



ЭКОНОМИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЫБРОСОВ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В АТМОСФЕРУ

В статье рассмотрена необходимость научного обоснования и информационного обеспечения глобального и национального балансов потоков углекислого газа каждой страны в целях экономической стабилизации концентрации парниковых газов в атмосфере на таком уровне, который не допускал бы опасного воздействия на климатическую систему. Показано, что углеродабсорбирующих способностей лесного фонда и нелесных биоценозов России хватит для развития национальной энергетики, ориентирующейся на сжигание органического топлива, не прибегая к внедрению дорогостоящих углеродпоглощающих технологий, почти на полвека.

Изменение климата Земли – проблема международного сообщества. Среди ученых существует мнение, что происходит глобальное потепление климата Земли¹. Среднемировая приземная температура воздуха самого теплого – 1998 года – была на 0,66°С выше ее среднегодового значения (+13,8°С) за период, прошедший с 1861 г. [1], вторым наиболее теплым был 2002 г. [2].

Потепление на территории России в целом за столетие (1901-2000 гг.) составило около 1°С; максимальная средняя годовая температура была отмечена в 1995 г., когда отклонение от нормы (средней температуры базового периода 1961-1990 гг.) было равно около 2°С. Потепление более заметно зимой; интенсивное потепление происходило к востоку от Урала, тогда как вблизи Черного моря и в отдельных западных (осенью) и полярных районах произошло даже некоторое похолодание [3].

Научный «консенсус» климатологов и геохимиков обозначил первовинников потепления – парниковый эффект (ПЭ), вызванный промышленными выбросами парниковых газов (ПГ)², а также чрезмерные лесоразработки, особенно в тропиках, «передав» тем самым решение проблемы другим специалистам.

Судя по дебатам в российских научных публикациях и выступлениям на Всемирной конференции по изменению климата (29 сентября – 3 октября 2003 г., Москва), согласия среди специалистов в оценке причин потепления климата не намечается, так как одно дело – признание факта повышения температуры, другое – соглашение с объяснением причин и их пролонгирование.

Концепция антропогенно обусловленного глобального потепления климата, вызывающего нарастающую тревогу в обществе, стала предметом мировой геополитики. Изменение климата Земли является проблемой, для решения которой необходимо заключение мирового соглашения. На 3-й Конференции Сторон Рамочной Конвенции ООН об изменении климата (декабрь 1997 г., Киото) развитые страны подписали Протокол о сокращении выбросов ПГ к 2008-2012 гг. по сравнению с 1990 г. на 5,2%. Реализуя дипломатический консенсус, международное сообщество сможет сделать первый твердый шаг к политике охраны климата в наступившем веке. Но шаг этот дорогостоящий, кроме того, общая величина сокращений выбросов, исчисленная исходя из разбросов измеренных величин атмосферных концентраций, находится в пределах ошибки вычисления объемов ПГ в атмосфере.

¹ Этот вопрос остается дискуссионным – Прим. ред.

² Парниковые газы – газообразные составляющие атмосферы как естественного, так и антропогенного происхождения, которые поглощают и испускают излучение конкретной длины волны в рамках спектра инфракрасного излучения, испускаемого поверхностью Земли, атмосферой и облаками. Это свойство вызывает парниковый эффект. Основными парниковыми газами в атмосфере Земли являются: водяной пар, двуокись углерода, закись азота, метан и озон.

Хотя эффективность Киотского протокола для будущих изменений климата крайне невелика [4], реакция на Киотские соглашения неоднозначна. Если ЕС и Япония ратифицировали Киотский протокол, то США от этого отказались и даже увеличили выбросы на 13% к 2002 г., а многие развивающиеся страны, в том числе Китай и Индия, вообще не собираются вводить ограничений на выбросы ПГ.

Россия при обязательствах по Конвенции и Киотскому протоколу не превышать 3039 Мт CO₂ ежегодных выбросов за последние 10 лет имеет «экономия» 7600 Мт ПГ в эквиваленте CO₂, или в среднем 760 млн. т в год. Это результат не только падения объемов производства, но и целенаправленной структурной перестройки экономики, сокращения энергоемких производств, конверсии военно-промышленного комплекса и внедрения энергоэффективных и энергосберегающих технологий [5, с. 71-76].

Антропогенно обусловленные выбросы CO₂ в атмосферу происходят, главным образом, вследствие использования ископаемых топлив (каменного угля, природного газа и нефти). В 1990 г. при сжигании органического топлива (с учетом производства цемента) в атмосферу поступило 21 920 млн. т CO₂, в 1998 г. эмиссия этого газа увеличилась на 6,7% и составила 22 726 млн. т. В список стран, наиболее энергично «согрававших» с помощью CO₂ земной шар в 1990 г., вошли [6]:

	Млн. т CO ₂		Млн. т CO ₂
США	4844	Франция	369
Китай (включая Гонконг)	2389	Польша	348
Россия	2308	Мексика	297
Япония	1048	Южная Африка	291
Германия	967	Австралия	259
Украина	675	Южная Корея	232
Индия	595	Испания	212
Великобритания	572	Бразилия	201
Канада	421	Иран	197
Италия	402	Саудовская Аравия	160

Доля этих стран составляет 79% глобальных выбросов CO₂. В XXI в. CO₂ по-прежнему будет доминирующим в списке антропогенных ПГ.

Величина эмиссии CO₂ функционально связана с объемом сжигания органического топлива. В 1990 г. в России добыто: угля – 396 млн. т, природного газа – 640 млрд. куб. м, (из них 42% экспортировано), нефти – 518 млн. т (57% экспортировано). При расчете объема выбросов коэффициент удельной эмиссии CO₂, зависящий от содержания углерода в различного вида ископаемом топливе, принимался равным: для угля 0,756 т С/т у.т., нефти – 0,586 т С/т у.т., природного газа – 0,448 т С/т у.т. Таким образом, годовая эмиссия CO₂ составила 635 млн. т С. К 1993 г. потребление ископаемого топлива снизилось по сравнению с 1990 г. на 22%, а к 1998 г. – на 38,7%, при этом в атмосферу поступило 1416 млн. т CO₂ (в расчете на российского жителя – 9,6 т CO₂). В России в 1990 г. доля CO₂ в общем объеме ПГ составляла 72% [3, 7].

Научные исследования проблемы изменения климата бурно развиваются практически во всех странах или самостоятельно, или с помощью более продвинутых в этой области знания стран. Для беспокойства есть основания: к концу века климатологи прогнозируют возможные повышения температуры воздуха на 1,4-5,8°C, если выбросы ПГ не будут ограничены, при этом уровень Мирового океана может подняться на 9-88 см [8].

В этой связи принципиально важно положение [9, с. 24-36], отмеченное Межправительственной группой экспертов ВМО и ЮНЕП, об отказе от понятия «прогноз климата», формулируемого на основе несовершенных современных

моделей климата как источника информации о возможных его изменениях в будущем. Именно поэтому речь идет о вероятных сценариях изменения климата.

Баланс углерода – основа управления процессом потепления климата. Антропогенный CO_2 включается в глобальный биогеохимический круговорот углерода не обособленно, а вместе с природным CO_2 . Проследить реальные потоки отдельно антропогенного и природного CO_2 в процессе циркуляции в настоящее время не представляется возможным. Поэтому для поиска путей влияния на антропогенные потоки CO_2 с целью смягчения их воздействия на изменение климата исследуем глобальный баланс общих потоков CO_2 .

При изучении баланса CO_2 в качестве возможной основы управляемой климатической системы его элементы должны рассматриваться в динамике.

Основной принцип (качественной и количественной) оценки мероприятий глобального и регионального воздействия на элементы баланса состоит в том, чтобы темпы потепления климата не приводили к разрушению природных экосистем. Иными словами, объемы прямого поступления антропогенных ПГ в атмосферу должны корреспондировать с неразрушительной скоростью эволюции экосистем. Согласно Рамочной Конвенции ООН об изменении климата «Конечная цель настоящей Конвенции и всех связанных с ней правовых документов, которые может принять Конференция Сторон, заключается в том, чтобы добиться во исполнение соответствующих положений Конвенции стабилизации концентраций парниковых газов в атмосфере на таком уровне, который не допускал бы опасного антропогенного воздействия на климатическую систему. Такой уровень должен быть достигнут в сроки, достаточные для естественной адаптации экосистем к изменению климата, не позволяющие ставить под угрозу производство продовольствия и обеспечивающие дальнейшее экономическое развитие на устойчивой основе» [10, ст. 2].

Оценим воздействие «согревающейся» климатической системы на динамику адаптации к потеплению климата элементов биосферы.

Режим почвенных и поверхностных вод суши меняется практически синхронно с изменением климата, хотя роль глобального круговорота воды в формировании климата остается открытой.

Сравнение скоростей миграции лесных видоизменяющихся биоценозов (8-50 км/век)³ и скоростей перемещения климатических зон в северном направлении (при сценарии потепления на 1-3,5°C оцениваются величиной 150-550 км/век [12]) показывает, что эволюция биосферных систем и трансгрессия лесов будут почти на порядок отставать от изменения климатических факторов. В этих условиях аборигенные биогеоценозы будут находиться в стрессовых условиях жизнеобитания с вытекающими из них последствиями. Почвы преобразуются значительно медленнее [13, с. 63-71].

Сложнейшей научной проблемой является исследование динамики другого ПГ – метана болот и вечной мерзлоты в условиях изменчивости температуры наземного слоя воздуха, вызываемого погодными условиями и потеплением климата.

Ученые МГУ им. М.В. Ломоносова предсказывают, что южные границы многолетнемерзлых пород на Урале и в Сибири к 2100 г. сдвинутся к северу на 300-400 км и может отмечаться оттаивание многолетнемерзлой толщи.

Таким образом, исходя из соблюдения конституированного критерия только биологической составляющей, должны быть скорректированы и нормативные

³ В качестве первого приближения – непрерывности ареала распространения и однородности в них климатических условий в течение столетия – можно принять скорость передвижения лиственничных лесов, равной 8 км/век, аналогично для других пород – 20-30 км/век, а пионерных видов – более 50 км/век [11].

международные требования с учетом факторов, приводящих к темпам глобального потепления, опережающим естественные адаптационные способности биосфер.

Далее рассмотрим баланс CO_2 с оценкой известных способов управления потоками CO_2 , причем с оговоркой, что в количественном отношении их статистика в большой степени неудовлетворительна, а в экономическом (последствия принятия решений) – и политизирована.

Приведем один из наиболее часто цитируемых расчетов глобального баланса CO_2 [8, 12]. С 1850 по 1998 г. в атмосферу поступило: в результате сжигания ископаемого топлива и производства цемента приблизительно 270 млрд. т С; было выброшено, главным образом лесными экосистемами, в результате изменений в землепользовании около 136 млрд. т С. Таким образом, всего в атмосферу поступило 406 млрд. т С. Из этого объема 43% задержалось в атмосфере, что привело к увеличению содержания в ней CO_2 на 176 млрд. т С. Считается, что в результате этого концентрации в атмосфере CO_2 повысились с 285 молекул CO_2 на 1 млн. частиц атмосферного воздуха полтора века назад до 367 в конце прошлого века. Оставшиеся 230 млрд. т С, согласно оценкам, удалены из атмосферы посредством поглощения CO_2 океанами и экосистемами суши приблизительно равными частями.

Проблема составления научно обоснованного баланса CO_2 находится в стадии формулирования, а для принятия решений особенно актуальны составляющие глобальных и национальных не только источников, но и поглотителей и накопителей CO_2 . При этом особенно важна как изученность процесса, так и надежность информации. Например, при оценках круговорота углерода (а из ПГ углерод – наиболее изученный ингредиент) значительна неопределенность знаний об источниках и поглотителях антропогенного CO_2 . В самом деле, единственным хорошо известным источником CO_2 является процесс, связанный с горением органического топлива; источники, связанные с нарушениями в землепользовании, изучены как в качественном, так и в количественном отношении сравнительно хуже. Относительно лучше других изученным резервуаром CO_2 является атмосфера, где инструментально отслеживаются концентрации находящегося в ней CO_2 . Но в отношении океанических и сухопутных поглотителей разброс оценок находится соответственно в пределах $\pm 30\%$ и $\pm 50\%$. Хотя научно обоснованная методика определения объемов поглощения биосферой и выбросов CO_2 находится в стадии отработки, а система глобального и регионального мониторинга ПГ только зарождается, разработчики The Global Carbon Project ставят своей целью, используя результаты своих десятилетних исследований, дать количественное описание современного географического и временного распределения запасов и потоков углерода в виде региональных балансов (а также балансов по секторам народного хозяйства), интегрируя имеющиеся модели и данные [14].

При оценке годовых балансов следует учитывать также определенную периодичность и вариацию подсчитанных на основе начатых в 1957 г. инструментальных замеров величин содержания CO_2 в атмосфере. Так, по этим замерам объем CO_2 в 1992 г. оценен в 1,9 млрд. т С, а в 1998 г. – 6,0 млрд. т С [8]. Таким образом, величина глобального среднегодового содержания CO_2 в атмосфере сопоставима с минимаксной разностью за эти годы, при этом однозначных научно обоснованных толкований этого явления пока нет. Поэтому научно обоснованно оценивать какие-либо рекомендации и тем более мероприятия, основывающиеся на результатах моделей, отлаженных на подобной информации, в настоящее время можно только качественно. В работе [15] по этому поводу сделан достаточно четкий вывод: «Проблема глобальных изменений на

основе существующих моделей климата до сих пор не вышла за пределы условных сценарных оценок».

Тем не менее политикам, экономистам и гражданам мирового сообщества настоятельно советуют проводить (уже разрабатывается и система штрафных санкций за несоблюдение) на уровне личного имущества, хозяйства, отдельных производств, предприятий, страны, межгосударственных отношений и в глобальном масштабе антипарниковообразующие мероприятия.

Проследуем по этому пути и в нашем исследовании, учитывая, что международное сообщество от имени Конвенции уже начинает требовать от Сторон Конвенции сокращения эмиссии ПГ до величин, зафиксированных Киотским протоколом.

Для оценки различного рода мероприятий по стабилизации и уменьшению национальных эмиссий ПГ в качестве исходной даты для построений нами принят 1990 г., являющийся базовым (принято Конвенцией Сторон).

Итак, глобальный баланс CO_2 в 1990-е годы оценивается следующим образом [8]:

	Млрд. т С/год
Выбросы при сжигании топлива и производстве цемента	6,3±0,4
Поток из атмосферы в океан	1,7±0,5
Поток из атмосферы на сушу	1,4±0,7
Задержалось в атмосфере	3,2±0,1

Таким образом, из выброшенных в атмосферу 6,3 млрд. т С/год глобального антропогенного углерода поглощены океаном – 27%, депонированы в экосистемах суши – 23%, задержалось в атмосфере – оставшаяся часть (половина поступившего в нее потока).

При оценке научной обоснованности глобального баланса CO_2 следует также учитывать, что при настоящей изученности круговорота природного и антропогенного углерода составление баланса CO_2 для континента возможно только в принципе. Имеющаяся научно-информационная основа для количественной оценки еще весьма далека от удовлетворительной.

Тем не менее для решения наших практических задач будем исходить из посылок глобального баланса и разложим на соответствующие составляющие эмиссию CO_2 , поскольку глобальный антропогенный CO_2 (в их числе и российский) является составной частью общего глобального круговорота [16].

Итак, из общей величины выбросов, произведенных в РФ в 1990 г. и зафиксированных в Киотском протоколе в размере 2 388 720 млрд. т CO_2 (650 млн. т С):

океан поглощает	– 27% (645 млн. т CO_2 , или 175 млн. т С)
экосистемы суши поглощают	– 23% (550 млн. т CO_2 , или 150 млн. т С)
в атмосфере остается	– 50% (1194 млн. т CO_2 , или 325 млн. т С)

Сокращение (стабилизация) выбросов – установка Киотского протокола.

Наиболее освоенными технологиями, позволяющими управлять потоками CO_2 , являются технологии сокращения выбросов и воздействия на растительные экосистемы суши.

Управление потоками CO_2 с помощью энерготехнологий. Изучение конкретных технологий показывает, что на всех существующих предприятиях для снижения выбросов CO_2 потребуются дополнительные технологические блоки. Так, затраты при использовании современных технологий по отделению, захвату, транспортировке и накоплению, а в дальнейшем захоронению или последующему использованию CO_2 из мощных точечных источников, подобных

теплоэлектростанциям, оцениваются примерно в 100-300 долл./т. CO₂. При этом экологическая приемлемость таких технологий еще не очевидна; а затраты на глубокую очистку потоков горячего воздуха от CO₂ будут, по крайней мере, вдвое дороже. В США решили пойти другим путем – развернули исследования по секвестрации углерода, т. е. поглощения CO₂ лесами, землями и даже океанами; специалисты подсчитали, что при таком варианте можно сэкономить до 2050 г. 2,7 трлн. долл. [17].

В целом затраты, связанные со снижением концентрации CO₂ в атмосфере, например на уровне 450 млн.⁻¹, оцениваются в диапазоне 2,5-18 трлн. долл. [18], т. е. сопоставимы с годовым глобальным ВВП в 1990 г. (20 трлн. долл.) [19]. Эти оценки настолько поразительны, что прогнозисты должны обратить большее внимание на не-эмитирующие CO₂ технологии, в первую очередь с целью получения тепло- и электроэнергии.

В перспективе рост энергопроизводства, в основном традиционного, предусматривается во всех национальных прогнозах. Так, по одному из многочисленных сценариев численность населения Земли к концу текущего столетия может удвоиться, а ежегодный экономический рост достичь 2-3%. При этом концентрация CO₂ увеличится в 3 раза по сравнению с 1990 г. В этой связи оживляется дискуссия о развитии атомной энергетики (см. [22-21]).

Россия вместо предложенного Киотским протоколом плана «развернет несколько альтернативных программ по защите природы и нейтрализации негативного воздействия вредных выбросов на атмосферу. Среди таковых увеличение площади лесных массивов и запуск новых блоков АЭС» [22].

Крайне важна следующая аксиома проблемы уменьшения концентрации CO₂ в атмосфере: атомная энергия единственно реальная на сегодня замена ископаемого топлива; атомные электростанции не являются эмиттерами ПГ и вполне конкурентоспособны с традиционными энергоустановками, использующими органическое топливо. Причем на последних лягут и дополнительные расходы на установки по перехвату CO₂ и дальнейшему их использованию (складированию). Представители США и Японии на 6-й Конференции Сторон (Гаага, 13-24 ноября 2000 г.) заявили, что они готовы поддержать финансирование проектов по атомной энергетике в развивающихся странах, имея в виду снижение выбросов CO₂ в атмосферу [23].

Поглощения CO₂ лесами. Фотосинтезирующий «зеленый пояс» суши и карбонатная система океанов весьма эффективно удаляют CO₂ из атмосферы. Тем не менее концентрация CO₂ в атмосфере продолжает увеличиваться. Относительно реальным методом воздействия на баланс CO₂ является управление сухопутными экосистемами, в частности лесным фондом. Эффект мер подобного рода продолжается десятки лет, к примеру, это лесопосадки, предотвращение лесных пожаров и т. п. Хотя теоретически (при прекращении эмиссии CO₂ в атмосферу) леса могли бы поглотить атмосферный CO₂ за 10-20 лет [24].

Оценка изъятия из атмосферы CO₂ с помощью вновь созданных биогеоценозов (в частности лесных) варьирует в очень широком диапазоне. Так, в таежных (бореальных) лесах годовая скорость секвестрации углерода оценивается от 0,8 до 2,4 т С/га·год, в увлажненных – от 0,7 до 7,5 т С/га·год, тропических – от 3,2 до 10 т С/га·год [25]. Такие проекты, осуществляемые в тропической зоне, стоят от 0,1 до 20 долл. /т С, а в нетропических странах от 20 до 100 долл./т С [8]. Очевидно, что выращивание лесопоглотителей CO₂ обходится намного дешевле мероприятий по ограничению технологических выбросов при производстве продукции. Следует заметить, что в Киото из всех возможных вышеперечисленных

стратегий был избран к реализации самый дорогой способ воздействия на баланс CO_2 , но уже на 7-й Конференции Сторон (29 октября – 9 ноября 2001 г., Марракеш) было принято решение о включении механизмов поглощения CO_2 лесами в список международных мер по его секвестрации.

В соответствии с разработанными российскими учеными программами работ по лесовосстановлению, защитным лесопосадкам и другим подобного рода лесохозяйственным мероприятиям дополнительный эффект реализации на площади

5,3 млн. га состоит в ежегодном накоплении углерода российскими лесами в объеме 45 млн. т в год [24].

Следуя Киотскому протоколу, Стороны должны определять на национальном уровне как запасы углерода в лесах, так и размеры годовой секвестрации CO_2 из атмосферы. Но суша улавливает углерод не только за счет растительности, но и почв и даже снегов. В настоящее время накоплений углерода в почвах больше в 4 с лишним раза, чем в растительности, но абсорбирующие – накопительные и (или) эмиссионные свойства почв пока не включены в основном из-за недостаточной изученности всего почвенного разнообразия в систему оценок поглотительных – накопительных и (или) эмиссионных способностей суши. Поэтому в дальнейших построениях воспользуемся накопленным материалом о свойствах лесных биоценозов. Это принципиально не меняет методики составления баланса и вместе с тем не снижает остроты постановки вопроса о национальном балансе CO_2 с учетом всех поглотителей.

Необходимо отметить, что по поводу определения понятия леса в проблеме глобального потепления ведутся научные, хозяйственные и политические дискуссии⁴. В одном из документов МГЭИК сказано, что в настоящее время выпущен словарь, где дано 200 определений понятия «лес», 50 – «дерево», 50 – «лесовосстановление». И если такие ключевые термины, как леса, облесение, лесовозобновление и обезлесивание, с позиций их влияния на климат не будут четко определены или если принципы учета углерода твердо не установлены, то будет трудно оценить углероддепонирующие последствия хозяйственной деятельности по землепользованию [12].

Управление балансом CO_2 диктуется и другой тревожной альтернативой: в докладе для Совета ЮНЕП (Найроби) отмечено, что ежегодные убытки (insurance losses), связанные с глобальным потеплением климата, могут обходиться миру в 300 млрд. долл. и более [26].

Леса России – поглотители мировых выбросов CO_2 . Функциональная роль лесов в биосфере стала предметом внимания при обсуждении различного рода проектов. Приоритетное значение в аспекте углеродного цикла закрепилось за бореальными лесами Евразии и Северной Америки [27], которые в глобальном масштабе представляют собой нетто-сток CO_2 . Основные площади этих лесов сосредоточены в России (60%) и Канаде (30%) [28].

Лесные массивы, поглощающие CO_2 , в абсолютном значении и в сравнении с другими странами в России увеличиваются. Так, за последние три десятилетия площадь покрытых лесом земель в России увеличилась на 61,2 млн. га. Земли лесного фонда РФ составляют, по данным учета 1993 г., 1180,9 млн. га; из них лесные – 886,5 млн. га. Среднее удельное депонирование углерода в лесах Европейско-

⁴ Леса, по определению FAO (Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН), являются растительными сообществами, где, по крайней мере, 10-20% поверхностной территории покрыто кронами деревьев. Залесенные территории определяются как растительные сообщества, где кроны деревьев покрывают менее 10-20% наземной поверхности и растительность состоит в основном из кустарников, кустарниковых деревьев и густых лесопосадок от 0,5 до 7 м высотой.

Уральской части России оценивается в 2 т CO_2 /(га·год); в Восточно-Сибирском регионе – 0,7 т CO_2 /(га·год); в лесах Западной Сибири и Дальнего Востока оно существенно меньше – 0,45 т CO_2 /(га·год). Молодняк при этом ассимилирует углерод в 3-6 раз эффективнее средневозрастных и приспевающих деревьев.

Российские специалисты [29] считают, что для расчетов полного углеродного баланса необходимо также учитывать потоки CO_2 в тундровых, луговых, болотных и водных экосистемах страны. По предварительным расчетам, экосистемный углеродный баланс на 366 млн. га тундры (включая горную ее часть) составляет в среднем 40 млн. т С/год, на 274 млн. га лугов (включая степь и сельхозугодья) – 170 млн. т С/год, на 92 млн. га болот (исключая залесенные болота) – 30 млн. т С/год и на внутренних водных объектах – 20 млн. т С/год. Таким образом, нелесные экосистемы страны депонируют до 260 млн. т С/год (950 млн. т CO_2 /год); ежегодные потери (эмиссия) насчитывают 140 млн. т С/год (главным образом, это потребление фитомассы сельскохозяйственными животными); чистая экосистемная продукция нелесных биомов составляет 400 млн. т С/год.

Расчеты показывают, что проведение мероприятий по лесоразведению и лесовосстановлению в России возможно на территории 35-40 млн. га, а реконструкция лесонасаждений с целью улучшения их продуктивности – 20-25 млн. га [3]. Потенциальные возможности дополнительного ежегодного депонирования углерода в случае полного освоения существующих фондов достаточно велики. Общая площадь земель, пригодных для лесовосстановления и лесоразведения, составляет около 100 млн. га, в том числе в лесном фонде до 80 млн. га (не покрытые лесом и нелесные земли) и в сельском хозяйстве около 20 млн. га (фонды защитного лесоразведения, облесения деградированных земель и биологической рекультивации), хотя часть из них находится в труднодоступных районах [28]. И на многих потенциально пригодных площадях, расположенных близко к развитой инфраструктуре, можно рекомендовать освоение углероддепонирующих плантаций (молодняка как наиболее эффективно поглощающего CO_2 вида многолетних растений).

В России, включившейся в программу «Углеродный кредит», в соответствии с постановлением Правительства РФ от 11 августа 1995 г. учреждена Российская программа организации инвестиций, в которой разработан механизм предоставления предприятиям и организациям РФ средств на условиях кредитования для реализации самокупаемых проектов, способствующих охране окружающей среды. Так, по одному из осуществленных проектов в Саратовской области [30] удельная стоимость эмиссии CO_2 обошлась иностранным инвесторам в 3-4 долл./т CO_2 [31], дальнейшие работы по лесовосстановлению, рассчитанные на значительно большие объемы секвестрации CO_2 (2,9 млн. т CO_2 в течение 55 лет), – по цене, на порядок меньше предыдущей, – по 0,4 долл. за 1 т CO_2 . При пролонгировании подобной практики отечественной промышленности очень скоро придется изыскивать намного больше средств в целях сокращения эмиссии CO_2 .

Введение права продажи национальных углероддепонирующих ресурсов по программе «Углеродный кредит» должно иметь не только экономическую, но и политическую оценку. Общая ситуация увеличения концентрации CO_2 в атмосфере и его эмиссии существенно различна для стран с ограниченной территорией и развитой индустрией и стран с обширной территорией и продуктивными биогеоценозами. Если для первых единственным путем достижения благоприятного национального баланса CO_2 может быть ограничение выбросов, то для вторых возможна стратегия увеличения мощности природных поглотителей и накопителей CO_2 .

Страны, в которых отсутствуют емкие поглотители CO₂ и которые имеют дефицит углеродного баланса, продавая национальные углероддепонирующие ресурсы, по существу продолжают использовать аналогичные международные, так как при этом свои эмиSSIONеры по-прежнему выбрасывают в атмосферу CO₂. Страны, которые имеют землеемкие ресурсы и продают их индустриальным странам, создавая тем самым благоприятные возможности для их развития, по существу продают свою территорию. Этот процесс уже получил название – «карбонный колониализм», а эти земли – «киотскими».

Однако существует традиционный способ защиты национальных углеродпоглощающих ресурсов – это установление налога на выбросы CO₂. Величина налога определяется, исходя из сопоставления размера выбросов CO₂, зафиксированного Киотским протоколом, и затрат на их поглощение. Объем поглощающей способности лесов рассчитывается на основе углеродного баланса экосистем страны. Из сопоставления этих величин определяются нагрузка на биоценозы и расходы на поддержание лесных экосистем в режиме, по меньшей мере, простого воспроизводства.

Углеродный баланс национальных поглотителей и методика его составления в последнее время являются объектом пристальной экспертизы, не лишенной политической окраски. Об этом свидетельствует, например, широкая вариация существующих оценок главного результата баланса – чистой продукции лесного биоценоза России – от -199 до +1020 млн. т С/год [29].

Величины нетто-стока, вычисленные как разность между депонированием углерода в годичном объеме накопленной фитомассы и эмиссией при пожарах и лесозаготовках за десятилетний период, составили [3]:

	Млн. т С		Млн. т С
1990 г.	-141,1	1998 г.	3,9
1994 г.	242,4	1999 г.	212,8
1995 г.	337,7		

Результаты расчетов, изложенные во Втором и Третьем Национальном сообщении РФ [3] были дезавуированы. Недавние расчеты углеродного баланса бореальных лесов России показали следующее [29] (табл. 1).

Таблица 1

Углеродный баланс бореальных лесов России

Показатель	1990 г.	2000 г.
Общий средний прирост запаса древесины, Мм ³ /год	890	970
Составляющие углеродного баланса, Мт/год		
NEP – чистая продукция экосистем*	570	600
Потери (эмиссия) в лесах	128	107
В том числе		
Cut – рубки главного пользования, рубки ухода	66	32
Waste – сжигание древесных отходов	31	15
Burn – пожары	15	19
Pest – вредители и болезни леса	7	32
Fuel – сжигание отопительных дров	9	9
Баланс в лесных экосистемах	442	493

* В качестве методической основы расчетов NEP использовались имеющиеся данные по общему среднему (периодическому) приросту запаса стволовой древесины на уровне лесхозов из базы данных Государственного учета лесного фонда, а также конверсионные коэффициенты, отражающие отношение прироста запаса всей живой и мертвой фитомассы, включая сухостой, валежник и лесную подстилку, к объему запаса стволовой древесины в коре.

Итак, приходная статья баланса меняется в очень большом диапазоне. Но главное, что в сухопутных биоценозах континентов и стран депонировалось 23% российского CO_2 (см. выше).

Далее рассмотрим следующее принципиальное положение – справляются ли с такой нагрузкой национальные абсорбенты. В дальнейших расчетах будем опираться на утверждение – «Глобальное изменение на территории России в ближайшие 30-40 лет не приведет к резкому ухудшению условий, необходимых для нормального роста и развития основных лесообразующих пород. Предполагаемые изменения климата на этот период лежат в диапазоне допустимых изменений условий произрастания этих пород в естественных лесах. Однако ожидаемые климатические изменения могут нарушить установившийся ход взаимоотношений между древесными породами на стадии естественного возобновления лесов после вырубок, пожаров, в очагах болезней и вредителей. Например, лиственница, в силу ее биологических особенностей (светолюбивая), на предельной части своего ареала может быть заменена елью или пихтой как менее светолюбивыми породами. Не исключена смена хвойных пород лиственными, так как последние в меньшей степени зависят от изменения климата» [3]. Из этого следует, что в условиях «нормального роста» нетто-сток за это время, по крайней мере, не изменится, что и учитывается в дальнейших расчетах.

Из баланса следует, что леса России в 90-е годы полностью поглощали национальные выбросы CO_2 в объеме 550 млн. т/год (150 млн. т С/год), что составляет треть (150 : 442) их поглощающей способности. Чтобы сохранить и поддерживать в воспроизводственном углеродпоглощающем состоянии эти естественные (лесные) емкости в будущем, когда народное хозяйство в своем развитии превысит квотированные эмиссии, необходимы средства, которые должен изыскивать эмиттер. Размер их должен определяться, исходя из расходов на мониторинг и воспроизводство углеродпоглощающей функции лесной экосистемы на абсорбирующей площади.

Из баланса также очевидно, что леса России ежегодно поглощают также CO_2 , выброшенный в атмосферу заграничными эмиттерами в объеме 1 млрд т CO_2 (290 млн т С/год), что составляет две трети (290 : 442) их поглощающей способности. Тем самым они, «работая» на заграничных эмиттерах, в этих объемах должны быть учтены при расчете величины налогов на поддержание лесов России в удовлетворительном состоянии с точки зрения их способности депонировать выпущенный заграничными предприятиями CO_2 при производстве продукции (не путать с продажей квот на выбросы). Естественно, международные эмиттеры пользуются этими ресурсами в настоящее время и поэтому за это надо бы платить сейчас, но это не означает, что такое положение должно быть сохранено и на будущее. Эти объемы должны быть учтены в долгосрочной стратегии развития национальной промышленности, освобождая ее от международных обязательств внедрять дорогостоящие углеродперехватывающие технологии.

Таким образом, национальные выбросы CO_2 в полном объеме длительное время будут поглощаться российскими лесами:

$$650 \text{ млн. т С/год} \times 1,02^t - 650 \text{ млн. т С/год} = 442 \text{ млн. т С/год} - 150 \text{ млн. т С/год}$$

в течение $t = 19$ лет, а с учетом имевшего место снижения выбросов в последующие годы на 30%, $t = 25$ лет. Таким образом, этих резервных ресурсов российской промышленности практически хватит на четверть века при ежегодном двухпроцентном росте эмиссии CO_2 , а с учетом нелесных биоценозов (400 млн. т

С/год

[29]) – почти на полвека. Двухпроцентный ежегодный рост эмиссии принят как коррелят одного из сценариев мирового экономического роста (см. выше).

Налог или пошлина на последующие выбросы CO_2 рассчитывается, исходя из «углеродоемкости» продукции и затрат на расширенное воспроизводство лесов и лесопосадок. Ими могут быть и молодняковые, и кустарниковые плантации, которые наиболее эффективны по затратам на абсорбирование атмосферного антропогенного CO_2 из всех подобных направлений, изучаемых в рамках секвестризации. Новые лесонасаждения или восстановленные леса в отсутствие крупных возмущений будут продолжать поглощение CO_2 в течение полувека после посадки растений в зависимости от их вида и местных условий.

Для многих стран с обширной территорией и достаточными водными ресурсами ориентация на многолетние кустарниковые плантации с промышленной технологией ухода за насаждениями и уборки растений уже в настоящее время может быть весьма эффективной, поскольку кустарники являются хорошими поглотителями CO_2 и в то же время служат сырьем для целлюлозно-бумажной промышленности.

На Российско-Американском семинаре [32] Председатель изложил экономическую основу торговли квотами – «На мой взгляд, идея торговли квотами на выбросы парниковых газов является пока единственной, вполне адекватно соответствующей специфике решения глобальных проблем».

«Для пояснения рассмотрим пример на материале проблемы климатических изменений. Для экономистов этот пример, да и сама идея совершенно элементарны. Но рынок квот интересует не только экономистов, и автору придется попросить у них извинения за столь тривиальный материал.

Страна **A** должна сократить годовые выбросы углекислого газа на величину **a** тонн, страна **B** - на величину **b** тонн. Страна **A** уже потратила значительные средства на энергосбережение, поэтому новые вложения дают не слишком значительную экологическую отдачу (все «сливки» сняты), и снижение годовых выбросов диоксида углерода на 1 тонну обходится здесь в **m** долл. инвестиций.

Страна **B** только начинает серьезные инвестиции в энергосбережение, здесь затраты на 1 тонну снижения выбросов – **n** долл., причем $n \ll m$. Ясно, что если страны выполняют обязательство независимо, то они потратят $am+bn$ долл. (в предположении, что зависимости затрат от объема сокращения выбросов в рассматриваемых пределах $[0, a+b]$ линейны). Если сокращение выбросов осуществить только в одной из двух стран, а именно в стране **B** (там, где дешевле), то затраты составят $(a+b)n$ и будет «получена» экономия $(am+bn)-(a+b)n=a(m-n)$ долл.

Вполне возможно, что **A**, вместо того, чтобы за am долл. провести необходимые мероприятия у себя дома, потратит an долл. в стране **B** с таким же экологическим эффектом; тем самым **B** получит an долл. инвестиций, а **A** сэкономит $a(m-n)$ долл. на выполнении своих обязательств.

Однако такие инвестиции, скорее всего, будут иметь не только экологическое значение, поскольку преимущества новых технологий обычно имеют комплексный характер. Поэтому вполне возможно участие в таких инвестициях и страны **B**. Например, **A** оплатит долю **k**, где $0 < k < 1$, а **B** долю $1-k$. Тогда для выполнения обязательств **A** по сокращению выбросов в объеме **a** тонн будут произведены инвестиции в объеме an долл. на территории **B**, причем **A** оплатит из них kan долл., а страна **B** потратит $(1-k)an$ долл.

Конечно, в последнем случае в стране **B** поднимется большой шум, критики будут говорить об ограблении более развитым государством **A** менее развитого **B**, которое, несмотря на свое отставание, по непонятной причине платит $(1-k)an$ долл. за выполнение передовой страной **A** ее обязательств. Бог с ними, с критиками».

Предлагаемая схема будет прекрасно «работать» в российской рыночной экономике, если в вышеприведенном тексте слово «страна» заменить словом «отрасль», «предприятие», «технологии» отдельной страны. Пример тому – сообщение на том же Российско-Американском семинаре: поставленная цель – сокращение выбросов загрязнителей – выполняется в США в рамках системы торговли квотами со значительно меньшими затратами по сравнению с традиционным подходом – введением одинаковой нормы выброса для всех американских источников.

Поэтому желательно, чтобы глобализация предлагаемой схемы произошла при исчерпании некоторых положений:

1) страна **A** выйдет на международный рынок квот в том и только в том случае, когда все национальные «сливки» уже сняты национальной промышленностью;

2) страна **В** выйдет на рынок квот в том и только в том случае, если имеет более дешевые, в сравнении со страной **А**, технологии и соответствующие ей объемы секвестрирования CO_2 (естественно, случай спекулятивной распродажи своих национальных ресурсов не рассматривается). На перспективное развитие своего народного хозяйства страна **В** имеет соответствующий запас национальных углеродпоглощающих ресурсов. В противном случае вновь нарождающиеся национальные эмиттеры CO_2 страны **В** должны будут осваивать более дорогие технологии, так как свои «сливки» они уже продали стране **А**.

В схему международной торговли квотами всячески стремятся включить Россию, утверждая, что Россия получит от продажи квот многомиллиардные долларовые инвестиции.

К предлагаемой схеме есть также замечания, связанные с особенностями состояния народного хозяйства России и национального баланса CO_2 .

Как показано выше, Россия имеет значительные углеродпоглощающие резервы, обусловленные спадом производства в стране за последнее десятилетие и значительной емкостью биомов суши. Учет этих резервов в прогностических сценариях позволит освободить национальную промышленность на многие десятилетия от бремени расходов на углеродпоглощающие технологии. По исчерпанию национальных резервов поглотителей CO_2 отрасли и предприятия-эмиттеры будут вынуждены осваивать замыкающие технологии или покупать квоты глобализованного рынка.

В случае продажи резервов по квотам другим странам, как правило «сливок» углеродпоглощающих объемов, национальная промышленность в соответствии с Киотскими обязательствами должна будет предусмотреть повышенные расходы, связанные с внедрением углеродпоглощающих мероприятий. Подобного рода дилемму можно разрешить сопоставлением будущих дисконтных затрат и выгод от настоящих продаж, методология которой хорошо разработана.

Далее, оценим нагрузки на накопительные резервуары CO_2 – леса – по некоторым странам, хотя подход к учету углеродпоглощающей способности на основе площади лесов является неполным. Естественно – это весьма грубое количественное приближение, но в нашем случае подобного рода подход оправдывается хотя бы тем, что проблема динамики углеродпоглощающей способности территории в целом и экосистем в частности отдельно взятых стран в настоящее время с помощью существующих научных инструментов может решаться с большим трудом, если даже вообще разрешима.

В основу ранжирования положен принцип исчерпания национальных поглотительных ресурсов (в частности лесов) – т. е. сравниваются выбросы CO_2 фактические и потенциально возможные, исчисленные по среднемировым данным (понятно, что не вся часть антропогенного CO_2 поглощается лесными экосистемами, кроме того, бонитет лесов различен по странам, климатическим зонам, видовому составу и т. п.).

Среднемировые удельные нагрузки на леса определяются, исходя из мировых антропогенных выбросов и общей площади лесов на Земле, больше половины которых составляют увлажненные и бореальные леса:

Эмиссия CO_2 (1990 г.)	21 920 млн. т CO_2
в том числе поглощаемая биоценозами суши	5 042 млн. т CO_2
Площадь лесов	3 963 млн. га
Среднемировая удельная нагрузка на леса	1,27 т $\text{CO}_2/\text{га}$

Абсорбирующий потенциал лесов страны исчисляется умножением удельной среднемировой нагрузки на площадь национальных лесов. Делением величины

фактических выбросов CO₂ страны на размер поглотительного национального потенциала и сравнением ее со среднемировой удельной нагрузкой на леса получаем величину, характеризующую соотношение двух важнейших составляющих парникового эффекта (табл. 2).

Экологический показатель, основанный на эмиссии CO₂ и площади их поглотителей, следует считать относительным для сравнения ресурсных (в частности лесных) возможностей стран, но принципиальным для оценки, охраны и защиты национальных интересов. Естественно, возникает вопрос, почему национальные леса должны бесплатно служить абсорбентами также глобальных выбросов, без учета каких-либо экономических предпочтений?

Особенно важен этот показатель при определении Конференцией Сторон (высший периодический совещательно-рекомендательный орган, работающий под эгидой ООН) квот странам на эмиссию и разработке прав Сторон на продажу выбросов.

Однако то, что уже достоверно известно, позволяет по-новому поставить вопрос о делении территории планеты с учетом степени антропогенности на две категории: эмиссионеров CO₂ и его поглотителей и накопителей. Развитые страны – эмиссионеры CO₂ по состоянию на 1990 г. практически во много раз перегрузили абсорбирующие способности своей территории (большинство европейских стран, Япония, США), и в сравнении с ними имеются большие резервы на территориях стран с умеренным климатом (Россия, Канада, Австралия, Скандинавские государства). От обоснованности абсорбирующих составляющих баланса CO₂ зависит реализация принципа распределения ответственности стран за антропогенное потепление климата с учетом не только степени их развития, но и эмиссии CO₂ в сопоставлении с величиной поглотительной способности ее территории.

Таблица 2

Нагрузка на лесные ресурсы в 1990 г. по странам*

Страна	Площадь лесов, тыс. га	Эмиссия, тыс. т CO ₂		Удельная национальная нагрузка на леса, т CO ₂ /га	Отношение удельной национальной нагрузки на леса к среднемировой, раз
		общая	в том числе приходящаяся на сушу		
Нидерланды	375	161360	37113	99	78
Великобритания	2624	584220	134371	51	40
Бельгия	741	113997	26220	35	28
Дания	445	52894	12166	27	21
Германия	10740	1014500	233335	22	17
Ирландия	489	31575	7262	15	12
Польша	8872	476625	109624	12	10
Япония	24047	1124532	258642	11	8,5
Италия	9708	432565	99490	10	8
Румыния	6301	194826	44810	7	6
Франция	14725	387590	89146	6	4,8
Греция	3299	85164	19588	6	4,7
США	222113	4914351	1130300	5,1	4
Китай	145417	2467000	567410	3,9	3,1
Австрия	3809	62130	14290	3,8	3
Испания	13510	226057	51993	3,8	3
Португалия	3096	43132	9920	3,2	2,5
Норвегия	8558	35146	8084	0,94	0,74
Россия	850039	2372300	545630	0,64	0,51
Финляндия	21885	60771	13977	0,64	0,5
Швеция	27128	55443	12752	0,47	0,37
Канада	244571	465755	107124	0,44	0,34
Австралия	157359	278669	64094	0,4	0,32

** Ранжирование стран по этому показателю значительно отличается от ранжирования стран по абсолютным выбросам, список которых представлен в начале статьи.
Площади лесов по странам приведены по материалам ФАО, эмиссия – по данным [6].*

Одна составляющая резервов по масштабам продуцирования и особенно по размерам длительного аккумуляирования углерода в древесных растениях является наиболее экономичной и надежной системой для предотвращения усиленного ПЭ, причем простыми способами. За счет совершенствования посадочного материала, лесовыращивания и оптимизации возрастной структуры лесонасаждений, дополнительного облесения площадей становится возможным «перекачать» часть CO₂ атмосферы в фитомассу и аккумуляировать в ней углерод на десятки лет.

Другая составляющая резервов, которые пополнят рынок квот, – технологические новации в сравнении с функционирующими в настоящее время объектами-эmissionерами. Этот массив активно разрабатывается с самого начала вынесения проблемы глобального потепления климата на международный уровень, и в них всегда фиксировались агенты потепления климата. В первую очередь – это ПГ развитых стран. Квоты этой части могут формировать рынок, который и может осваиваться, в том числе по законам рынка. Так, с целью реализации механизмов Киотского протокола к Рамочной Конвенции ООН об изменении климата и содействия выполнению международных обязательств России в 2001 г. по решению Совета Директоров в РАО «ЕЭС России» был учрежден Энергетический углеродный фонд. Он создан для реализации проектов по сокращению выбросов ПГ в РФ и привлечения потока «зеленых» инвестиций в модернизацию, реконструкцию энергетики России, энергосбережение в сферах производства и муниципального хозяйства, связанных с энергетическим сектором [33].

РАО «ЕЭС России» по собственной инициативе провело инвентаризацию выбросов ПГ в электроэнергетике. Энергетический углеродный фонд организовал международную независимую экспертизу данной инвентаризации РАО «ЕЭС России», которая была оценена как уникальная в практике теплоэнергетического сектора как в России, так и во всем мире.

Основные задачи Энергетического углеродного фонда:

- подготовка и сопровождение Проектов совместного осуществления⁵ сокращения выбросов ПГ;
- подготовка предложений по созданию и развитию законодательной, нормативной и методологической баз, обеспечивающих участие РАО «ЕЭС России» в совместных проектах по сокращению выбросов ПГ;
- создание отраслевой системы мониторинга, инвентаризации и отчетности выбросов ПГ;
- организация информирования и обучения работников предприятий РАО «ЕЭС России» и АО-энерго деятельности на зарождающемся углеродном рынке.

* * *

⁵ Согласно проекту совместного осуществления [8, ст. 6] «Для целей выполнения своих обязательств по статье 3 любая Сторона, включенная в приложение 1, может передавать любой другой такой Стороне или приобретать у нее единицы сокращения выбросов, полученные в результате проектов, направленных на сокращение антропогенных выбросов из источников или на увеличение абсорбции поглотителями парниковых газов в любом секторе экономики, при условии, что: а) любой такой проект был утвержден участвующими Сторонами; б) любой такой проект предусматривает сокращение выбросов из источников или увеличение абсорбции поглотителями, дополнительное к тому, которое могло бы иметь место в ином случае; д) приобретение единиц сокращения выбросов дополняет внутренние действия для целей выполнения обязательств по статье 3».

«Консенсусный» Киотский протокол необходимо дополнить научно обоснованными глобальным и национальным балансами потоков углекислого газа.

В целом 2/3 резерва абсорбирующей способности лесного фонда России, а с учетом нелесных биоценозов до 4/5, хватит на развитие национальной энергетики, ориентирующейся на сжигание органического топлива, не прибегая к внедрению дорогостоящих углеродпоглощающих технологий, почти на полвека при темпах двухпроцентного ежегодного роста эмиссии CO₂.

Литература

1. Кондратьев К.Я. Глобальные изменения на рубеже тысячелетий // *Вестник РАН*. 2000. Т. 70. № 9.
2. *Statement on the Status of the Global Climate in 2002*. WMO. № 949, 2003. <http://www.wmo.ch>.
3. Третье Национальное сообщение Российской Федерации представленное в соответствии со статьями 4 и 12 Рамочной Конвенции ООН об изменении климата. Межведомственная комиссия Российской Федерации по проблемам изменения климата. М., 2002.
4. Израэль Ю.А. Изменение климата и их последствия: реакция мирового сообщества. Труды Международной теоретической конференции «Проблемы гидрометеорологии и окружающей среды на пороге XXI века». Санкт-Петербург, 24 – 25 июля 1999 г. Спб.: Гидрометеиздат, 1999.
5. *Использование и охрана природных ресурсов в России*. 2001. № 7.
6. *Emission of CO₂ from Fuel Combustion*. UNFCCC - Secretariat. 9 April 2001. <http://www.unfccc>.
7. Израэль Ю.А., Назаров И.М., Нахутин А.И., Яковлев А.Ф., Гитарский М.Л. Вклад России в изменение концентрации парниковых газов в атмосфере // *Метеорология и гидрология*. 2002. № 5.
8. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Chapter 3. *The Carbon Cycle and Atmospheric Carbon Dioxide*. UNEP, WMO, IPCC. <http://www.ipcc.ch>.
9. Кондратьев К.Я. Возможные воздействия изменения климата в США на экосистему и экономику // *Известия Русского географического общества*. 2001. т. 133, вып.6.
10. *Рамочная Конвенция ООН об изменении климата*. <http://www.unfccc.int>.
11. Кобак К.И., Кондрашова Н.Ю., Турчинович И.Е. Влияние лесного покрова на эмиссию углекислого газа в атмосфере // *Лесоведение*. 1993. № 3.
12. Специальный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). Землепользование, изменения в землепользовании и лесное хозяйство. ВМО, ЮНЕП, МГЭИК, 2000. <http://www.ipcc.ch>.
13. Добровольский Г.В., Куст Г.С. Глобальные изменения климата и эволюция почвы // *Природа*. 1995. № 8.
14. *Global Carbon Project (2003) Science Framework and Implementation*. Earth System Science Partnership (YGBP, IHDP, WCRP, DIVERSITAS) Report № 1. Canberra. <http://globalcarbonproject.org>.
15. Адаменко В.Н., Кондратьев К.Я. Глобальные изменения климата и их эмпирическая диагностика. В сб.: *Антропогенное воздействие на природу Севера и его экологические последствия*. Анаптиты: Кольский НЦ РАН, 1999.
16. Федоров Б.Г. Углеродный баланс – основа принятия решений. Тезисы докладов Всемирной конференции по изменению климата. Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН, 2003.
17. *Carbon Sequestration. Overview and Summary of Program Plans*. Draft. April 2000. US Department of Energy, Office of Fossil Energy. National Energy Technology Laboratory. Pittsburgh, Pennsylvania. Morgantown, West India. <http://www.whitehouse.gov>.
18. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Climate Change 2001*. In: Metz B., Davidson O., Swart R., Pan. J. (Eds.), *Mitigation Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
19. Azar C., Schneider S.H. Are the Economic Costs of Stabilizing the Atmosphere Prohibitive? *Ecological Economics* 42 (2002).
20. Суботин В.И. Энергоисточники в XXI веке. *Вестник РАН*, 2001, т. 71, № 12.
21. Яблоков А.В. Об «экологической чистоте» атомной энергетики. Серия «Чтения памяти академика А.Л.Янишина». Вып. I. Глобальные проблемы биосферы. М.: Наука, 2001.
22. Россия не ратифицирует Киотский протокол. Интервью Руководителя российской делегации на переговорах. Газета.Ru. 18 июня 2001. <http://www.ecodefense.ru>.
23. Кондратьев К.Я., Демичрян К.С. Климат Земли и «протокол Киото» // *Вестник РАН*. Т. 71. № 11, 2001.
24. Писаренко И.И. Перспективы увеличения депонирования углерода в лесах России // *Лесное хозяйство*. 2001. № 1.
25. *Green House Network: Climate Change to Cost \$300 Billion a Year*. <http://www.greenhousenet.org>.
26. *Climate Change, Forests and Forest Management. An overview by William M. Ciesla*. FAO, Forestry paper 126. Rome, 1995.
27. *Forest Resources of Europe, GOS, North America, Australia, Japan and New Zealand (industrialized temperate/boreal countries)*. UN-ECE/FAO Contribution to the Global Forest Resources Assessment 2000. Main Report. New York, Geneva: United Nations, 2000.
28. Сухих В.И. Лесной растительный покров Земли в прошлом, настоящем и будущем, с. 136-155. Глобальные экологические проблемы XXI века: Материалы научной конференции, посвященной 85-летию академика А.Л.Янишина. М.: Наука, 1998.
29. Филипчук А.Н., Моисеев Б.Н. Вклад лесов России в углеродный баланс планеты. Сборник научно-технической информации по лесному хозяйству // *Лесохозяйственная информация*. 2003. № 1.
30. Мелочников А.С., Кравицов С.З. Лес и глобальное изменение климата // *Лесное хозяйство*. 1997. № 5.
31. *Climate Change Action Plan Report*. Russian Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring. Russian Federation Climate Change Country Study (Cooperative Agreement DE-FCO2-93PO10118), Task 6, Final Report. Y.A. Izrael, S.I. Avdjushin, I.M. Nazarov, A.O. Kokorin, A.I. Nakhutin, A.F. Yakovlev, and Y.A. Anokhin. Principal Investigator Project Directors Yu.A. Izrael, S.I. Avdjushin. Moscow, March 1999. <http://ceeri.ecoinfo.ru>.

32. *Российско-Американский семинар по торговле квотами на выбросы парниковых газов. Москва, 1-2 июля 1998 г. <http://ceeri.ecoinfo.ru>.*
33. *Энергетический углеродный фонд. НИЭО, 2004. <http://www.carbonfund.ru>.*