Flaring: 1751—2010. NDP-030 // Carbon Dioxide Information Analysis Center. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, 2010.
- [6] *Olson J.S., Watts J.A., Allison L.J.* Major world ecosystem complexes ranked by carbon in live vegetation: a data base // Oak Ridge National Laboratory. Environmental Sciences Division, Oak Ridge, NDP-017, 1985.
- [7] *Schlesinger M.E.* Simulating CO<sub>2</sub> — induced climatic change with mathematical climate models: Capabilities, limitations and prospects. Proceedings: Carbon Dioxide Research, 1983.

## **IMPACT OF THE REGIONAL CONSEQUENCES OF GLOBAL WARMING AND LAND USING ON THE ECOLOGICAL PROCESSES IN INDOCHINA**

**A.I. Kurbatova<sup>1</sup>, A.M. Tarko<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Ecological Department  
Peoples' Friendship University of Russia  
*Podolskoe shosse, 8/5, Moscow, Russia, 113093*  
<sup>2</sup> Dorodnitsyn Computing Center, Russian Ac.Sc.,  
*Vavilov Str. 40, Moscow, Russia 119991*

On the basis of the spatial mathematical model of the global carbon dioxide cycle in the biosphere the absorption of carbon dioxide emissions from the fossil fuel burning, deforestation, and soil erosion by terrestrial ecosystems was calculated for all the world and countries of Indochina. Simulating experiments to estimate the consequences of restrictions of CO<sub>2</sub> emissions to the atmosphere based on various scenarios of implementation of the Kyoto protocol to the Framework Convention on Climate Change were performed. Countries of the Indochina have remarkable role in absorption of CO<sub>2</sub> emissions to atmosphere. Nevertheless, the forecast of CO<sub>2</sub> emissions of these countries shows the fast growth of emissions during nearest 10—40 years. It will lead to significant increase of CO<sub>2</sub> concentration of in atmosphere, which can disturb plans of Kyoto protocol and scenarios of modern plans. Effects of deforestation of tropical forests and soil erosion because of inappropriate land use and climate change were calculated until 2060 for countries of Indochina.

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