

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
ИНСТИТУТ НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Б.Г. Федоров

РОССИЙСКИЙ УГЛЕРОДНЫЙ  
БАЛАНС

Москва  
Издательство «Научный Консультант»  
2017

УДК 559  
ББК 26.23  
Ф33

РЕЦЕНЗЕНТЫ:  
*С.Н. Бобылев,*

доктор экономических наук, профессор,  
зав. кафедрой Экономического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова;  
*В.М. Катцов,*  
доктор физико-математических наук,  
директор Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова.

Ф33    **Б.Г. Федоров. Российский углеродный баланс:** монография. – М.:  
Научный консультант. – 2017. – 82 с

ISBN 978-5-9909478-5-6

В монографии рассматривается широкий круг вопросов, связанных с расчетом углеродного баланса как фундаментальной основы, определяющей кругооборот углерода в природе. Понятие углеродного баланса является центральным при оценке изменения климата планеты и связанного с этим глобального потепления. Подробно исследованы основные источники поступления углерода в атмосферу в результате антропогенной деятельности и землепользования, а также процессы накопления углерода в природе и естественных резервуарах: атмосфере, биоте и океанах. Особое внимание уделено формированию текущего углеродного баланса России, включая оценки поступления углерода в атмосферу с индустриальными выбросами и от землепользования, а также поглощения углерода лесами и нелесными биомами. Сделан прогноз углеродного баланса России в XXI веке с учетом ожидаемых изменений в выбросах углерода и их поглощения. В результате этих исследований автор делает важный вывод, что территория России в течение всего текущего столетия будет характеризоваться значительным превышением поглощающей способности по сравнению с поступлением углерода от антропогенной деятельности. Это означает, что Россия поглощает из атмосферы выбросы зарубежных эмиттеров, что должно учитываться в исследованиях по глобальному потеплению и международных переговорных процессах по сохранению климата планеты.

Книга представляет интерес для научных работников и практиков, студентов, занимающихся проблемами глобального изменения климата.

УДК 559  
ББК 26.23

ISBN 978-5-9909478-5-6

© Федоров Б.Г., 2017  
© Оформление. Издательство «Научный консультант», 2017

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1. Методология составления глобального баланса углерода.....	8
1.1. Кругооборот углерода в природе.....	9
1.2. Составляющие глобального баланса.....	10
1.2.1. Доиндустриальный период.....	10
1.2.2. Антропогенное воздействие на углеродный цикл.....	11
1.2.3. Баланс углерода базового 1990-го года.....	14
1.2.4. Баланс 2005-2014 годов.....	15
1.3. Накопление углерода в природе и емкость естественных резервуаров.....	16
1.3.1. Атмосфера .....	16
1.3.2. Биота суши.....	18
1.3.3. Океан.....	20
1.4. Баланс выбросов и поглощений.....	21
2. Расчет «официального» баланса углерода для России.....	24
2.1. Выбросы парниковых газов и углерода в атмосферу.....	24
2.2. Сопоставление выбросов и поглощений.....	27
3. Прогноз углеродного баланса России в 21 веке.....	33
3.1. Расчет ожидаемых выбросов углерода на территории России (энергетика).....	33
3.2. Оценка поглощения и эмиссии углерода биотой России.....	42
3.2.1. Леса.....	42
3.2.2. Нелесные биомы.....	72
3.3. Итоговый баланс.....	74
4. Об исторической ответственности стран в климатических изменениях.....	77
Заключение.....	81



## ВВЕДЕНИЕ

Известно, что атмосфера Земли является естественным парниковым одеялом и согревает земную поверхность. Без атмосферы средняя температура близ земной поверхности была бы около  $-18^{\circ}\text{C}$  вместо ныне существующей  $+15^{\circ}\text{C}$  (среднее значение за период 1950-1980 гг.).

С началом индустриализации мирового хозяйства в атмосфере появился антропогенный углекислый газ как побочный продукт промышленных технологий, дополнительно согревающий Землю. Возник огромный энергетический поток, который вызывает ощутимые изменения в биосфере и в целом на Земле. Так, в Москве в 1862 г. средняя годовая температура была  $+1,2^{\circ}\text{C}$ . В последние десятилетия, особенно с 1970-х годов, климат Москвы становится теплее, растет среднегодовая температура воздуха: 1969-1978 –  $+4,8^{\circ}\text{C}$ , 1979-1988 –  $+5,0^{\circ}\text{C}$ , 1989-1998 –  $+5,7^{\circ}\text{C}$ , 1999-2008 –  $+6,3^{\circ}\text{C}$ <sup>1</sup>.

Климатические исследования надежно установили тесную связь между глобальным потеплением и кумулятивными выбросами парниковых газов. Человечество, осваивая средства для своей жизнедеятельности, перегружает биосферу, которая формировалась миллиарды лет. Энергообмен между человеком и природой достиг такого масштаба, что возникла проблема безопасности воспроизводства жизни. В условиях возможного социоприродного апокалипсиса перед человечеством стоит задача – изменить отношение к природопользованию, рационально организовать международное сотрудничество в этой области.

В XX веке возникло учение о ноосфере. Один из основателей этого учения – Пьер Тейяр де Шарден – под ноосферой понимал, в первую очередь, глобальное развитие «коллективного разума»<sup>2</sup>. В.И. Вернадский принял это понятие и писал: «Под влиянием научной мысли и человеческого труда биосфера переходит в новое состояние – ноосферу». Он считал, что коллективное мышление должно преоб-

<sup>1</sup> Тренд среднегодовой температуры (Архив), см. МГУ + ТСХА + ВВЦ.

<sup>2</sup> Тейяр де Шарден П. Феномен человека. – М. 1987.

разовать биосферу, управлять будущим, улучшив условия для жизни человека на планете<sup>3</sup>.

Одной из глобальных проблем, встающих сегодня перед всем человечеством, считается глобальное потепление климата: поглощение теплового излучения Земли парниковыми газами ведет к разогреву приземного слоя атмосферы и способствует глобальному потеплению. В 1988 году Всемирной метеорологической организацией и Программой ООН по окружающей среде была основана Межправительственная группа экспертов по изменению климата. Принципы Шардена-Вернадского реализуются человечеством, поэтому и в дальнейшем должны быть методологической основой обеспечения пути практического созидания ноосферы. Проблемы глобального потепления решаются на мировом уровне с учетом интересов всех стран. На 21-ой Конференции Сторон по изменению климата принято Парижское соглашение<sup>4</sup>. Документ закрепляет основные принципы действий всех государств на период с 2020 года. В соглашении поставлена цель – сдержать потепление на уровне менее  $+2^{\circ}\text{C}$ , а в идеале  $+1,5^{\circ}\text{C}$  к 2050 году. Исходя из этого, все страны, включая Россию, должны разработать собственные долгосрочные стратегии «низкоуглеродного» развития, планы по адаптации к изменениям климата и реализовывать соответствующие меры. По новому соглашению, наименее развитые и уязвимые к изменениям климата страны получат серьезную финансовую помощь: в 2020 году финансовая поддержка этих государств составит 100 млрд. долл., а дальше будет только увеличиваться.

В этих условиях стратегии развития стран предполагают участие в сдерживании выбросов парниковых газов при адаптации экономики к изменениям климата.

Соглашение реализуется в разделении ответственности Сторон конвенции за потепление климата, а именно – сокращение выбросов, когда все страны считаются эмиттерами углекислого газа. Это положение является реализацией научно обоснованного глобального баланса углерода и перманентно закрепляется процедурой консенсуса на всех Конференциях ООН по климату.

На основе подобной концепции Министерством природных ресурсов и экологии РФ разработана Климатическая доктрина Российской Федерации и распоряжением Президента утверждена 17 декабря

---

<sup>3</sup> Вернадский В.И. Научная мысль как планетное явление. – М.: Наука, 1991.-271 с. (Глава 1 §9).

<sup>4</sup> Конференция по изменению климата в Париже 2015 года.

2009 года. Правительству при проведении политики по вопросам, связанным с возможным глобальным и региональным изменением климата и его последствиями, предписано руководствоваться положениями Климатической доктрины. С этой целью предусматривается реализовать меры, обеспечивающие:

- повышение энергетической эффективности во всех секторах экономики;
- развитие использования возобновляемых и альтернативных источников энергии;
- сокращение рыночных диспропорций, реализацию мер финансовой и налоговой политики, стимулирующих снижение антропогенных выбросов парниковых газов;
- защиту и повышение качества поглотителей и накопителей парниковых газов, включая рациональное ведение лесного хозяйства, облесение и лесовозобновление на устойчивой основе<sup>5</sup>.

Наиболее рациональным путем для России считается адаптация народного хозяйства к климатическим изменениям<sup>6</sup>.

Смягчение ограничений экономического развития по эмиссии парниковых газов для России связано с расширением понятия национальной ответственности в проблеме борьбы с глобальным потеплением климата. Обязательства страны должны определяться не только из учета выбросов парниковых газов и их поглощения управляемыми лесами на ее территории (согласно Парижскому соглашению), но с полным учетом всех других поглотителей углекислого газа.

В этой связи одной из острейших и дискуссионных является проблема составления национального научно-обоснованного баланса потоков углекислого газа. Поэтому особенно актуальны сведения как о глобальных и национальных источниках углекислого газа, так и о глобальных и национальных стратегических ресурсах – его поглотителях и накопителях.

Ниже представлен разработанный автором национальный углеродный баланс, из которого следует, что Россия является нетто-поглотителем, а не эмиттером углекислого газа. В связи с этим необходимо вначале провести широкое обсуждение национального углеродного баланса и только после этого намечать упреждающие меры

<sup>5</sup> Климатическая доктрина Российской Федерации. Распоряжение Президента РФ от 17 декабря 2009 г. N 861-рп «О Климатической доктрине Российской Федерации».

<sup>6</sup> Порфириев Б. Н. Природа и экономика: риски взаимодействия: (эколого-экономические очерки); Под ред. В. В. Ивантера – М.: Анкил. 2011.

по «спасению» человечества и «дифференцировать ответственность» между странами. И если Россия намеревается принять участие в общей борьбе с потеплением климата, то она может делать это сугубо на добровольных началах, а не в жестких рамках международных обязательств. 

Работа была выполнена в Институте народнохозяйственного прогнозирования РАН. Преждевременная кончина Б.Г. Федорова в 2016 году не позволила ему завершить работу над книгой. Структуризация и редактирование книги выполнены доктором экономических наук Синяком Ю.В. и кандидатом экономических наук Гольденберг И.А. При этом полностью сохранено содержание текста и авторский стиль.

# 1. МЕТОДОЛОГИЯ СОСТАВЛЕНИЯ ГЛОБАЛЬНОГО БАЛАНСА УГЛЕРОДА

В атмосфере Земли имеются газы, которые действуют как «парник», задерживая лучи Солнца, отражающиеся от поверхности Земли. Как отмечено выше, без этого на Земле было бы слишком холодно для поддержания жизни. С началом индустриальной эпохи в атмосферу стали поступать отходы хозяйственной деятельности человека – парниковые газы, главным образом  $\text{CO}_2$ . Увеличение объемов парниковых газов вызывает дополнительное повышение температуры внутри «парникового одеяла». В результате сжигания угля, нефти и природного газа увеличивается концентрация этих газов в атмосфере. Другая причина роста объема парниковых газов – глобальная вырубка лесов, которая сокращает поглощение углекислого газа из атмосферы. Существует тесная корреляция между концентрацией парниковых газов в атмосфере и температурой приземного воздуха «парникового одеяла» (см. рис. 1.1). В течение более ста лет поступление парниковых газов в атмосферу происходило быстрее, чем их удаление из атмосферы естественными природными поглотителями.



Рис. 1.1. Динамика концентрации  $\text{CO}_2$  атмосферы и глобальной температуры приземного воздуха

Источник: *Почему нам нужны возобновляемые источники энергии?*  
<http://www.rea.org.ua/dieret/WHY/why.html>

## 1.1. Кругооборот углерода в природе

Круговорот атомов является одним из основных законов геохимии биосфера – законом биологического круговорота атомов. Живое вещество обеспечивает обмен атомов на Земле между органической и неорганической природой. Живое вещество занимает сравнительно очень малую толику массы земной коры. Но через тела биологических организмов в течение 13-ти лет проходит в десять раз больше углерода, чем его содержится в земной коре. Почти весь свободный кислород в биосфере образуется и поддерживается за счёт деятельности живых организмов.

*Глобальный углеродный баланс* это баланс потоков углерода в процессе круговорота углерода между резервуарами суши↔атмосфера↔океан. Эта картина, в общем-то, достаточно простая. Еще в 1771 г. английский естествоиспытатель Джозеф Пристли (с 1780 г. – почетный член Петербургской Академии наук) в принципе разрешил основную проблему углеродного цикла: перемещения углерода из атмосферы через растения и животных обратно в атмосферу. Но составление углеродного баланса чрезвычайно сложно в количественных оценках естественных и антропогенных потоков углерода в природе.

Различают быстрый и медленный углеродный цикл.

*Быстрый углеродный цикл* происходит при миграции углерода в системе суши↔атмосфера↔океан. Время оборота определяется объемом резервуара и мощностью обменных потоков и происходит на протяжении нескольких лет для атмосферы и десятилетий – тысячелетий для растительности, почвы, океана.

*Медленный, осадочный углеродный цикл* происходит при формировании запасов углерода. Миграция углерода происходит в процессе вулканических извержений, химической и эрозионной активности, осадконакопления. Процесс, связанный с накоплением углерода в горных породах, длится сотни миллионов лет.

Методология и расчеты потоков глобального углеродного баланса изложены в коллективной статье (Le Quéré et al., 2015) – специалисты 58 научных учреждений составили глобальный углеродный баланс<sup>1</sup>.

Глобальная антропогенная эмиссия углерода и его миграция в атмосфере, океане и суше находятся в равновесии:

---

<sup>1</sup> C. Le Quéré et al.: Global carbon budget 2015.

$$E_{FF} + E_{LUC} = G_{ATM} + S_{OCEAN} + S_{LAND},$$

где

$E_{FF}$  – выбросы в результате сжигания ископаемого топлива и производства цемента;

$E_{LUC}$  – выбросы в результате деятельности человека на земле – землепользования, изменений в землепользовании и лесопользовании;

$G_{ATM}$  – содержание углерода в атмосфере;

$S_{OCEAN}$  – поглощение углерода океаном;

$S_{LAND}$  – поглощение углерода биотой суши.

## 1.2. Составляющие глобального баланса

### 1.2.1. Доиндустриальный период

Миграция углерода в природе до индустриализации мирового хозяйства отображена на рис. 1.2.

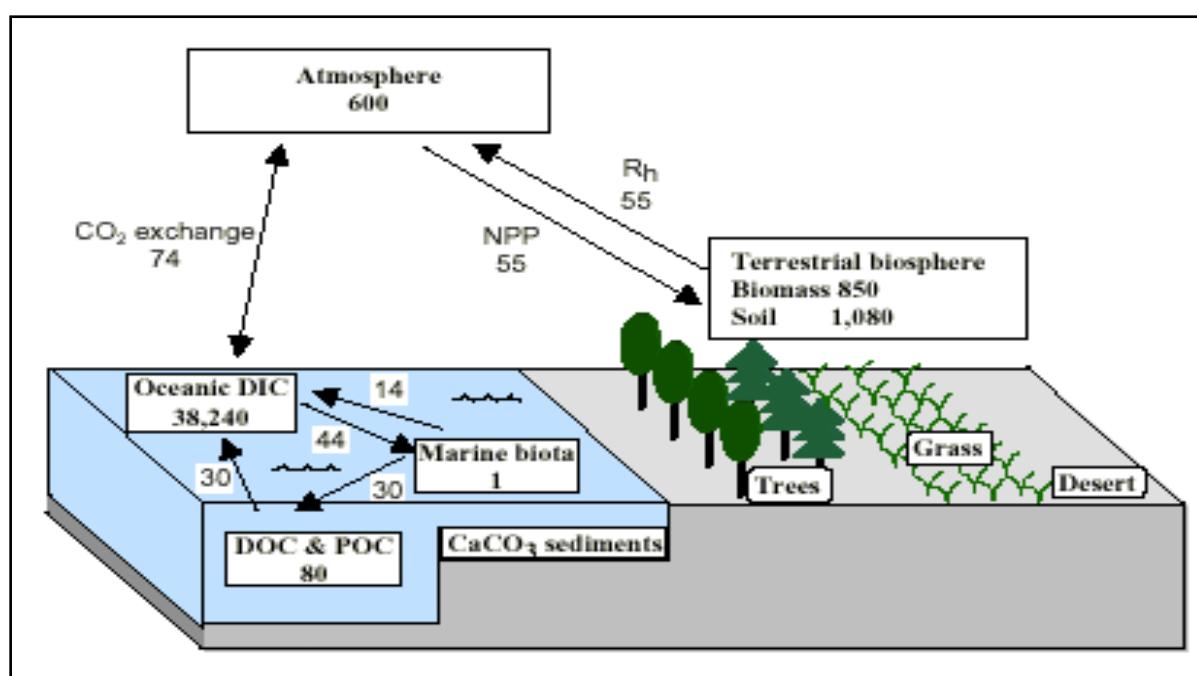


Рис. 1.2. Схема глобальных потоков углерода в доиндустриальный период и их запасы, ГтС<sup>2</sup>

Условные обозначения к рис. 1.2:

DIC – dissolved inorganic compounds: растворенные неорганические соединения;

DOC – dissolved organic compounds: растворенные органические

<sup>2</sup> Величины углеродных ёмкостей имеют размерность Гт = 1\*10<sup>9</sup> т, потоков – Гт / год.

соединения;

POC – particulate organic compounds: взвешенные органические соединения;

NPP – net primary production: чистая первичная продукция;

$R_h$  – heterotrophic respiration: гетеротрофное дыхание<sup>3</sup>.

При общем запасе углерода, участвующего в глобальном круговороте, с общей массой 40851 ГтС, основная ее часть – 38321 ГтС (93,8%) сосредоточена в океане; из них 38240 ГтС (99,8%) – это углерод в составе растворенных неорганических соединений. Биомасса наземных экосистем содержит 850 ГтС (2,1%); в почве находится примерно столько же – 1080 ГтС (2,6%).

Отметим важнейшие характеристики глобального цикла углерода, составленного для доиндустриального периода: Атмосфера содержала 600 ГтС (1,5% общего глобального запаса). Концентрация CO<sub>2</sub> в 1750 году оценивается в 278 молекул CO<sub>2</sub> на миллион молекул сухого воздуха (ppm). Потоки атмосфера↔оcean были уравновешены и оценивались в размере 74 ГтС/год (57% общего природного объема потоков). Сбалансированы были также потоки атмосфера↔биота, которые оценивались в 55 ГтС/год (43% общего природного объема потоков). Время оборота CO<sub>2</sub> в атмосфере составляло около пяти лет (600 ГтС : (74 ГтС/год + 55 ГтС/год)).

На этой картине все потоки в системе суши↔атмосфера↔оcean уравновешены, источники эмиссии CO<sub>2</sub> и поглотители являются естественными. Состояние системы, когда потоки уравновешены, круговорот замкнут и отсутствуют экзогенные воздействия, условились считать квазистационарным.

### **1.2.2. Антропогенное воздействие на углеродный цикл**

В начале индустриализации мирового хозяйства повышение концентрации углекислого газа в атмосфере было вызвано эмиссией углерода в атмосферу от вырубки леса и других способов хозяйственного использования земель. Примерно с 1920-х годов выбросы CO<sub>2</sub> от сгорания ископаемого топлива стали доминантным источником антропогенной эмиссии в атмосферу. Антропогенная эмиссия приводит к нарушению естественного, природного углеродного цикла между атмосферой, океаном и земными хранилищами.

<sup>3</sup> Источник: Brovkin V., Bendtsen J., Claussen M. *Et al. Carbon cycle, vegetation and climatic dynamics in the Holocene: Experiments with the CLIMBER-2 model* // Global Biogeochem. Cycles. 2002. Vol. 16. № 4. P. 1139.

Индустриальный  $\text{CO}_2$  появился как побочный продукт промышленных технологий. Деятельность людей привнесла изменения в цикл углерода. Люди стали всё в возрастающем количестве сжигать ископаемое топливо – уголь, нефть, газ. Значительные изменения произошли в землепользовании: возводились города, строились дороги, вырубались леса, осушались болота, затапливались земли, распахивалась целина и т.п.

Динамика и структура выбросов по видам топлива и от переработки минерального сырья показана на рис. 1.3.

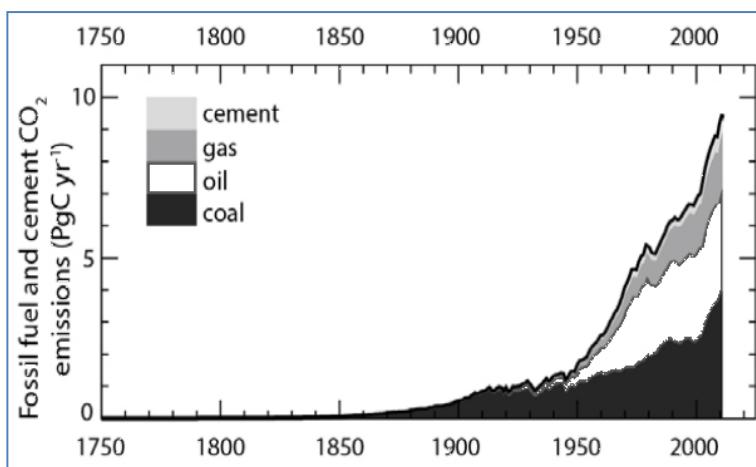


Рис. 1.3. Индустриальные выбросы  $\text{CO}_2$

Источник: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis Chapter 6 IPCC WGI Fifth Assessment Report 2013.*

Всего за период 1870-2013 гг. суммарное поступление антропогенного  $\text{CO}_2$  в атмосферу составило 535 ГтС: выбросы в результате сжигания ископаемого топлива и переработки минерального сырья – 390 ГтС (73%), выбросы в результате деятельности человека на земле (землепользования, изменений в землепользовании и лесопользовании) – 145 ГтС (27%). Концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере в 1750 г. составляла 278 ppm; величины выше 400 ppm зафиксированы впервые на станции Мауна-Лоа в мае 2013 г.

Глобальный поток антропогенного  $\text{CO}_2$  составляется из суммы выбросов стран мира. Антропогенный  $\text{CO}_2$  мигрирует в системе суши↔атмосфера↔океан по тем же законам, что и природный  $\text{CO}_2$ . Из атмосферы он абсорбируется океаном, другая его часть поглощается биомами суши. Но динамика поступления в атмосферу парниковых газов такова, что соотношение потоков системы, существовавшее в доиндустриальный период, меняется, и их распределение в системе суши↔атмосфера↔океан – иное, чем в начале индустриализации мирового хозяйства.

Показатель удельных выбросов при сжигании топлива и переработке минерального сырья фигурирует во всех социально-экономических международных документах – в 2010 г. в России он составлял 3,0 тС/чел. Но ни в одном международном документе не применяется показатель – обеспеченность жителя страны углеродопоглощающими ресурсами. Этот индекс имеет такие же права, как и удельные выбросы, при обсуждении обязанностей стран перед человечеством в «борьбе» с потеплением климата.

Только биомы России обеспечивали в 2010 г. каждому жителю поглощение углерода в объеме 5,8 тС/чел. Сравним это со средней обеспеченностью жителя земли в 2010 г. подобного рода ресурсом (табл. 1.1). Обеспеченность жителя планеты поглощающими ресурсами суши и океана составила – 0,7 тС/чел., что на порядок ниже обеспеченности жителя России (7,4 тС/чел.); поглощение углерода биомами суши оценивается в 0,4 тС/чел., что, опять же, показывает: житель России более чем на порядок ( $5,8 \text{ тС/чел.} : 0,4 \text{ тС/чел.}$ ) лучше обеспечен углеродопоглощающими ресурсами, чем среднестатистический житель земли.

Таблица 1.1  
Показатели выбросов и поглощений в 2010 г.

	Мир		Россия	
Численность населения	6,8 млрд. чел.		142,9 млн. чел.	
	Всего, ГтС	На одного жителя, тС/чел.	Всего, МтС	На одного жителя, тС/чел.
Выбросы углерода от энергетики и дефорестации	8,8	1,3	650	4,6
в том числе индустриальные (энергетика и производство цемента)	7,7	1,1	420	3,0
Поглощение углерода (суша + океан)	4,7	0,7	1050	7,4
в том числе, суши	2,4	0,4	830	5,8

### 1.2.3. Баланс углерода базового 1990-го года

За последние десятилетия деятельность человека обрела глобальные масштабы и привела к ощутимым изменениям климата и состояния биосфера. Глобальные взаимодействия человека и биосфера приводят к необходимости рассматривать сложившуюся систему в ее единстве<sup>4</sup>.

Ведущим современным фактором потепления климата считается увеличение парникового воздействия на климат. В свою очередь «толщина парникового одеяла» определяется парниковыми газами, находящимися в атмосфере. Увеличение объема парниковых газов в атмосфере определяется не только выбросами в результате хозяйственной деятельности человека, но и планетарной мощностью поглотителей углерода.

По материалам Глобального баланса 1990 г. построен рис. 1.4, отображающий динамику антропогенных потоков CO<sub>2</sub>.

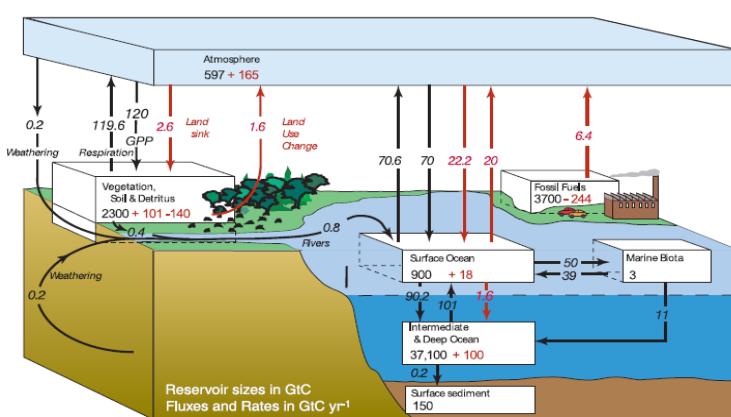


Рис. 1.4. Потоки и резервуары накопления углерода базового (1990) года, ГтС

Источник: Четвертый оценочный доклад МГЭИК. 2007.

На рис. 1.4 показаны потоки – естественная циркуляция природного углерода на Земле (черные цифры и стрелки – потоки и хранилища) и миграция антропогенного углерода в базовом 1990 году (красные цифры и стрелки – потоки и места накоплений).

В сравнении с квазистационарным состоянием системы (рис. 1.2) эта ситуация (рис. 1.4) уже другая. В замкнутую систему суши↔атмосфера↔океан начал поступать антропогенный CO<sub>2</sub>. К 1990 г. атмосфера приобрела, в дополнение к имевшемуся естественному объему (597 ГтС), еще и антропогенный CO<sub>2</sub> объемом 165 ГтС, кото-

<sup>4</sup> Как указывал В.И. Вернадский: “Биосфера XX столетия превращается в ноосферу”. Вернадский В. И. Биосфера и ноосфера. Айрис-Пресс. 2004. §23.

рый, таким образом, составил почти четверть карбонного пространства в атмосфере.

Проанализируем показатели глобального антропогенного баланса  $\text{CO}_2$  базового 1990 г. (рис. 1.4). В базовом году глобальный антропогенный поток равнялся 8,0 ГтС/год. Он составлял 6,7%  $[(6,4 \text{ ГтС/год} + 1,6 \text{ ГтС/год}) / (70,6 \text{ ГтС/год} + 119,6 \text{ ГтС/год})]$  от общего, естественного потока  $\text{CO}_2$  в атмосферу из океана и суши, и состоял из выбросов  $\text{CO}_2$ , в основном, при сжигании топлива (6,4 ГтС/год) и эмиссии, связанной с изменением землепользования (Land Use Change) в объеме 1,6 ГтС/год. Другие составляющие баланса – поглощение сушей (Land Sink) в объеме 2,6 ГтС/год и результирующий поток из атмосферы в океан в объеме 2,2 ГтС/год (22,2 ГтС/год – 20,0 ГтС/год). В итоге атмосфера приобрела еще 3,2 ГтС/год (8,0 ГтС/год – 2,6 ГтС/год – 2,2 ГтС/год), что привело к росту концентрации углерода в атмосфере до 343 ppm.

#### 1.2.4. Баланс 2005-2014 годов

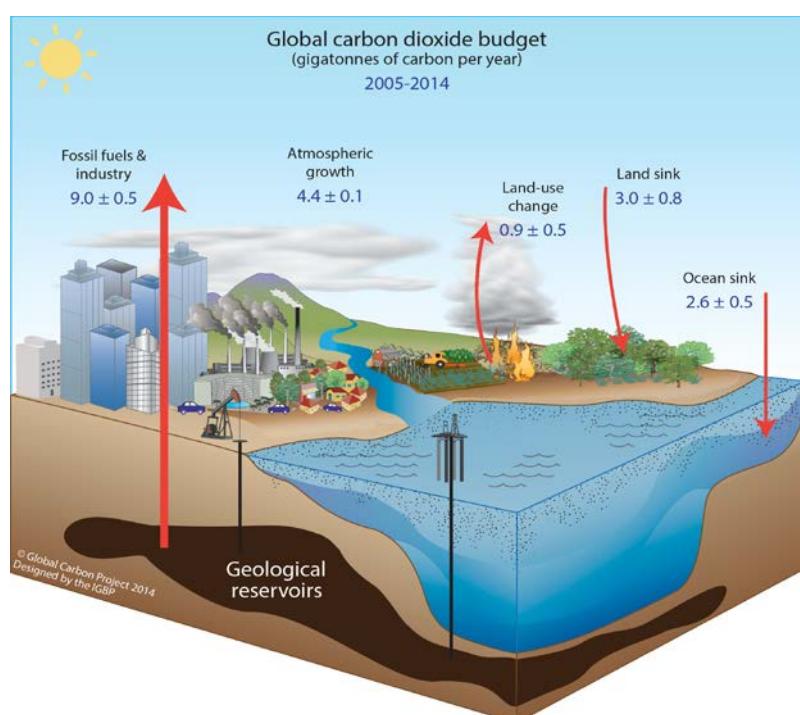


Рис. 1.5. Резервуары и антропогенные потоки  $\text{CO}_2$ , ГтС

Источник: C. Le Quéré et al.: Global Carbon Budget 2015.

За время с базового 1990 года промышленно-транспортные выбросы ( $E_{\text{FF}}$  – Fossil fuel and industry) и эмиссия в результате изменения землепользования ( $E_{\text{LUC}}$  – Net land-use change) увеличились еще на 1,9 ГтС/год  $[(9,0+0,9)-(6,4+1,6)]$ , или на 24% (1,9:8,0); поступление углерода в атмосферу ( $G_{\text{ATM}}$  – Atmospheric growth) возросло на 1,3

ГтС/год (4,4-3,1) или на 42% (1,3:3,1), поглощение углерода биотой суши ( $S_{LAND}$  – Land sink) увеличилось на 0,4 ГтС/год (3,0-2,6) или на 15% (0,4:2,6), океаном ( $S_{OCEAN}$  – Ocean sink) – также увеличилось на 0,4 ГтС/год (2,6-2,2) или на 14% (0,4:2,2). Концентрация  $CO_2$  в атмосфере в 2015 году достигла 400 ppm.

### **1.3. Накопление углерода в природе и емкость естественных резервуаров**

#### **1.3.1. Атмосфера**

Атмосферой принято считать ту область вокруг Земли, в которой газовая среда вращается вместе с Землей как единое целое. Граница атмосферы условно проводится по высоте в 1300 км.

К естественным источникам  $CO_2$  в атмосфере относятся океан, вулканические извержения, фотосинтезное дыхание растений и дыхание животного мира. Также  $CO_2$  выделяется некоторыми микроорганизмами в результате процесса брожения, клеточного дыхания и в процессе перегнивания органических останков в воздухе.

В обычном состоянии естественные источники находятся в равновесии с удаляющими  $CO_2$  из атмосферы потоками в результате растворения  $CO_2$  в морской воде и удаления его из воздуха в процессе фотосинтеза.

К антропогенным источникам эмиссии  $CO_2$  в атмосферу относятся: сжигание ископаемых и неископаемых энергоносителей для получения тепла, производства электроэнергии, перевозки людей и грузов. Индустриальные выбросы  $CO_2$  относятся также к некоторым видам промышленной активности, таким как переработка минерального сырья и утилизация газов путём их сжигания в факелях, переработка отходов.

Атмосферная концентрация  $CO_2$  начала измеряться на обсерватории Мауна-Лоа, Гавайи (Рис. 1.6). График Килинга описывает изменения концентрации атмосферного углекислого газа с 1958 года. Назван по имени Чарльза Килинга, под руководством которого были начаты непрерывные измерения. Полученные в обсерватории на Мауна-Лоа данные показывают устойчивый рост среднегодовой концентрации атмосферного  $CO_2$  с 315 ppm (0,0315%) в 1958 году до 403,94 ppm (0,0404%) в мае 2015 года. Эти наблюдения стали первым научным подтверждением антропогенного вклада в современное изменение климата. График Килинга также демонстрирует цикличес-

ские изменения концентрации  $\text{CO}_2$  амплитудой 5 ppm и периодом в один год. Ежегодные колебания концентрации атмосферной углекислоты определяются, главным образом, растительностью средних ( $40^{\circ}$ - $70^{\circ}$ ) широт Северного полушария. Зигзагообразное движение линии внутригодовой изменчивости обусловлено снижением уровня  $\text{CO}_2$  летом, когда растения усваивают углерод, и увеличением уровня  $\text{CO}_2$  зимой, когда листья отмирают.

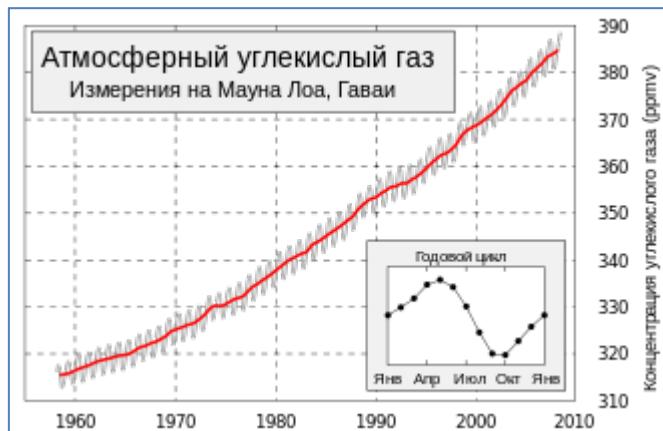


Рис. 1.6. График Коннинга: концентрации атмосферного  $\text{CO}_2$ , на основе наблюдений в обсерватории Мауна Лоа (Mauna Loa Observatory), Гавайи

Содержание  $\text{CO}_2$  в атмосфере,  $G_{\text{АТМ}}$ , обычно измеряют в виде концентрации, которая пересчитывается в единицы углеродной массы, ГтС/год, через соотношение 1 ppm=2,120 ГтС. При этом допускается, что вся атмосфера хорошо перемешивается в течение года.

Содержание  $\text{CO}_2$  в атмосфере постоянно увеличивалось с 1,7 ГтС/год в 1960-х годах до 4,4 ГтС/год в среднем в 2005-2014 гг. Погрешность величин  $G_{\text{АТМ}}$  наименьшая среди других составляющих баланса.

Количественную оценку глобальных выбросов,  $E_{\text{FF}}$ , получают путем суммирования соответствующих данных Национальных сообщений. Но общее количество выбросов не равно сумме выбросов всех стран. Трудности учета связаны с тем, что не ясно – где и когда происходит эмиссия. В частности это связано с использованием бункерного топлива в международных водах, особенностями учета импорта-экспорта товаров, при производстве которых использовались углеродные ресурсы. Но разброс показателей при этом меньше разброса величин других компонентов баланса и не должен являться предметом дискуссии.

В настоящее время наблюдения за содержанием в атмосфере  $\text{CO}_2$  и других удерживающих тепло газов охватывают станции более чем 50 стран, включая станции высоко в Альпах, Андах и Гималаях, а также в Арктике, Антарктике и южной части Тихого океана<sup>5</sup>.

Перемешивание воздуха в тропосфере происходит довольно быстро. Пассаты в средних широтах в обоих полушариях огибают Землю в среднем примерно за один месяц; вертикальное перемещение между земной поверхностью и тропопаузой также происходит в течение месяца. Перемешивание в направлении с севера на юг в пределах полушария происходит приблизительно за три месяца, а эффективный обмен между двумя полушариями осуществляется примерно за год. В северном полушарии концентрация  $\text{CO}_2$  выше, чем в южном. Различие концентраций  $\text{CO}_2$  в северном и в южном полушариях вызвано, вероятно, тем, что около 90% источников промышленных выбросов расположено в северном полушарии. За последние десятилетия эта разница увеличилась, поскольку потребление органического топлива также возросло.

### 1.3.2. Биота суши

Углерод, содержащийся в виде  $\text{CO}_2$  в атмосфере, служит «сырьем» для фотосинтеза растений. В ходе фотосинтеза растения растут, используя энергию света, разлагают воду, потребляют  $\text{CO}_2$  и синтезируют органическое вещество. Кислород, который получается при разложении воды, выделяется во внешнюю среду как продукт обмена веществ. Биосфера суши удерживает органический углерод в растениях и почве; часть его надолго захоранивается в почве, другая доля в процессе разложения органики возвращается в атмосферу. Мировые запасы углерода в биоте суши показаны в табл. 1.2.

Биота почвы содержит в четыре с лишним раза больше углерода, чем растительность. Удельная величина запасов углерода биоты суши равна 164 тС/га, из них растительности – 30 тС/га; на одного жителя земли приходится 335 тС этих запасов (2477 ГтС:7,4 млрд. человек), из них 63 тС – в растительности.

Природная биота способна с высокой степенью надежности поддерживать пригодное для жизни состояние окружающей среды. Динамика биоты односторонняя – она, как утверждают эксперты Экологической программы ЮНЕП, не истощается – за период с 1982

---

<sup>5</sup> Пресс-релиз ВМО № 991.

по 1999 гг. биосфера планеты «заметно озеленилась». «Количество энергии, производимое растениями путем фотосинтеза – минус то, что они используют для дыхания, – увеличилось в мире примерно на 6% за два последних десятилетия XX столетия»<sup>6</sup>.

Таблица 1.2

Биота суши: углерод растительности и почвы на глубину до 1 м.

Биомы	Площадь, млрд. га	Запасы углерода, млрд. тС			Удельные запасы, тС/га
		Растительность	Почва	Всего	
Тропические леса	1,76	212	216	428	243
Умеренные леса	1,04	59	100	159	153
Бореальные леса	1,37	88	471	559	408
Саванна	2,25	66	264	330	147
Степи	1,25	9	295	304	243
Пустыни и полупустыни	4,55	8	191	199	44
Тундра	0,95	6	121	127	134
Болота	0,35	15	225	240	686
Пахотные земли	1,60	3	128	131	82
Итого	15,12	466	2011	2477	164

Источник: *Land Use, Land-Use Change and Forestry. IPCC, 2000 - Robert T. Watson, Ian R. Noble, Bert Bolin, N. H. Ravindranath, David J. Verardo and David J. Dokken (Eds.) Cambridge University Press, UK. pp 375.*

При настоящей изученности биоты суши процесс поглощения количественно не оценен. В этом случае количественная оценка поглощения  $\text{CO}_2$  биотой определяется по правилу замыкания баланса – количественно неизвестная величина составляющей баланса вычисляется по данным количественно измеренных компонентов баланса<sup>7</sup>:

$$S_{\text{LAND}} = E_{\text{FF}} + E_{\text{LUC}} - (G_{\text{ATM}} + S_{\text{OCEAN}})$$

Динамика поглощения  $\text{CO}_2$  глобальной биотой отражена на рис. 1.7.

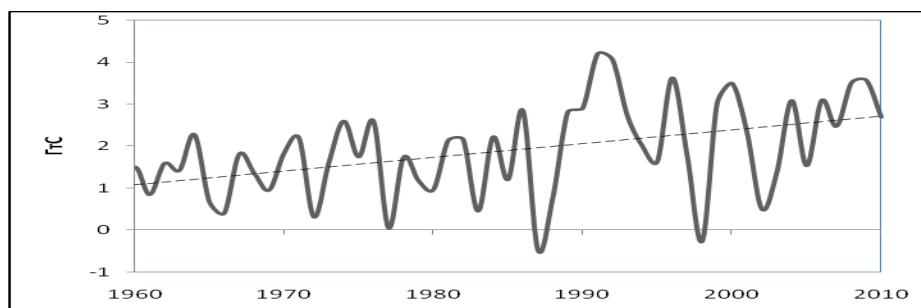


Рис. 1.7. Глобальное поглощение углекислого газа биотой суши, ГтС

Источник: *Global carbon budget 2012. Tyndall Centre for Climate Change Research.*

<sup>6</sup> Мир становится в прямом смысле зеленее. <http://vitusltd.ru/blog/ekologija/1278>

<sup>7</sup> См. формулу баланса в разделе 1.1.

Из анализа рис. 1.7. следует, что в период с 1959 по 2010 гг. значительно менялись объемы поглощения  $\text{CO}_2$  биотой: от отрицательной величины (-0,47 ГтС в 1987 г.) до максимальной 4,2 ГтС в 1991 г.; среднегодовой прирост за этот период равнялся 0,03 ГтС/год [(2,7 ГтС-1,05 ГтС):(2010-1959)] или 2,9% ежегодно (0,03 ГтС/год:1,05 ГтС/год).

### 1.3.3. Океан

Мировой океан – колоссальный водный резервуар. В океане углерод находится преимущественно в качестве растворенного неорганического углерода (38 000 ГтС). В верхних слоях океана растворено большое количество  $\text{CO}_2$ , находящегося в равновесии с атмосферным. Кроме того, в океане содержится растворенный органический углерод (700 ГтС). Морская биота, преимущественно фитопланктон и другие микроорганизмы, имеет в своем составе небольшое количество органического углерода (3 ГтС).

В квазистационарном состоянии потоки в системе океан $\leftrightarrow$ атмосфера были в равновесии и составляли 74 ГтС/год. Потепление климата так затронуло процессы углеродного цикла, что оно, вызвав увеличение содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере, интенсифицировало поглощение  $\text{CO}_2$  океаном и усилило процесс окисления океана. Антропогенное окисление океана – это прямое следствие повышения концентраций  $\text{CO}_2$  в воздухе. С начала промышленной эры до настоящего времени океаны поглотили из атмосферы приблизительно 155 ГтС, что соответствует 0,4% (155 ГтС:39500 ГтС) содержания углерода в толще океана. Этот естественный процесс поглощения значительно уменьшил уровни парниковых газов в атмосфере и минимизировал некоторые воздействия глобального потепления.

Поглощение  $\text{CO}_2$  океаном оказывает значительное влияние на химию морской воды. Средний pH поверхностных вод океана уже упал приблизительно на 0,1 с начала промышленной революции, а именно, с уровня порядка 8,2 до 8,1.

В океанические воды за короткое время поступило большое количество  $\text{CO}_2$  и это нарушило кислотно-щелочной баланс. Подобного рода темпы повышения кислотности океана не наблюдались. Динамика поглощения  $\text{CO}_2$  океаном показана на рис. 1.8.

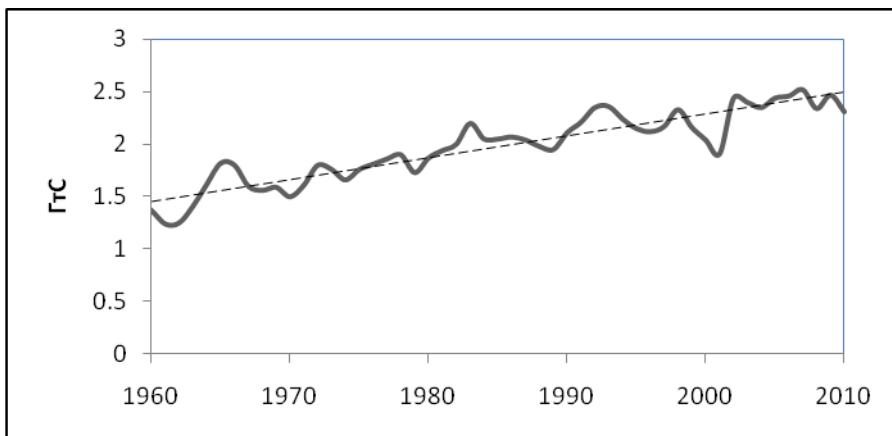


Рис. 1.8. Глобальное поглощение углекислого газа океаном

Источник: *Global carbon budget 2012. Tyndall Centre for Climate Change Research.*

Поглощение углерода океаном перманентно росло со скоростью 0,02 ГтС/год  $[(2,5-1,5):(2010-1962)]$  или на 1,3% ежегодно (0,02 ГтС/год:1,5 ГтС/год).

#### 1.4. Баланс выбросов и поглощений

В 2013 году выбросы от сжигания ископаемого топлива и переработки минерального сырья увеличились на 2,3%; рост мирового валового внутреннего продукта в этом же году составил 3,3%. Анализ диаграммы 1.9 показывает, что за последние шесть десятилетий годовые выбросы CO<sub>2</sub> увеличились в 4 раза, в то же время поглощение CO<sub>2</sub> биотой суши и океаном отставало и выросло в 3 раза. Это означает, что нарастающие потоки антропогенной эмиссии задерживаются в атмосфере.

Итоговый баланс суммарных с 1870 по 2014 гг. глобальных антропогенных потоков выглядит следующим образом<sup>8</sup>:

- объём выбросов при сжигании органического топлива и переработке минерального сырья составил 400 ГтС (73% объема антропогенной эмиссии);
- эмиссия при изменении землепользования равна 145 ГтС (27%);
- поглощение антропогенных выбросов океаном составило 155 ГтС (28% накопленного объема антропогенной эмиссии);
- биотой суши усвоено 160 ГтС (29%);
- в атмосфере осталось 230 ГтС (43% суммарного объема антропогенных выбросов).

<sup>8</sup> C. Le Quéré et al.: *Global carbon budget 2015.*

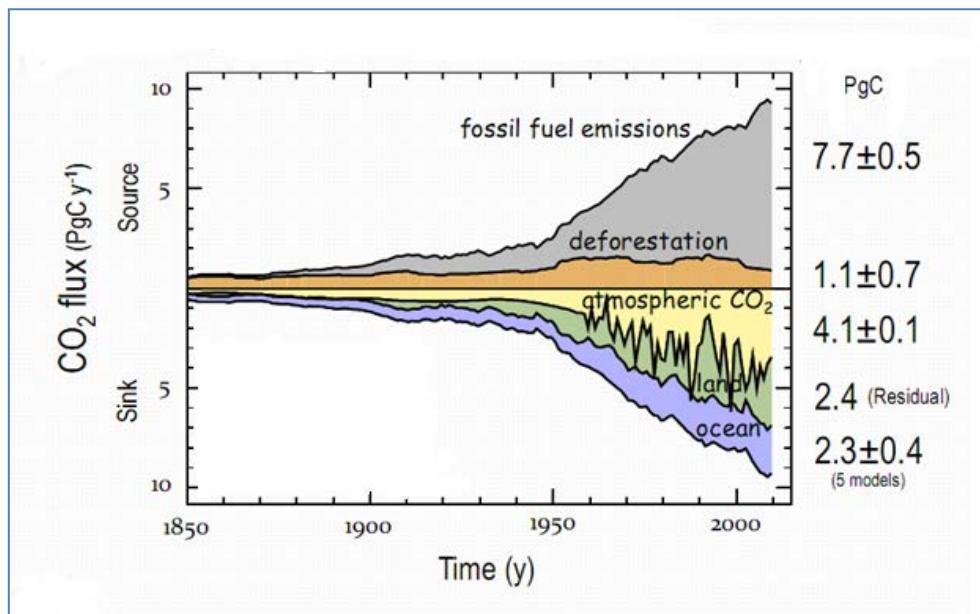


Рис. 1.9. Динамика глобальных антропогенных эмиттеров и поглотителей углекислого газа, ГтС / год

Источник: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis Chapter 6 IPCC WGI Fifth Assessment Report. 2013.*

Таким образом, количество  $\text{CO}_2$  в атмосфере за время с начала индустриализации мирового хозяйства увеличилось, что привело к соответствующему увеличению концентрации  $\text{CO}_2$  на 44%: с 278 ppm до 400 ppm.

Сведём в таблицу 1.3 данные диаграмм о годовых и суммарных глобальных антропогенных потоках  $\text{CO}_2$ .

Таблица 1.3  
Динамика выбросов в атмосферу и потоки  $\text{CO}_2$  в биоту суши, океан и накопление в атмосфере

Показатели		Выбросы		Поглощение		Накопление в атмосфере
		Индустриаль-ные выбросы	Изменение землепользо-вания	Суша	Океан	
1990-е гг.	ГтС/год %	6,4 ± 0,3 80	1,6 ± 0,5 20	2,7 ± 0,7 34	2,2 ± 0,4 27	3,1 ± 0,1 39
2014 г.	ГтС/год %	9,8 ± 0,5 90	1,1 ± 0,5 10	4,1 ± 0,9 37	2,9 ± 0,5 27	3,9 ± 0,2 36
Всего с 1870 по 2014 г.	ГтС %	400 ± 20 73	145 ± 65 27	160 ± 60 29	155 ± 20 28	230 ± 5 43

Движение глобальных потоков выбросов  $\text{CO}_2$  при сжигании органического топлива и переработке минерального сырья, а также эмиссии газов в результате изменения землепользования (рубки леса и пожаров), и поглощение углерода биотой суши и океаном с 1960 по 2010 гг. показаны на рис. 1.10.

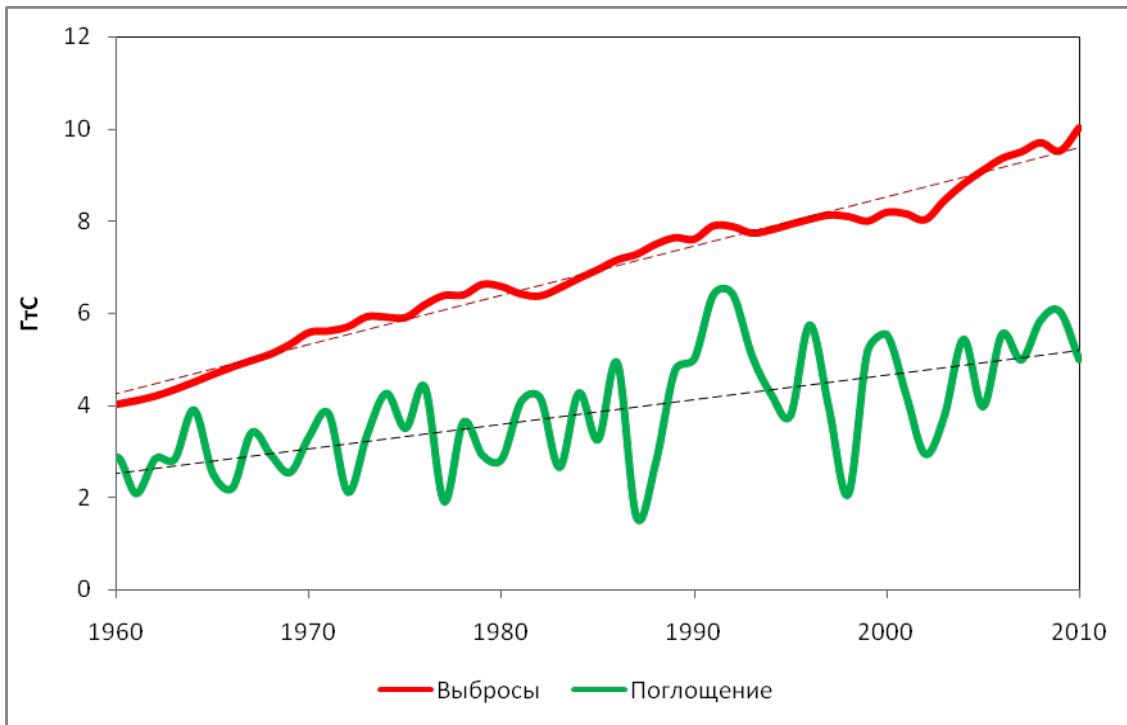


Рис. 1.10. Динамика глобальных выбросов и поглощений

Источник: *Global carbon budget 2012. Tyndall Centre for Climate Change Research.*

На рис. 1.10 четко обозначаются расходящиеся векторы процессов эмиссии и поглощения. Объём дополнительных выбросов за это время (1959-2010 гг.) составил 280 ГтС, что в два с лишним раза превышает объём дополнительного поглощения – 128 ГтС. При этом темпы роста выбросов почти в два раза опережают таковые для поглощения.

Данные этой диаграммы по существу определяют, что атмосфера перманентно нагружается углекислым газом, и, в целях снижения парникового нагрева/перегрева атмосферы, его выбросы требуется сокращать. Распределение обязательств по сокращению выбросов  $\text{CO}_2$  должно осуществляться в ходе консенсусного принятия решений на уровне ООН с учетом текущих и накопленных выбросов.

## 2. РАСЧЕТ «ОФИЦИАЛЬНОГО» БАЛАНСА УГЛЕРОДА ДЛЯ РОССИИ

### 2.1. Выбросы парниковых газов и углерода в атмосферу

Впервые оценка выбросов парниковых газов была составлена при подготовке национальных данных к Киотскому протоколу, который установил количественные обязательства по снижению выбросов парниковых газов (бюджеты выбросов) для промышленно развитых стран относительно базового года. Как страна с переходной экономикой, Россия, в соответствии со статьей 3.5 Протокола, выбрала в качестве базового года 1990 г. В 1990 г. выбросы парниковых газов были самыми большими в истории Советского Союза. Таким образом, выбор этого года в качестве базового представлялся вполне логичным, так как в этом случае Россия получила самый большой доступный ей бюджет выбросов.

В Первом Национальном Сообщении для Рамочной конвенции ООН по изменению климата, которое было опубликовано в 1995 г., приведена оценка выбросов парниковых газов в 1990 г. в России: 3039 млн. т СО<sub>2</sub>-эквивалента (Мт СО<sub>2</sub>-экв.)<sup>1</sup>. Основным парниковым газом является углекислый газ. Согласно приведенной в указанном документе оценке, выбросы углекислого газа в 1990 г. были равны 2372 Мт СО<sub>2</sub>, что составило 78% общего объема выбросов парниковых газов (табл. 2.1).

*Индустриальные выбросы* – это газообразные отходы сжигания ископаемого топлива при выработке электроэнергии и промышленных технологий переработки минерального сырья. Динамика индустриальных выбросов российских производителей (без учета землепользования и лесного хозяйства) показана на рис. 2.1. В период 1990-1998 гг. в РФ уменьшение выбросов связано с общей экономической ситуацией в стране. В 1999-2008 гг. в период роста экономики наблюдался устойчивый рост выбросов; некоторый спад выбросов в 2009 г. связан с экономическим кризисом. В 2010-2011 гг. вновь возобновился рост выбросов.

---

<sup>1</sup> СО<sub>2</sub>-эквивалент – условная единица измерения потенциала глобального потепления от воздействия парниковых газов. Применяется для сравнения излучающей способности парниковых газов с диоксидом углерода. Эквивалент диоксида углерода рассчитывается путем умножения массы данного парникового газа на его потенциал глобального потепления. Для углекислого газа величина СО<sub>2</sub>-эквивалента равна 1, для метана (CH<sub>4</sub>) – 21, для закиси азота (N<sub>2</sub>O) – 310, для гидрофторуглеродов серы (SF<sub>6</sub>) – 23900.

Таблица 2.1  
Агрегированные данные по выбросам парниковых газов в России за 1990 г. (базовый год) и 1994 г., Мт СО<sub>2</sub>-экв. в год

Компоненты парниковых газов	1990	1994
Углекислый газ, СО <sub>2</sub>	2372	1660
Метан, СН <sub>4</sub>	557	412
Закись азота, N <sub>2</sub> O	70	40
Гидрофтоглероды, перфтоглероды, SF <sub>6</sub>	40	40
Суммарный выброс	3039	2152

Источник: Первое 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. 1995 (rusncc1.pdf).

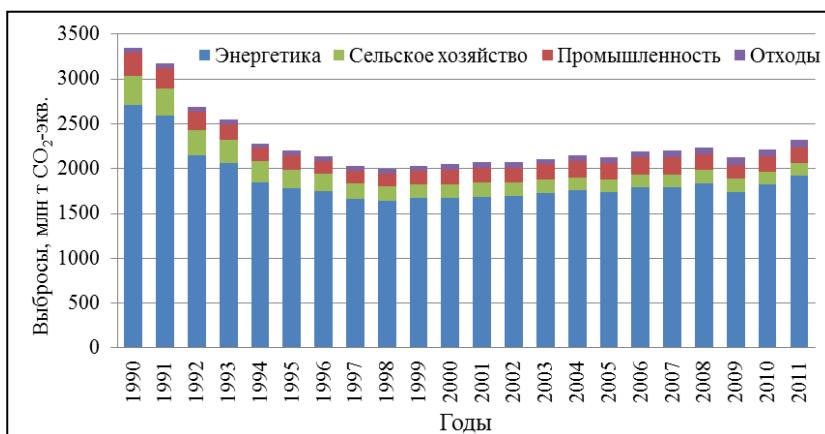


Рис. 2.1. Динамика выбросов парниковых газов в РФ в 1990-2011 гг., без учета землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства

Источник: Шестое национальное сообщение Российской Федерации. 2013. Рис. Р.1. и Табл. III. 1).

Термины «энергетика», «энергетический сектор» употребляются здесь в том смысле, какой они имеют в Киотском протоколе (Приложение А) и документах МГЭИК<sup>2</sup>. К энергетическому сектору относится сжигание всех видов ископаемого топлива, а также процессы, приводящие к утечкам и технологическим выбросам топливных продуктов в атмосферу, независимо от того, в каких отраслях экономики они происходят. Так в 2011 г. из общих выбросов объемом 2 321 Мт СО<sub>2</sub>-экв./год<sup>2</sup> выбросы энергетики составили 1 920 Мт СО<sub>2</sub>-экв/год, или 82,7%. Доля СО<sub>2</sub> от сектора «энергетика» в совокупном выбросе

<sup>2</sup> МГЭИК – Межправительственная группа экспертов по изменению климата.

парниковых газов (СО<sub>2</sub>-экв.) в 2011 г. (без учета сектора «Землепользование, изменения в землепользовании и лесное хозяйство») составила 72,6%.

Таблица 2.2  
Структура индустриальных выбросов СО<sub>2</sub> в энергетике, промышленности и технологические выбросы и утечки, Мт СО<sub>2</sub>/год

Годы	1990	1998	2000	2010
Сжигание топлива	2 264	1 311	1 320	1 412
%	90,6	91,4	89,0	86,7
Переработка минерального сырья	84	31	38	47
%	3,4	2,1	2,6	2,9
Химическая промышленность	19	12	15	17
%	0,7	0,8	1,0	1,0
Металлургия	109	64	81	90
%	4,4	4,5	5,5	5,5
Технологические выбросы и утечки	23	16	29	33
%	0,9	1,1	2,0	2,0
Всего индустриальные выбросы	2 499	1 433	1 483	1 628

Источник: Шестое национальное сообщение Российской Федерации. 2013.

Совокупные индустриальные выбросы – это выбросы энергетического сектора, вкупе с сектором “промышленные процессы, использование растворителей и др. продукции”, а также отходы. Выбросы СО<sub>2</sub> в энергетическом секторе в 2011 г. составили 1 528 Мт СО<sub>2</sub>/год, или 79,5% от совокупных выбросов, учитывающих другие парниковые газы (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O).

В Шестом национальном сообщении информация по выбросам исчисляется по данным основных эмиттеров парниковых газов:

- энергетика [сжигание топлива (СО<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub>+N<sub>2</sub>O) + технологические выбросы и утечки (СО<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub>+N<sub>2</sub>O)],
- промышленность (СО<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub>+N<sub>2</sub>O+F-газы),
- сельское хозяйство (CH<sub>4</sub>+N<sub>2</sub>O),
- переработка отходов (CH<sub>4</sub>+N<sub>2</sub>O).

В наших расчетах выбросы энергетики определяются структурой содержания компонентов парниковых газов в используемом топливе, которые поступают в атмосферу при сгорании. Выбросы СО<sub>2</sub> в национальном балансе включают только индустриальные выбросы.

Таким образом, выбросы парниковых газов, связанные с промышленными процессами ( $\text{CO}_2 + \text{CH}_4 + \text{N}_2\text{O} + \text{F-газы}$ ) практически на 87% состоят из  $\text{CO}_2$  (табл. 2.2).

## 2.2. Сопоставление выбросов и поглощений

Проблема составления научно обоснованного углеродного баланса находится только в стадии формулирования, а для принятия решений по его управлению необходимо рассматривать глобальные и национальные источники, также как глобальные и национальные поглотители  $\text{CO}_2$ . Здесь существует проблема изученности процесса: нужно идентифицировать инструментально реальные потоки природного и антропогенного  $\text{CO}_2$  в процессе глобальной циркуляции, в том числе в границах России, что в настоящее время не представляется возможным.

На рис. 1.10 «Динамика глобальных выбросов и поглощений» четко обозначаются расходящиеся векторы направленности процессов. Объем дополнительных выбросов за 50 лет в два с лишним раза превышал объем дополнительных поглощений. Разница между выбросами и поглощением остается и накапливается в атмосфере.

Информация этого рисунка имеет огромное политэкономическое звучание при обсуждении международных и национальных аспектов «борьбы» с потеплением климата. В первую очередь, это относится к проблеме тотального сокращения выбросов, как в развитых странах, так и в странах с переходной экономикой, а также в развивающихся странах.

Самое удивительное в проблеме составления баланса это то, что МГЭИК противится очевидным намерениям включить в перечень рекомендуемых документов национальный углеродный баланс!

Но процесс пошел! На Климатическом саммите (Париж 2015) была поднята проблема учета поглощающих способностей лесов.

В свое время, при обсуждении Киотского протокола Российской академия наук высказала свою позицию: «Киотский протокол не имеет научного обоснования»<sup>3</sup>. Тем не менее, Россияratифицировала Киотский протокол, не приняв во внимание позицию РАН.

<sup>3</sup> О позиции Российской академии наук по проблеме Киотского протокола во исполнение поручения Президента РФ от 16.03.2004 г. № Пр-432 и Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2004 г. № АЖ-П9-2727.

Анализ Парижского соглашения (2015 г.) показывает, что предлагаемый для ратификации документ также не имеет необходимого научного обоснования. При определении национального уровня вкладов в общее сокращение глобальных выбросов Стороны должны учитывать управляемые леса в качестве поглотителей и накопителей парниковых газов. Это необходимо, но не отвечает требованиям составления замкнутого углеродного баланса, так как лесные биомы – это только часть национальных поглотителей  $\text{CO}_2$ . Депонирование углерода управляемыми лесами РФ – это только часть поглощающей способности российской биоты, которую необходимо более детально исследовать в будущем. Нетрудно прогнозировать судьбу Парижского соглашения, когда политические интересы довлеют над научными принципами.

В нашей стране оценка углеродного баланса России проводилась с начала 1990-х годов в рамках Специальной государственной программы под руководством академика Н.П. Лаверова, ее биологический блок возглавлял академик Г.А. Заварзин. Объекты оцениваемых потоков  $\text{CO}_2$  России составляли индустриальные выбросы и биомы (леса и торфяники).

Читатель *Шестого национального сообщения Российской Федерации (2013)* знаком с положением Парижского соглашения относительно того, что объемы снижения выбросов необходимо увязывать с продуктивностью лесов. Между тем, до настоящего времени поглощающая способность лесов оценивается только по так называемым «управляемым лесам». В состав управляемых лесов России входят лесные земли лесного фонда (за исключением резервных лесов). Площади управляемых лесов России корректируются с учетом вовлечения лесов в хозяйственный оборот: на начало 2011 г. они составили 661,4 млн. га или 73,7% лесных земель страны, а их запас – 68,4 млрд.  $\text{m}^3$ , или 85,6% запаса древесины лесного фонда.

По материалам *Шестого национального сообщения*, общая площадь управляемых лесных земель с 1990 по 2011 гг. увеличилась на 50,2 млн. га за счет перевода из неуправляемых лесных земель. Площадь покрытых лесной растительностью земель управляемых лесов от 1990 г. к 2011 г. увеличилась на 61,2 млн. га. Это связано со значительным сокращением объема лесозаготовок в России: произошло более чем двукратное падение уровня лесопользования в начале 1990-х годов. Сокращение площадей новых вырубок за счет снижения уровня лесозаготовок происходит одновременно с лесовосста-

новлением на вырубках более раннего периода, после чего они переходят в состав покрытых лесом земель.

На протяжении двух десятилетий поглощение  $\text{CO}_2$  управляемыми лесами (без учета кустарников) превышало его потери, углеродный бюджет леса (поглощение минус выбросы) оценивался в 1990 г. величиной 116,3 млн. т  $\text{CO}_2$  (32 МтС) и увеличился к 2011 г. в 4,5 раза, достигнув 528 млн. т  $\text{CO}_2$  (144 МтС) (рис. 2.2).

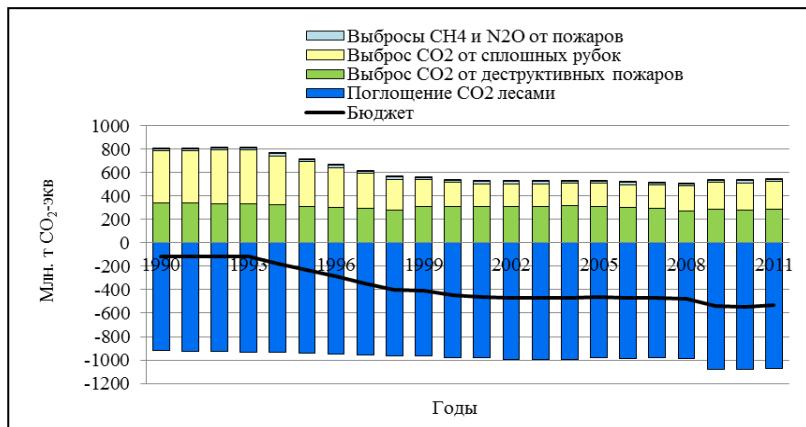


Рис. 2.2. Депонирование  $\text{CO}_2$  управляемыми лесами России без учета кустарников: поглощение (-) и выбросы (+) парниковых газов

Источник: Шестое национальное сообщение Российской Федерации. 2013 Рис. III.13.

По официальным данным *Шестого национального сообщения* баланс депонирования углерода в «управляемых» лесах и индустриальных выбросов – отрицательный (рис. 2.3), т. е. поглощение меньше выбросов.



Рис. 2.3. Баланс индустриальных выбросов и депонирования углерода в управляемых лесах (по материалам *Шестого национального сообщения*), млн. т  $\text{CO}_2$

Из простого взгляда на рис. 2.3 следует однозначный вывод – Россия является глобальным нетто-эмиттером  $\text{CO}_2$  и, что особенно значимо, на основе этого вывода Правительство намечает (согласно

Парижскому соглашению) придерживаться, начиная с 2020 г., соответствующего вектора развития народного хозяйства в ближайшей перспективе.<sup>4</sup>

Сопоставление объемов депонирования углерода лесами с индустриальными выбросами показало, что *выбросы CO<sub>2</sub> при сжигании топлива и от производства продукции из минерального сырья значительно превышали поглощающую способность управляемых лесов России*. Таким образом, официальная наука утверждает, что *Россия является нетто-эмиттером CO<sub>2</sub>*. На основе этой концепции распоряжением Президента РФ<sup>5</sup> утверждена Климатическая доктрина Российской Федерации. Правительству предписано при проведении государственной политики по вопросам, связанным с возможным глобальным и региональным изменением климата и его последствиями, руководствоваться данной Климатической доктриной.

Однако, методологические положения, на основе которых построена диаграмма (рис. 2.3), вызывают ряд принципиальных вопросов:

1. Почему в балансе не учитывается поглощение CO<sub>2</sub> океаном, как следует из схемы построения глобального баланса углерода (см. рис. 1.4 и 1.5), а в биоте суши не учитываются нелесные биомы – степи, болота, кустарники и другие фотосинтезирующие биомы?
2. Почему не учитываются фотосинтезирующие способности резервных лесов?

И вообще, почему учитывать или не учитывать какой-то компонент, составляющий баланс, надо определять процедурой голосования?

По нашей оценке, накопление углерода природными поглотителями на территории РФ значительно превосходит объем поглощения CO<sub>2</sub> управляемыми лесами, приведенный в материалах *Шестого национального сообщения* (см. рис. 2.3).

Составители Национальных докладов опубликовали карту управляемых лесов. Местоположение управляемых лесов страны показано на рис. 2.4.

<sup>4</sup> Замолодчиков Д.Г., Кобяков К.К., Кокорин А.О., Алейников А.А., Шматков Н.М. Лес и климат. — М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2015. — 40 с. <http://www.wwf.ru/resources/publ/book/1038>

<sup>5</sup> от 17.12.2009 N 861-рп «О Климатической доктрине Российской Федерации»

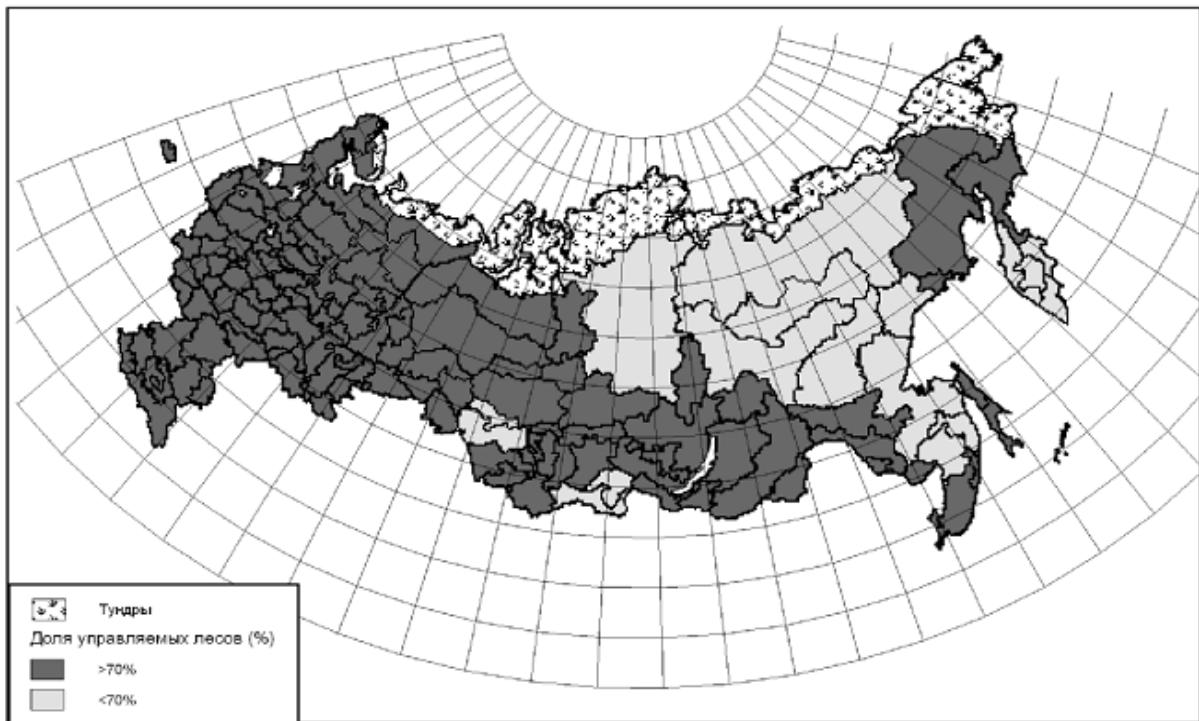


Рис. 2.4. Карта расположения управляемых лесов на территории России

Источник: Гитарский М.Л., Замолодчиков Д.Г., Коровин Г.Н., Карабань Р.Т. Эмиссия и поглощение парниковых газов в лесном секторе страны как элемент выполнения обязательств по климатической конвенции ООН // Лесоведение. 2006. №6. С. 34-44.

Механический перенос методики лесохозяйственной оценки земель на экологические, карбонные свойства этих территорий является серьезной ошибкой (см. главу 3) и приводит к существенному занижению оценки поглощающей способности управляемых лесов в материалах Национальных сообщений. К тому же, если учесть стоимость углеродной квоты по рыночной цене 6,5 долл./тС, то поглотительная способность *резервных лесов* оценивается, по меньшей мере, в 0,5 млрд. долл.<sup>6</sup>

Отказ от учета вклада резервных лесов и других биомов, а также океана в Национальных докладах и международных переговорах зачастую мотивируется «недостаточной» изученностью процесса. Этому, вероятно, отвечает следующая позиция Рамочной конвенции по изменению климата ООН (статья 3, п. 3): «Там, где существует угроза серьёзного или необратимого ущерба, недостаточная научная определённость *не должна* (выделено автором) использоваться в качестве причины для отсрочки принятия ... мер». Такого рода аргумент в пользу скорейшего решения проблемы не может служить основанием

<sup>6</sup> Между прочим, выбросы при пожарах, возникающие на резервных землях, не исключаются из бюджета лесов.

для исключения (по-видимому, процедурой консенсуса) самого понятия национальный баланс СО<sub>2</sub> из переговорного процесса.

Нами предпринята попытка составления текущего российского углеродного баланса по данным *Шестого национального сообщения Российской Федерации (2013)*. Для решения этой задачи мы исходим из посылок существующего глобального баланса углерода (см. Главу 1). Расчеты российских потоков СО<sub>2</sub> ведутся в системе су-ша↔атмосфера↔океан. Способ учета национальных потоков методологически соответствует принципам составления глобального углеродного баланса, которые отражены в Оценочных докладах МГЭИК. Результаты проделанных исследований и расчетов представлены в следующей главе.

### 3. ПРОГНОЗ УГЛЕРОДНОГО БАЛАНСА РОССИИ В 21 ВЕКЕ

#### 3.1. Расчет ожидаемых выбросов углерода на территории России (энергетика)<sup>21</sup>

Попробуем воспроизвести весь ход расчетов потоков национальных компонентов углеродного баланса.

Как указано выше, *индустриальные выбросы* объединяют все газообразные отходы сжигания ископаемого топлива при прямом использовании, выработке электроэнергии и тепла, а также в промышленных технологиях переработки минерального сырья, прежде всего, в производстве цемента. Динамика индустриальных выбросов описана в главе 2 и показана на рис. 2.1, 2.3.

Основная часть индустриальных выбросов (свыше 85%) приходится на топливно-энергетический комплекс (ТЭК).

В Институте народнохозяйственного прогнозирования РАН (ИИП РАН) в течение многих лет проводятся прогнозные расчеты по долгосрочным перспективам развития ТЭК России. Эти расчеты положены в основу оценки перспективных выбросов CO<sub>2</sub> в энергетике. В качестве основного инструмента используется линейная динамическая оптимизационная модель формирования топливно-энергетического баланса страны и макрорегионов по критерию минимизации затрат по эксплуатации и развитию системы энергоснабжения.<sup>22</sup> Система прогнозирования ТЭК предназначена для анализа и исследования различных гипотез (сценариев) долгосрочного развития энергетики России. Она включает:

- Формирование сценариев перспективного развития ТЭК страны и крупных макрорегионов.
- Оценку влияния новых технологий на развитие ТЭК.
- Оценку спроса на инвестиции в отраслях ТЭК.
- Расчет равновесных (конкурентных) цен на энергоносители в макрорегионах и оценку природной ренты в топливодобывающих отраслях.
- Анализ приоритетности освоения новых инновационных направлений в ТЭК.

<sup>21</sup> Раздел 3.1. составлен по материалам д.э.н. Синяка Ю.В.

<sup>22</sup> Детальное описание модели и ее модулей, а также результаты прогнозов до середины XXI века приведены в работе: Синяк Ю.В. Сценарные условия и результаты моделирования развития ТЭК России до 2060 г.// Экологический вестник России, №10-12, 2014.

- Изучение влияния введения ограничений на выбросы парниковых газов на структуру и объемы потребления различных энергоносителей в стране.

Модель долгосрочного прогнозирования ТЭК выполнена в виде модулей, отражающих условия формирования региональной структуры ТЭК, структуры энергоресурсов, структуры секторов производства и потребления энергии с выделением наиболее представительных технологий.

Основная входная информация для модели включает следующие разделы:

1. *Макроэкономическая информация*: темпы роста ВВП и ВРП, структура производства ВВП и ВРП, динамика численности населения и его расселение по территории страны и по типам населенных пунктов.

2. *Топливно-энергетические балансы* страны и макрорегионов (по подведенной энергии и в расчетных оценках по полезной энергии).

3. *Ресурсная информация*: природные запасы органических топлив, экономика (затраты и инвестиции) разведки и добычи топлив (по крупным добывающим районам и месторождениям с выделением дешевых, умеренных и дорогих ресурсов).

4. *Технологическая информация*: технико-экономические показатели энергетических технологий, их динамика в перспективном периоде, условия выхода на рынок новых технологий.

5. *Экологическая информация*: удельные выбросы загрязняющих веществ (сейчас учитывается только  $\text{CO}_2$ ), ограничения на выбросы.

Источниками входной информации являются: отчетные топливно-энергетические балансы страны, статистические материалы по секторам ТЭК, материалы топливодобывающих, электроэнергетических и теплоснабжающих компаний, аналитические записки по состоянию и развитию энергетики в стране и в мире, специальная техническая и экономическая литература и публикации в российских и зарубежных изданиях и в Интернете.

Выходная информация в результате расчета сценариев включает:

1. Топливно-энергетические балансы страны и регионов.
2. Балансы отдельных энергоресурсов и энергоносителей.

3. Величину и структуру производственных мощностей в разрезе макрорегионов и по категориям ресурсов.

4. Спрос на инвестиции по секторам ТЭК.

5. Равновесные цены энергоносителей на внутреннем рынке по макрорегионам.<sup>23</sup>

6. Оценки природной ренты в топливодобывающих отраслях ТЭК.<sup>24</sup>

7. Выбросы загрязняющих веществ.

8. Сравнительные оценки энерго-экономической эффективности сценариев развития ТЭК (энергоемкость ВВП, душевое потребление энергоносителей, карбоноемкость топливно-энергетического баланса и т.п.).

В рамках работы по перспективам развития безуглеродной энергетики были рассмотрены два варианта экономического развития:

- *вариант прогноза с умеренными темпами* экономического роста (*вариант 2*) и пониженным экспортом природного газа в Западную Европу в связи с возможным развитием добычи сланцевого газа в этом регионе,
- *вариант прогноза с высокими темпами* экономического роста (*вариант 3*) и максимальными ожидаемыми объемами экспорта газа в Европу.

Дополнительно было исследовано влияние трендов в стоимостных технико-экономических показателях двух категорий безуглеродных технологий – *атомной энергии* и *новых источников энергии* (НИЭ). При этом варианто предполагается, что для атомной энергии показатели остаются неизменными (сценарий 1) или имеют повышательный тренд (сценарий 2). Для новых технологий тренды всегда понизительные, но с различной интенсивностью (умеренный тренд – сценарий 1; интенсивный тренд – сценарий 2).

Кроме того, сделаны предположения относительно трендов экспорта природного газа в Европу в зависимости от освоения

---

<sup>23</sup> Равновесные цены означают равнодоходность использования рассматриваемого энергоносителя при использовании его у замыкающего потребителя в сравнении с наиболее эффективным его конкурентом.

<sup>24</sup> Оценка природной ренты для органических топлив определяется как суммарная чистая прибыль для всей совокупности производителей топлива, т.е. как интегральная разность между равновесной ценой на рынке и затратами каждого конкретного производителя топлива. При этом затраты конкретных производителей включают их операционные издержки и отчисления от прибыли на инвестиции и другие обязательные расходы.

Таблица 3.1

## Семейство вариантов исходных условий прогноза развития ТЭК России

<i>Входные параметры</i>	<i>Варианты</i>	<i>2010-2030</i>	<i>2031-2050</i>
Население	Варианты 2 и 3	В обоих вариантах приняты одинаковые уровни населения: медленное сокращение до 135-138 млн. чел. к 2030 г. с последующим ростом и стабилизацией на уровне 140 млн.	
Темпы роста ВВП и изменение структуры добавленной стоимости	Вариант 2	Среднегодовой темп прироста ВВП составляет 3%, умеренные изменения в структуре добавленной стоимости	Среднегодовой темп прироста ВВП составляет 2%, умеренные изменения в структуре добавленной стоимости
	Вариант 3	Среднегодовой темп прироста ВВП составляет 5%, интенсивные изменения в структуре добавленной стоимости	Среднегодовой темп прироста ВВП составляет 4%, интенсивные изменения в структуре добавленной стоимости
Темпы сокращения энергоемкости ВВП по полезной энергии	Вариант 2	Среднегодовой темп снижения энергоемкости ВВП по полезной энергии составляет 2,5-2,6%	Среднегодовой темп снижения энергоемкости ВВП по полезной энергии составляет 2-2,1%
	Вариант 3	Среднегодовой темп снижения энергоемкости ВВП по полезной энергии составляет 3-3,2%	Среднегодовой темп снижения энергоемкости ВВП по полезной энергии составляет 2,5-2,7%
Экспорт природного газа в Западную Европу	Варианты 2 и 3, сценарий 1	Предполагается, что в этот период конъюнктура для российского газа на рынках Западной Европы окажется неблагоприятной в связи с возможным ростом собственной добычи сланцевого газа и расширением поставок со стороны конкурентов России на этом рынке	После 2030 г. возможности добычи сланцевого газа будут исчерпаны, а поставки со стороны конкурентов будут сокращаться, что приведет к восстановлению экспорта российского природного газа
	Варианты 2 и 3, сценарий 2	Сланцевый газ не получает развития в Европе, а конкуренты концентрируются на рынках юго-восточной Азии. В результате Россия имеет хорошие возможности для наращивания экспорта в Европу.	После 2030 г. благоприятная конъюнктура на рынках Западной Европы сохраняется
Экспорт нефти и нефтепродуктов	Варианты 2 и 3	Экспорт нефти снижается к 2040 г. до 140-145 млн. т. Увеличение экспорта нефти приводит к развитию производства синтетической нефти из угля вместо добычи дорожающей природной нефти	
Изменение стоимости безуглеродных технологий (АЭС и новых источников энергии)	Варианты 2 и 3, сценарий 1	Сохранение стоимости АЭС в течение всего периода на уровне 3000 долл./кВт. Для новых источников энергии (солнечная, ветровая, геотермальная и др.) удельные затраты медленно сокращаются с 4000 долл./кВт до 2000 долл./кВт.	
	Варианты 2 и 3, сценарий 2	В этом варианте исследуются две противоположные тенденции изменения затрат. Стоимость АЭС возрастает к середине века до 6000 долл./кВт, а новых источников энергии интенсивно сокращается до 1000 долл./кВт.	
Ограничения на выбросы CO <sub>2</sub>	Варианты 2 и 3	Без ограничений на выбросы CO <sub>2</sub>	

сланцевого газа в этом регионе (сценарий 1 – развитие добычи сланцевого газа, сценарий 2 – сланцевый газ в Европе не добывается).

Ограничения на выбросы  $\text{CO}_2$  в рассмотренном цикле расчетов не вводились: изменение выбросов  $\text{CO}_2$  объясняется исключительно за счет изменения структуры первичных энергоресурсов и технологий производства и использования энергии под влиянием их привлекательности с точки зрения совокупных стоимостных затрат.

В табл. 3.1 показано семейство сценариев, положенных в основу прогнозов выбросов  $\text{CO}_2$  до середины текущего столетия. Здесь приведены результаты только для двух вариантов экономического роста: с низкими и высокими темпами роста. Внутри каждого варианта рассмотрены несколько сценариев в соответствии с вариациями исходных параметров согласно гипотезам, приведенным в табл. 3.1.

Основные результаты долгосрочных прогнозов развития ТЭК России приведены на рис. 3.1-3.4.

На приводимых графиках использована следующая индексация сценариев: «ВВП» - «Энергоемкость» - «Экспорт газа» - « $\text{CO}_2$ » - «Экономика безуглеродных технологий». В этой связи, например, сценарий 2-2-2-А2 следует понимать следующим образом: «Умеренные темпы роста ВВП и изменения его структуры, умеренные темпы снижения энергоемкости по полезной энергии, при отсутствии добычи сланцевого газа в Западной Европе, без ограничений на выбросы  $\text{CO}_2$ , при росте стоимости АЭС и интенсивном сокращении затрат в другие безуглеродные технологии».

Ниже на графиках применена следующая индексация вариантов и сценариев (табл. 3.2):

Таблица 3.2

Сценарии, рассмотренные в работе

№ на графике	Вариант 2	№ на графике	Вариант 3
1	Сценарий 2-2-1-А1	1	Сценарий 3-3-1-А1
2	Сценарий 2-2-1-А2	2	Сценарий 3-3-1-А2
3	Сценарий 2-2-2-А1	3	Сценарий 3-3-2-А1
4	Сценарий 2-2-2-А2	4	Сценарий 3-3-2-А2

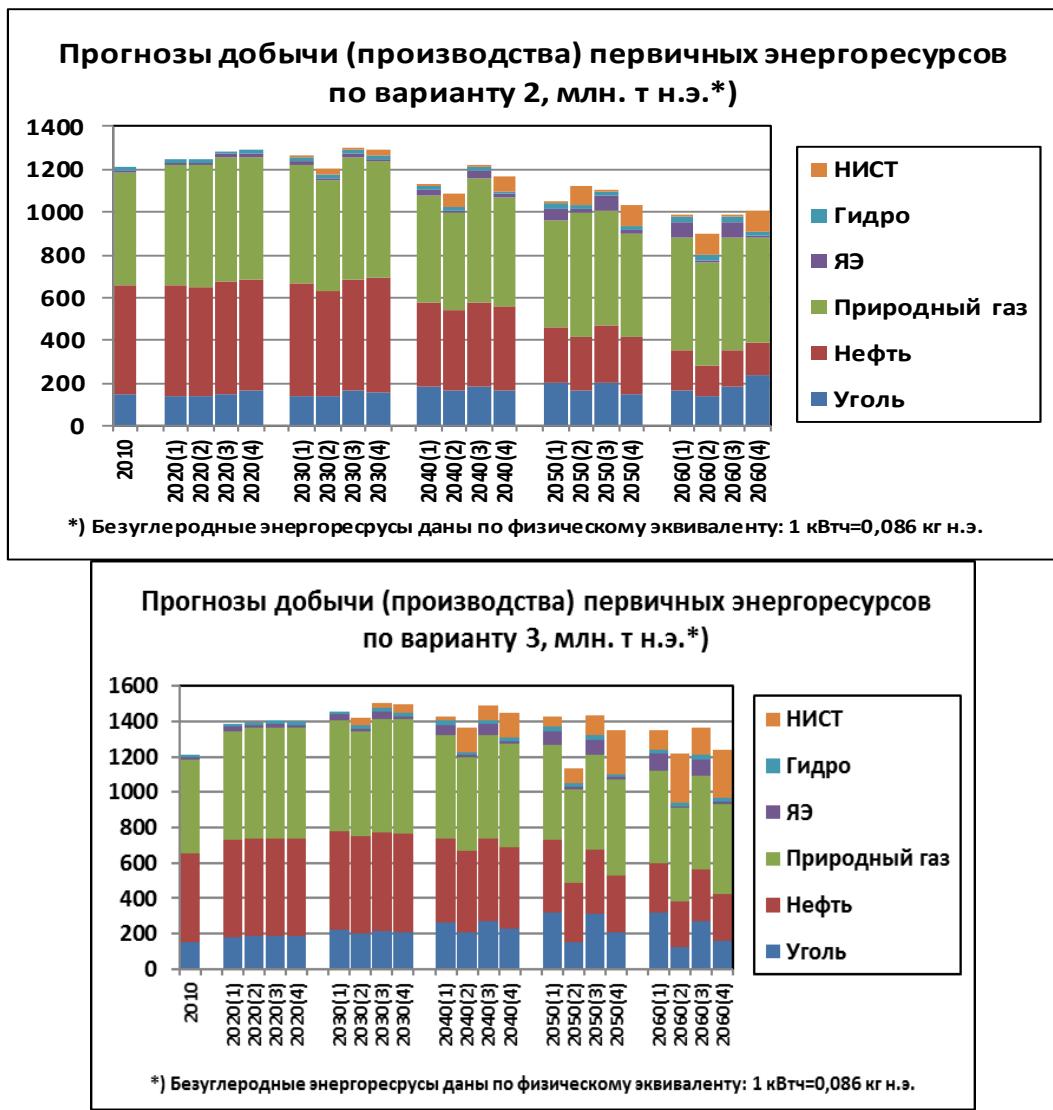


Рис. 3.1. Прогнозы производства первичных энергоресурсов

*Комментарии:*

- ожидается, что суммарная добыча первичных энергоресурсов до 2030 г. может возрасти максимально на 50-100 млн. т н.э. и составить 1200-1300 млн. т н.э. по варианту 2, или на 200-300 млн. т н.э. до 1400-1500 млн. т н.э. в варианте 3; после 2030 г. вполне ожидаем медленный спад добычи по варианту 2 или стабилизация до 2040 г. по варианту 3, после чего можно ожидать спад производства первичных энергоресурсов,

- добыча сырой нефти после 2030 г. начинает медленно сокращаться в связи с исчерпанием дешевых месторождений нефти, а дорогая нефть будет встречать растущую конкуренцию со стороны природного газа, электроэнергии (электромобили) и водорода, получаемого на первых этапах из природного газа. К 2040 г. могут появиться сильные стимулы к производству синтетических жидкых топлив в восточных районах страны из дешевого угля,

- добыча природного газа, скорее всего, может достичь своего максимума к 2030 г. на уровне 700-800 млрд. м<sup>3</sup> с последующим медленным сокращением до 600-650 млрд. м<sup>3</sup> к середине века,

- добыча угля будет сильно зависеть от экспортной политики по газу и развития безуглеродных технологий в электроэнергетике, поэтому к середине века добыча угля может находиться в диапазоне 150-300 млн. т н.э.,

- после 2030 г. заметный вклад в энергоснабжение страны начнут вносить новые источники энергии в связи с ожидаемым увеличением их энергетической эффективности и снижением затрат,

- заметный прогресс в развитии атомной энергетики ожидается только в случае сохранения стоимости АЭС на современном уровне (около 3000 долл./кВт), что маловероятно; скорее всего, удешевление новых источников энергии приведет к сильному торможению в развитии атомной энергетики.

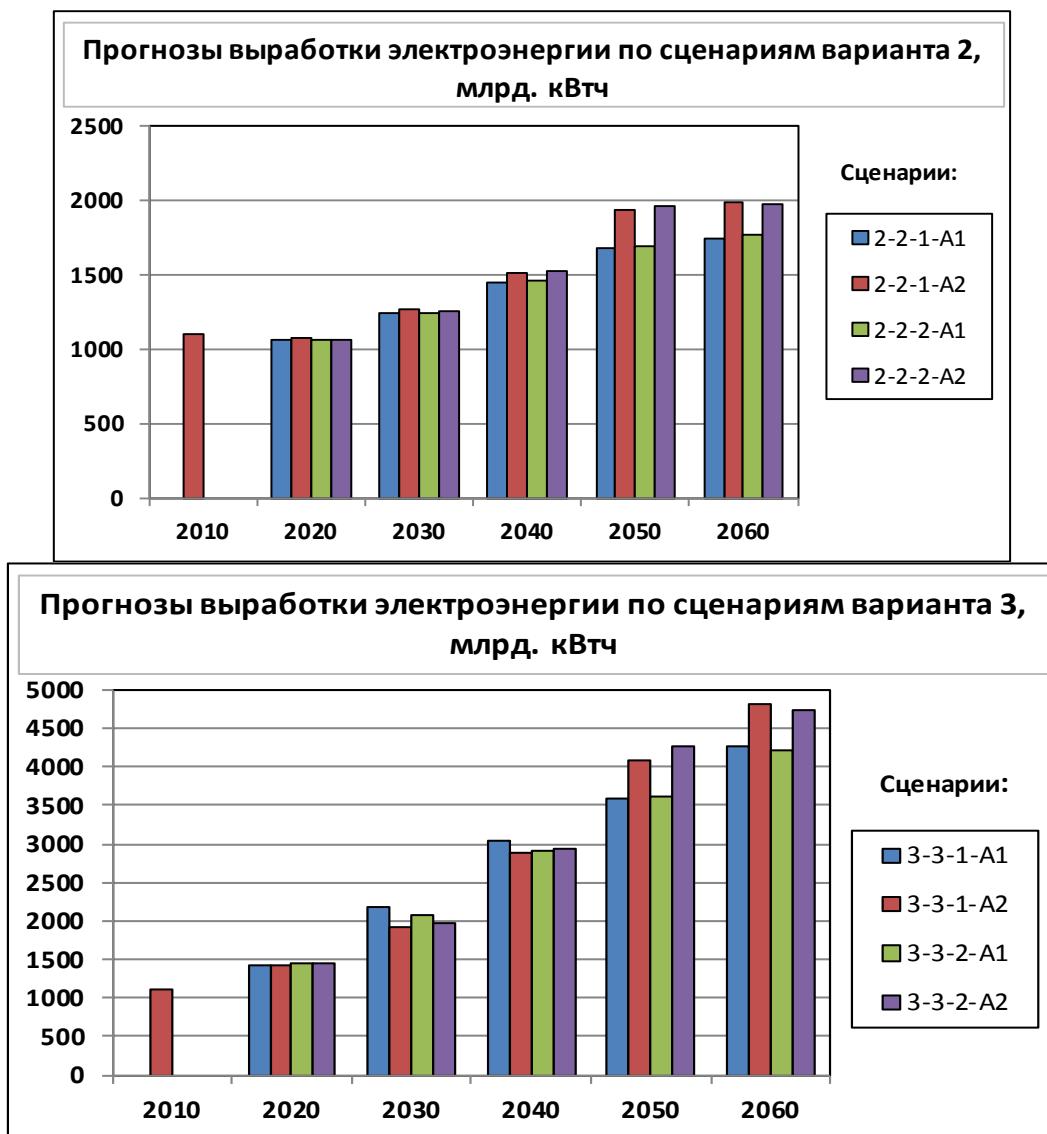


Рис. 3.2. Варианты выработки электроэнергии

## Комментарии:

- при низких темпах экономического развития генерирование электроэнергии возрастет до 1200-1300 млрд. кВтч к 2030 г. и 1700-1900 млрд. кВтч к 2050 г. При высоких темпах рост будет более выраженным: к 2030 г. – до 1900-2100 млрд. кВтч и 3500-4200 млрд. кВтч к 2050 г.,

- более высокие темпы роста следует ожидать в сценариях со значительным удешевлением новых источников энергии в связи с ожидаемым ростом спроса на электроэнергию на транспорте (электромобили и топливные элементы на водороде), использованием тепловых насосов в теплоснабжении и пр.

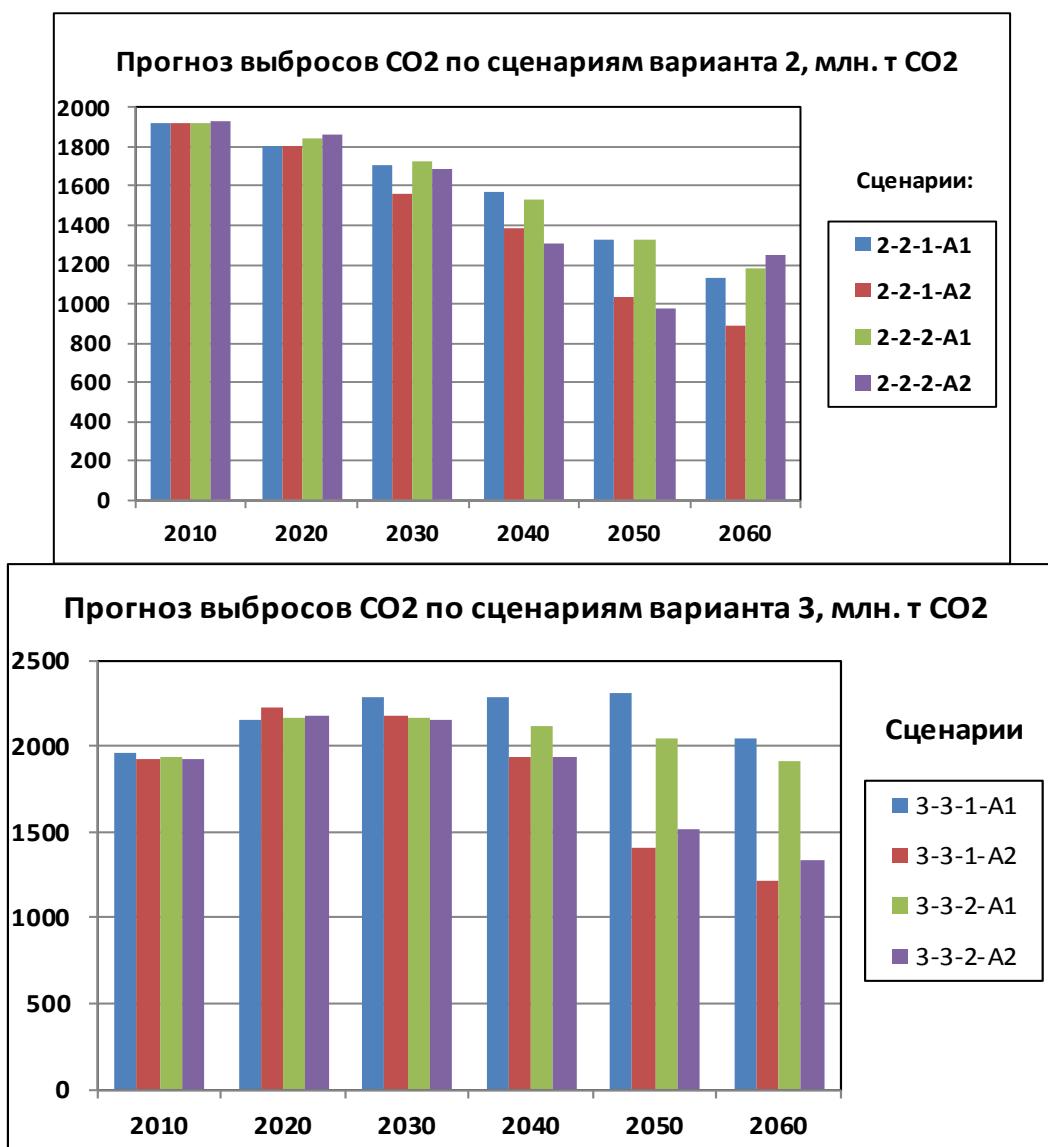


Рис. 3.3. Варианты эмиссии CO<sub>2</sub> от сжигания топлива

## Комментарии:

- при умеренных темпах экономического развития вполне вероятно ожидать систематического сокращения выбросов CO<sub>2</sub> за счет изменения структуры экономики, увеличения добычи природного га-

за и освоения новых безуглеродных энерготехнологий. При этом к 2050 г. годовые выбросы  $\text{CO}_2$  могут снизиться на 25-45% по сравнению с 2010 г.,

- при высоких темпах до 2030 г. будет наблюдаться некоторое увеличение выбросов  $\text{CO}_2$ , в последующий период выбросы будут сильно зависеть от объема поставок природного газа на внутренний рынок и прогресса в освоении безуглеродных технологий. Как видно из графика, при умеренных темпах снижения стоимости новых источников энергии выбросы  $\text{CO}_2$  практически стабилизируются в период 2030-2050 гг. на уровне 2200-2300 млн. т. Однако, при интенсивном сокращении стоимости новых источников энергии и росте затрат в атомную энергию после 2030 г. можно ожидать снижения выбросов  $\text{CO}_2$  на 20-25% к уровню 2010 г.,

- ни в одном из вариантов не наблюдается снижение выбросов  $\text{CO}_2$ , обеспечивающее условия выполнения требований стабилизации температуры на уровне  $+2^{\circ}\text{C}$  к 2050 г. Это означает, что только технологических факторов может оказаться недостаточно, чтобы выполнить условия сохранения климата, что потребует введения принудительного ограничения выбросов углерода.

На рис. 3.4 изображена область предельных ожидаемых значений годовых выбросов  $\text{CO}_2$  энергетическими объектами, полученная на основе модельных расчетов (показаны только максимальные и минимальные значения по рассмотренным сценариям).<sup>1</sup>

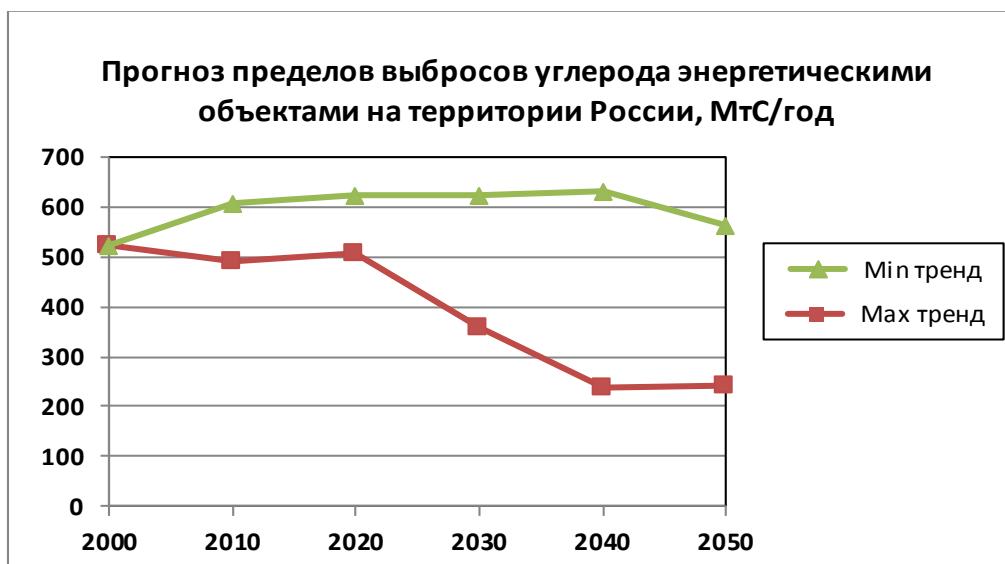


Рис. 3.4. Прогноз возможного диапазона ожидаемых выбросов углерода энергетикой по результатам моделирования развития ТЭК до середины XXI века

<sup>1</sup> 1 мС = 3,67 м  $\text{CO}_2$ .

Для перехода к прогнозу индустриальных выбросов использовано предположение, что остальные компоненты выбросов остаются в постоянной пропорции в течение 2000-х годов, указанной в главе 2 (см. табл. 2.2.). Прогноз динамики индустриальных выбросов показан на рис. 3.5.

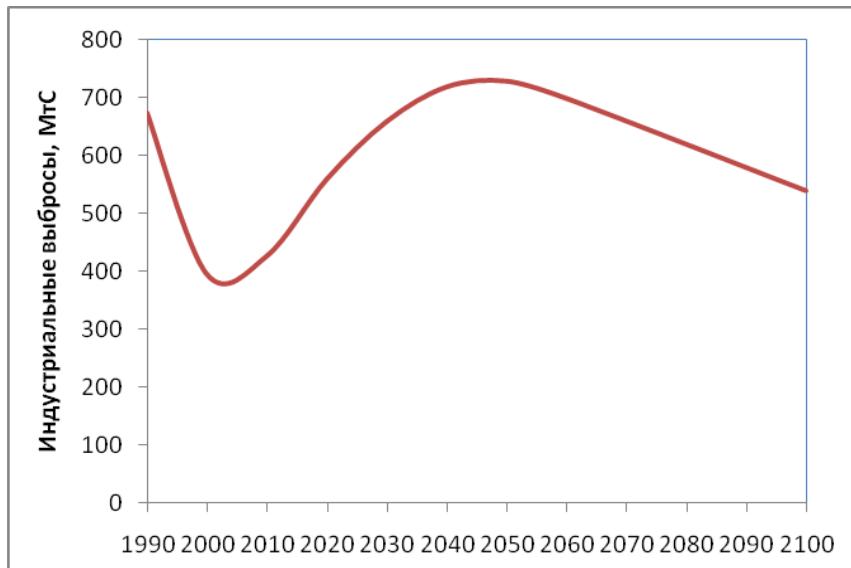


Рис. 3.5. Прогноз динамики индустриальных выбросов углерода на территории РФ<sup>2</sup>

### 3.2. Оценка поглощения и эмиссии углерода биотой России<sup>3</sup>

При расчете национального баланса CO<sub>2</sub>, как и в случае составления глобального баланса, поглотителем углерода служит биота. Биота России включает естественные биомы: леса, тундру, болота, луга, степи и полупустыни, водоёмы; и антропогенные экосистемы: сельскохозяйственные угодья, пастбища, парки и т.п. Изученность соответствующих потоков CO<sub>2</sub> оставляет желать лучшего. Следует признать, что карбонные качества биомов не имеют удовлетворительного научного описания и подобающей оценки. Но будем исходить из того, что имеется в наличии.

#### 3.2.1. Леса

Лесной биом включает в себя обширные места обитания, в которых доминируют деревья. На планете произрастает около 3,04 трлн.

<sup>2</sup> Эмиссия углерода в атмосферу за счет рубок, переработанной в России древесины, эмиссия отходов различного рода порубочных остатков, эмиссия при лесных пожарах, сжигании дров учтена в расчете выбросов и поглощения углерода биотой, см. ниже.

<sup>3</sup> Раздел подготовлен при активном участии кандидата сельскохозяйственных наук Моисеева Б.Н. (Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства).

деревьев; на одного землянина приходится 450 деревьев (3,04 трлн. деревьев:6,8 млрд. человек). Из них 1,39 трлн. деревьев – это тропические леса, 0,74 трлн. – бореальные леса; леса умеренного пояса – 0,61 трлн. деревьев. Специалисты также подсчитали, что каждый год человек вырубает 2 дерева, а высаживает лишь одно. Больше других регионов богата деревьями Россия – 640 млрд.; 4/5 лесных массивов расположено в Сибири и на Дальнем Востоке. Среднестатистический россиянин обладает на порядок большим количеством деревьев, чем другой землянин (640 млрд. деревьев:142,9 млн. человек=4480 деревьев). До человеческой цивилизации на Земле было 5,6 трлн. деревьев.<sup>4</sup>

Резервуарами углерода в лесах являются надземная и подземная биомасса, мертвое органическое вещество (валежная древесина и подстилка), органическое вещество почвы.

Биомасса растений – поверхностная и подземная части – является основным резервуаром для поглощения  $\text{CO}_2$  из атмосферы. Надземная биомасса это вся биомасса как древесной, так и травянистой живой растительности над поверхностью почвы, включая стволы, пни, ветви, кору, семена и листву. Подземная биомасса это вся биомасса живых корней.

Мертвое органическое вещество состоит из валежной древесины и подстилки. Валежная древесина включает всю неживую древесную биомассу, как стоящую или лежащую на земле, так и находящуюся в почве. Мертвая древесина включает деревья, лежащие на поверхности, мертвые корни и пни. Подстилка объединяет всю неживую биомассу.

Органическое вещество почвы включает органический углерод в минеральных и органических почвах.

Леса, по определению FAO (Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН), являются растительными сообществами, где, по крайней мере, 10-20% поверхности территории составляют кроны деревьев.

Российская классификация категорий земель лесного фонда значительно отличается от принятой ФАО. Ни одно из российских определений земель лесного фонда не соответствует категориям «лес» и «прочие покрытые лесом земли», которые используются в ФАО. В России основным признаком принадлежности насаждений и кустар-

<sup>4</sup> "Сколько на Земле деревьев?", <http://stop-news.com/5505-skolko-na-zemle-dereviev.html>

ников к покрытым лесом землям служит степень сомкнутости крон, которая должна быть равна в молодняках и кустарниковых зарослях 0,4 и выше, а в насаждениях более старших возрастов деревьев – 0,3 и выше (степень сомкнутости 1,0 – это тогда, когда сквозь крону не просвечивается небо). Но понятие сомкнутости крон мало раскрывает фотосинтетическую активность лесной территории, а именно, её карбонные свойства.

Необходимо отметить, что даже вокруг определения понятия «лес» в проблеме глобального потепления климата ведутся научные, хозяйствственные и политические споры. При ратификации Парижского соглашения (2015 г.) вопрос о дефиниции «леса» дорастет до политического уровня. В одном из документов МГЭИК сказано, что в настоящее время выпущен словарь, где дано 200 определений понятия «лес», 50 – «дерево», 50 – «лесовосстановление». И если ключевые термины, такие как леса, облесение, лесовозобновление и обезлесивание, не будут четко определены, то будет трудно оценить углерод-депонирующие свойства леса и его территории. Вместе с тем, и отдельное дерево, и кустарник, и трава являются продуктом фотосинтеза и тем самым участвуют в круговороте  $\text{CO}_2$ .<sup>5</sup>

Поэтому необходимо начинать решение проблемы прогноза потоков  $\text{CO}_2$  с самого начала – определить понятие *карбонный лес*, *карбонный биом* и, более широко, – *карбон биоты* страны. Научно обоснованные дефиниции станут методологической основой кадастра «Биота России». Несомненно, при столь важной роли поглотителей и накопителей  $\text{CO}_2$  в национальном балансе и остроте проблемы экономического обоснования стратегии борьбы с потеплением климата, расходы на этот проект окупятся сторицей.

Наконец-то в Париже (2015) признано существование углеродной продуктивности лесов и, тем самым, учтен важный поток  $\text{CO}_2$ . Так, по мере ратификации Парижского соглашения Странами – сторонниками Рамочной Конвенции ООН по изменению климата, функционирование лесов будет учитываться в национальных обязательствах по снижению выбросов.<sup>6</sup> Это необходимо, но недостаточно.

<sup>5</sup> Специальный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК); Землепользование, изменения в землепользовании и лесное хозяйство. ВМО, ЮНЕП, МГЭИК, 2000.

<sup>6</sup> Парижское соглашение (21 Конференция Сторон, 2015.)

**Запас углерода в живой и мертвый биомассе.** Лесные экосистемы являются возобновляемым и одним из самых больших на сущем резервуаров углерода биомассы и почвы. Они играют важную роль в глобальном цикле углерода как накопители углерода и источники углеродной эмиссии. Запасы углерода в лесах сосредоточены в наземной биомассе, подземной биомассе, мертвых и разлагающихся органических остатках и почве.

Согласно Государственному лесному реестру РФ по состоянию на 1 января 2013 г. площадь земель, на которых расположены леса, составляет 1183,1 млн. га, а площадь земель лесного фонда – 1145,9 млн. га; общий запас древесины в лесах, расположенных на землях лесного фонда, и лесах, расположенных на землях других категорий, составил 83,4 млрд.  $m^3$ , в том числе на землях лесного фонда – 79,9 млрд.  $m^3$ . Средний удельный запас древесины – 105  $m^3/га$ . Ежегодный средний прирост запаса древесины в лесах России низкий и не превышает 1,3  $m^3$  на гектар земель, покрытых лесной растительностью. 65% лесов России произрастает в условиях сухого климата. Это предопределяет их низкую продуктивность. На рис. 3.6 показана структура фитомассы лесов России, из которой следует, что практически 80% фитомассы приходится на стволы и корни деревьев.

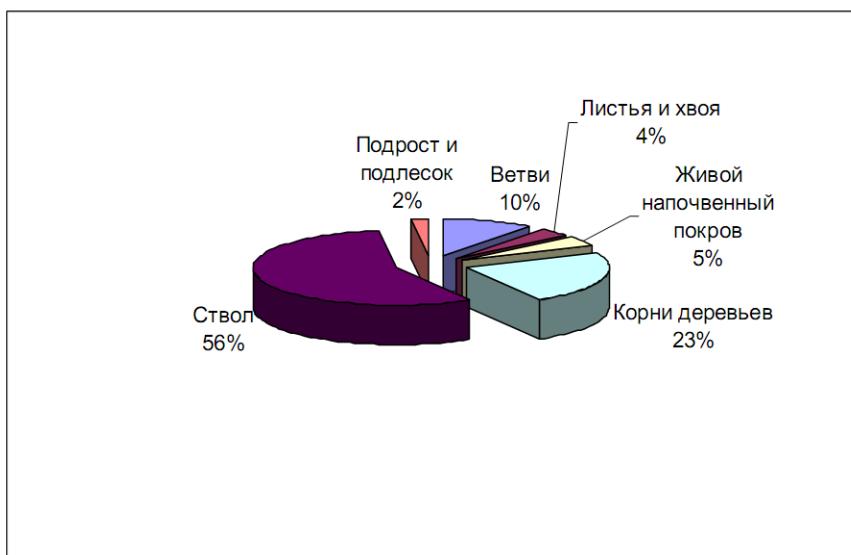


Рис. 3.6. Фракционная структура фитомассы лесов России

Источник: Швиденко А.З., Щепащенко Д.Г., Нильссон С. Материалы к познанию современной производительности лесных экосистем России. Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2007.

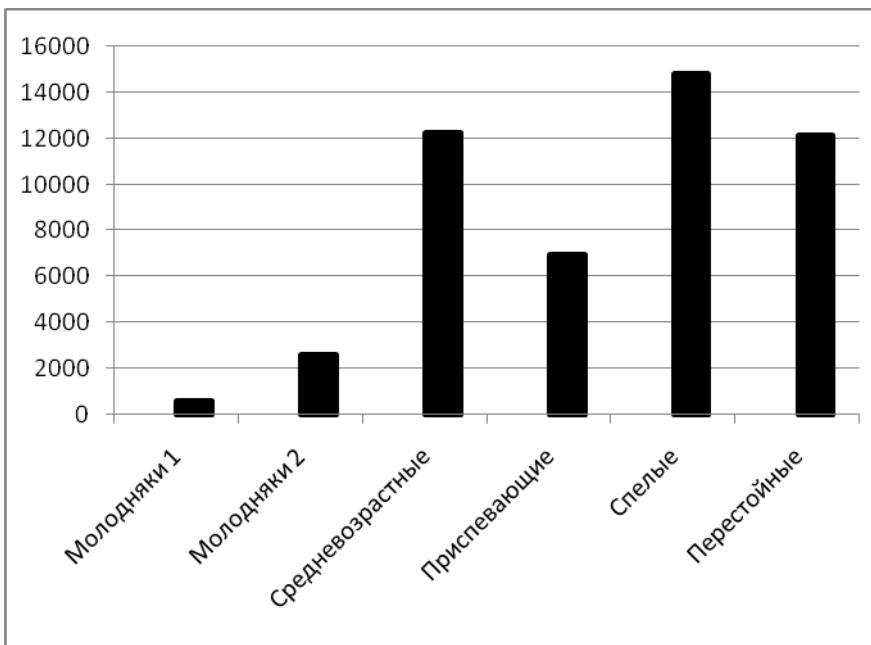


Рис. 3.7 Запасы углерода живой и мертвый фитомассы в лесах России (без лесных почв), MtC

Источник: Леса и лесные ресурсы Российской Федерации <http://www.rosleshoz.gov.ru/docs/other/77/1.pdf>

Специалисты ВНИИЛМ считают, что запас углерода в живой и мертвый фитомассе мира составляет около 360 ГтС, из них 49,4 ГтС (14%) сосредоточено в российских лесах (рис. 3.7). Первичная нетто-продуктивность лесов мира оценивается в размере от 2 до 4 ГтС/год; в лесах России она достигает 615 MtC/год, из которых 415 MtC/год усваивает живая фитомасса. В лесах России средний запас углерода (без лесных почв) достигает 50 тС/га, в том числе 34 тС/га живой, и 16 тС/га мертвый биомассы. Средний удельный прирост углерода составляет 0,69 тС/га в год.<sup>7</sup>

Процитируем весьма важное утверждение из доклада А.Н. Филиппчука (ВНИИЛМ): «Если говорить о том, как меняются запасы древесины, то, судя по тенденции последних 50 лет, они постепенно уменьшаются. Так, если в 1956 году средний запас на 1 гектар составлял 113 кубометров древесины, то в 2012 году – 104 кубометра. А вот средний прирост древесины, напротив, увеличился с 1,2 кубометра на один гектар в 1956 году до 1,32 кубометра в 2012 году. Средний возраст российских лесов постепенно уменьшается с 94 лет в 1956 году до 78 лет в 2012 году. Объемы заготовки древесины упали почти в четыре раза, и можно было ожидать старения лесов. Тем не менее,

<sup>7</sup> Ежегодный доклад о состоянии и использовании лесов Российской Федерации за 2012 г. ВНИИЛМ (Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства – старейшее научное учреждение лесохозяйственного профиля России).

этого не происходит. Правда, средний возраст в 78 лет свидетельствует о том, что преобладают спелые и перестойные насаждения. Если учитывать средний прирост древесины, то при идеальном ведении лесного хозяйства и равномерном размещении расчетных лесосек можно вырубать чуть более 1 миллиарда кубометров древесины в год. Сегодня расчетная лесосека в России составляет 673 миллиона кубометров и осваивается на 30%. То есть, в теории наша страна имеет колоссальные запасы древесины».<sup>8</sup>

Ориентироваться на эти данные в прогнозах следует с осторожностью. «По экспертным оценкам, примерно на 75% площади лесов России их коммерческая эксплуатация невозможна по причине экономической нерентабельности и физической недоступности. Во времена СССР с этим мало считались, так как был ГУЛАГ. Но в условиях рыночной экономики не считаться с указанным уже нельзя».<sup>9</sup>

**Депонирование углерода лесами.** В лесах углерод аккумулируется в трех основных блоках: в живой фитомассе, мертвом растительном веществе и гумусе почвы. Большую часть органического углерода содержит надземная и подземная органика и фитодетрит.

Леса России имеют хорошо выраженное ярусное строение растительности (фитоценоза), что позволяет максимально использовать лучистую энергию Солнца и зависит от теневыносливости растений. Лес состоит из деревьев, кустарников, трав, но главными резервуарами, поглотителями-накопителями являются деревья. При среднем по стране удельном запасе древесины более 100 м<sup>3</sup>/га средний годовой прирост запаса составляет всего 1-1,5 м<sup>3</sup>.

Первичная биологическая продуктивность характеризуется образованием биомассы (первичной продукции) в процессе фотосинтеза зелёными растениями.

Важнейшим показателем биологической продуктивности организмов-продуцентов является первичная брутто-продукция, или валовая продукция (обычно ее обозначают GPP – gross primary production). Разность между первичной брутто-продукцией и затратами растений на дыхание ( $R_a$ ) определяет первичную нетто-продукцию – NPP (net primary production). В лесном фитоценозе NPP включает в себя не только чистую продукцию прироста за учитываемый период (истинный прирост фитомассы) – NEP (net ecosystem production), но и

<sup>8</sup> Первые по площади, вторые по запасам. «Российские лесные вести» от 12.07.2013 [lesvesti.ru/print.php?id=5331](http://lesvesti.ru/print.php?id=5331)

<sup>9</sup> Шутов И.В. Остановить деградацию лесов России! Изд. 2-е, расширенное и дополненное – М.: «Лесная страна», 2007.

продукцию, перешедшую за то же время в опад (листья, цветки, семена и др.) и отпад (отмершие деревья, сучья и др.), которые обозначаются  $L$ , а также часть продукции живых растений, израсходованную на корм животных-фитофагов (потребление) –  $C_a$ . Сумму этих показателей называют гетеротрофным дыханием ( $R_h$ ), поскольку энергия в обоих этих потоках ( $R_h=L+C_a$ ) освобождается, главным образом, с участием гетеротрофных организмов (рис. 3.8).

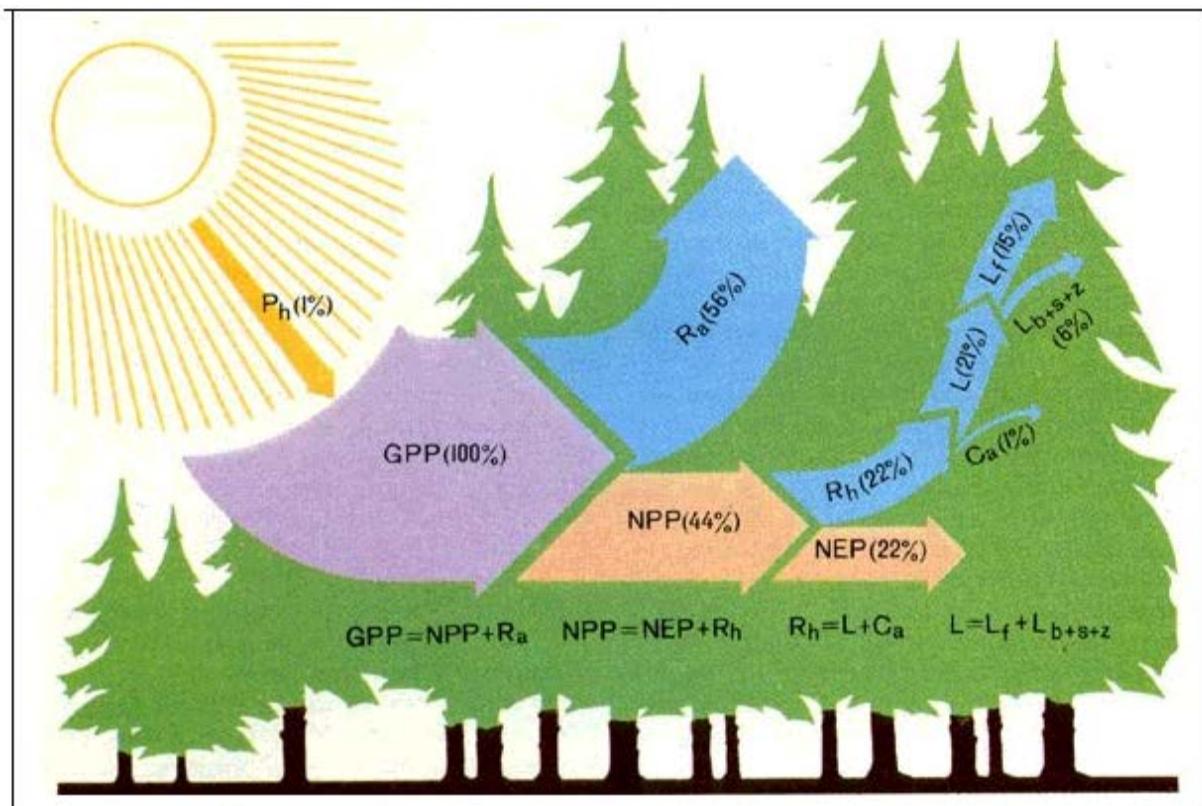


Рис. 3.8. Первичная биологическая продуктивность (средние значения потоков органического вещества) на примере лесов умеренного пояса при  $GPP = 25$  тС/га

Источник: Лесная энциклопедия /Гл. ред. Воробьев Г.И. – М.:Сов. Энциклопедия, 1985.-563 с., ил.

Пояснения к рис. 3.8:

$P_h$  – КПД фотосинтеза: показатель эффективности использования солнечной радиации растениями;

GPP – брутто-продукция (gross primary production): суммарное количество  $CO_2$ , которое поглощается растительностью в процессе фотосинтеза;

$NPP = NEP + R_h$  – нетто-продукция (net primary production): чистая первичная продукция, включая гетеротрофное дыхание;

$NEP = NPP - R_h$  – истинный прирост биомассы (net ecosystem production): чистая первичная продукция за вычетом гетеротрофного дыхания;

$R_a$  – автотрофное дыхание (respiration): количество  $CO_2$ , которое теряется организмами в процессе метаболизма;

$R_h = L + C_a$  – гетеротрофное дыхание (respiration by heterotrophs): биотическое окисление живой и абиотическое окисление мертвой фитомассы);

$L$  – годичный опад и отпад;  $L = L_f + L_{b+s+z}$ , где  $L_f$  – опад листьев и семян;  $L_{b+s+z}$  – отпад ветвей, стволов и корней;

$C_a$  – отчуждение органического вещества на корм фитофагов (консумпция): потребление растений животными.

Биологическую продуктивность лесов рассматривают как их основную характеристику, которая определяет ход обменных процессов в лесных экосистемах. В процессе фотосинтеза образуется органическое вещество – валовая продукция. Противоположным фотосинтезу является процесс дыхания. Главным результатом продукционного процесса в лесной экосистеме является формирование биомассы. На рис. 3.9 изображен процесс формирования биомассы соснового леса на протяжении срока жизни дерева.

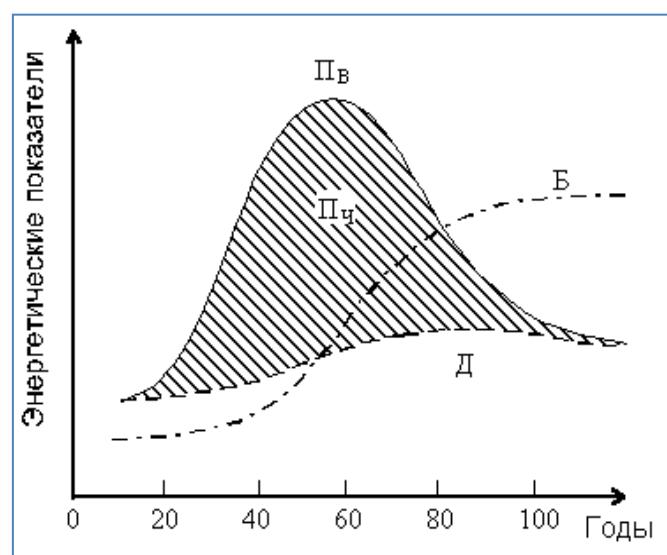


Рис. 3.9. Показатели развития соснового леса

Условные обозначения: Пв – продукция валовая; Д – затраты на дыхание; Пч – чистая продукция поглощения углерода (заштриховано); Б – рост биомассы.

Источник: Одум Ю. Основы экологии. М.: 1975.

В ходе сукцессии общая биомасса сообщества сначала возрастает, но затем темпы этого прироста снижаются, и на стадии климакса биомасса системы стабилизируется. Накапливаются как общая масса живых организмов, так и запасы мертвого, неразложившегося органического вещества. В зрелых, устойчивых экосистемах практически весь годовой прирост растительности поступает и расходуется в цепях питания гетеротрофами, поэтому чистая продукция биоценоза, его «урожай», приближается к нулю.

**Методологическая основа расчетов углеродного бюджета.** В качестве методологической основы расчетов углеродного бюджета леса использован балансовый подход, разработанный в экологии и лесоводстве. В экологии скорость ежегодного депонирования фитомассы или чистая продуктивность экосистем НЕР определяется как разность между чистой первичной продуктивностью растений NPP и гетеротрофным дыханием  $R_h$  (то есть питанием и дыханием нефотосинтезирующих микроорганизмов экосистемы).

В 2006 г. МГЭИК выпустила руководящие указания, в третьем разделе которых были предложены два метода расчетов годичного депонирования углерода лесами.<sup>10</sup>

Годовое изменение/разность запасов углерода в живой биомассе на управляемых лесных площадях («уравнение 3.2.3», см. «Руководящие указания...»):

$$\Delta C = (C_{t2} - C_{t1}) / (t_2 - t_1)$$

и

$$C = (V \cdot D \cdot BEF) \cdot (1 + R) \cdot CF,$$

где:

$\Delta C$  – годовое изменение/разность запасов углерода в живой биомассе (включая надземную и подземную биомассу, тС/год;

$C_t$  – общее количество углерода в биомассе, подсчитанное в момент времени  $t$ , тС;

$V$  – товарный объем древесины,  $m^3/га$ ;

$D$  – плотность абсолютно сухой древесины, тонн сухого вещества/ $m^3$  товарного объема (для разных пород от 0,3 до 0,6 т сухого вещества на  $m^3$  объема ствола);

<sup>10</sup> Руководящие указания МГЭИК по эффективной практике для сектора землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства. МГЭИК, 2006.

BEF – коэффициент биомассы для перевода товарного объема древесины (объема стволов) в величину биомассы всей надземной части деревьев;

$R$  – отношение массы корней к массе стволов (для разных пород от 0,2 до 0,3);

CF – доля углерода в сухом веществе древесины (по умолчанию = 0,5), тС/т сухого вещества.

При расчете абсорбции углерода по методу изменения запасов требуются кадастры с данными запаса углерода в биомассе на лесной территории в разные моменты времени. В России наименьшим территориальным источником статистической информации при Государственном учете лесного фонда является лесхоз. Допустимые случайные ошибки при определении запаса насаждений в пределах таксационного выдела изменяются от  $\pm 15\text{--}25\%$  для наземного лесоустройства и до  $\pm 30\%$  при таксации аэрометодами. Следовательно, при среднем по стране удельном запасе древесины  $100 \text{ м}^3/\text{га}$  ошибка измерений составляет  $\pm 15\text{--}25 \text{ м}^3$ , тогда как средний годовой прирост запаса составляет всего  $1\text{--}1,5 \text{ м}^3$ , или  $1\text{--}1,5\%$  запаса. Таким образом, оценка годичного прироста по разности запасов не является статистически достоверной, так как погрешность измерения на порядки превышает амплитуду измеряемых величин. Тем не менее, именно по разности запасов определяют величины нетто-стока (поглощения)  $\text{CO}_2$  в лесах России, которые тиражируются Росгидрометом в Национальных сообщениях РФ.

«Уравнение 3.2.3» применимо для пробных площадей, а также возможно его ограниченное применение для однородных лесных массивов с неизменной во времени площадью и единовременной таксацией запаса с высокой точностью. Этот метод обычно применяется в малолесной Центральной Европе.

Руководящими указаниями МГЭИК предложено также «уравнение 3.2.5», которое базируется на среднем приросте запаса древесины:

$$Gw = Iv \cdot D \cdot BEF (1 + R) \cdot CF ,$$

где:

$Gw$  – средний годовой прирост углерода в живой биомассе, тС/га в год;

$Iv$  – средний прирост запаса в стволовой древесине,  $\text{м}^3/\text{га}$  в год.

Однако средний прирост может значительно отличаться от текущего изменения запаса. Так, средний прирост значительно меньше текущего в молодняках, но больше – в спелых и перестойных древостоях. В целом, этот метод дает достаточно приемлемые результаты, так как отмеченные расхождения имеют разный знак и взаимно погашаются. Опыт показывает, что не существует метода, который бы давал совершенно точные результаты текущего изменения запаса. Даже на постоянных пробных площадях его определяют как усредненное значение за 5 или 10 лет (рис. 3.10).

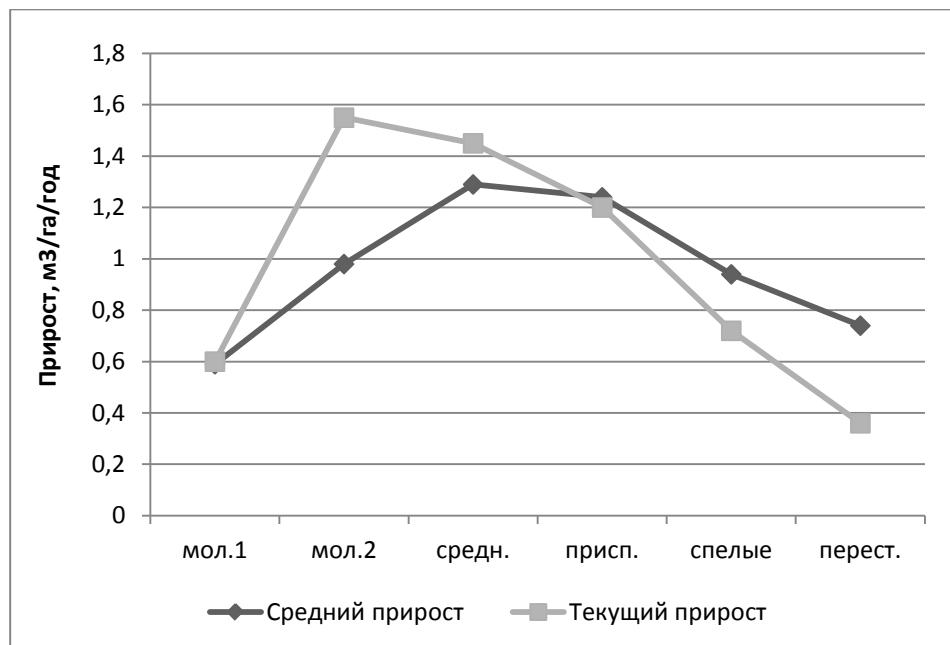


Рис. 3.10. Динамика среднего и текущего прироста запаса древесины лиственницы IV класса бонитета по группам возраста

Источник: Синяк Ю.В., Федоров Б.Г. Возможная стратегия России по сокращению накопления  $CO_2$  в атмосфере. Открытый семинар "Экономические проблемы энергетического комплекса". Семьдесят девятое заседание от 27 марта 2007 года ИНП РАН. М.: 2008. <http://www.ecfor.ru/pdf.php?id=seminar/energo/279>

В работах Б.Н. Моисеева предложен метод расчета годичного депонирования углерода, который позволяет уменьшить значения систематических ошибок. Он основывается на балансовых уравнениях по расчетам биологической продуктивности лесов:

$$G_w \approx NEP = \Sigma(C_L + C_M)_i / A_i$$

где:

$NEP$  – чистая экосистемная продукция, тС/год;

$\Sigma$  – знак суммирования  $NEP$  всех возрастных групп древесной породы;

$(C_L + C_M)_i$  – запас углерода живой и мертвый биомассы в  $i$ -ой возрастной группе, тС;

$A_i$  – средний возраст древостоев в  $i$ -ой группе, лет.

Для получения более точных результатов группу спелых и перестойных древостоев, представленных в Государственном лесном реестре, следует разделять на две подгруппы: "спелые" и "перестойные". Средний возраст древостоев по группам возраста определяют по лесоустроительным материалам в зависимости от возраста рубки и целевого назначения лесов. Точность оценки  $NEP$  *возрастает*, если расчеты ведутся по возрастным группам.<sup>11</sup>

В 1990-е годы в России развернулись исследования по оценке запасов углерода лесных экосистем, процессов накопления и эмиссии углерода. Нами была проанализирована динамика показателя  $NEP$ . Приведем оценки чистой продуктивности лесов России ( $NEP$ ), полученные разными методами, и результаты расчетов, которые передавались в международные организации (табл. 3.3).

Таблица 3.3  
Оценки чистой продуктивности лесов России, МтС/год

Годы	1990	1998	2006	2008
NEP вычислен по разности запасов биомассы лесов				
Источник 1	167	87,7	43,3	
Источник 2	350	370	375	375
Источник 3	278	296	304	306
NEP вычислен по приросту запаса стволовой древесины				
Источники 4-6	570*	598**	600**	619***

Источник 1: Четвертое 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., 2006.

Источник 2: Авторский коллектив: ЦЭПЛ – Замолодчиков Д.Г., Коровин Г.Н., Грабовский В.И., Зукерт Н.В., Биологический ф-т МГУ – Честных О.В., Карелин Д.В., Краев Г.Н. Бюджет углерода лесов России и международные усилия по сохранению глобального климата. Совместное заседание семинаров "Современные проблемы биологии". Биологический ф-т МГУ, 26 октября 2010 г.

Источник 3: Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов не регулируемых Монреальским протоколом за 1990 – 2010 гг., часть 1, М. 2012 (Табл. 7.22)

\* Источник 4: Национальный доклад Российской Федерации по критериям и индикаторам сохранения и устойчивого управления умеренными и бореальными лесами (Монреальский процесс). М.: ВНИИЛМ, 2003.

\*\* Источник 5: Филипчук А.Н., Моисеев Б.Н. Вклад лесов России в углеродный баланс планеты. Сб. научно-технической информации по лесному хозяйству. Лесохозяйственная информация, 2003. № 1.

\*\*\* Источник 6: Моисеев Б.Н. Оценка годичного депонирования углерода по запасу древесины в лесах России. Лесное хозяйство, 2011, №1.

Очевидно, что расхождения показателей и по величине, и по динамике настолько существенны, что оценке адекватности этих методов

<sup>11</sup> Б.Н. Моисеев. Оценка годичного депонирования углерода по запасу древесины в лесах России // Лесное хозяйство, 2011, №1.

применительно к условиям России должны быть посвящены специальные скрупулезные исследования.

В реальных измерениях на лесных пробных площадях величину NEP получают суммированием годовых приростов запасов живой и мертвый фитомассы (без органики почв), так как точно измерить текущую (сезонную) NEP не представляется возможным даже при детальных обследованиях пробных площадей. Суть в том, что текущая NEP формируется из чистых (“непосредственно видимых”) приростов (толщины колец) биомассы древостоя. При этом она компенсирует годичный естественный отпад и опад живой фитомассы и восполняет потери мортмассы, которые произошли в результате окисления и гетеротрофного дыхания  $R_h$  за текущий год.

Соотношение годичных приростов фитомассы и NEP лесов определяется следующим образом:

$$NEP \approx \Delta Live + \Delta Mort \approx STOCK_{L+M}/AGE ,$$

где:

NEP – чистая экосистемная продукция или средний прирост живой и мертвый фитомассы;

$\Delta Live$  – чистый прирост запаса живой фитомассы;

$\Delta Mort$  – чистый прирост запаса мертвый фитомассы;

$STOCK_{L+M}$  – запас углерода живой и мертвый фитомассы;

AGE – средний возраст древостоев биома.

Для территорий величину NEP вычисляем путем деления суммарного запаса живой и мертвый фитомассы  $STOCK_{L+M}$  (без органики почв) на средний возраст древостоев AGE.

Конечно, в настоящее время трудно научно обоснованно прогнозировать скорость роста российских лесов (и соответственно NEP) до конца текущего столетия. Но основания для прогнозирования все же существуют.

Оценим воздействие «нагревающейся» климатической системы на динамику адаптации к потеплению климата элементов биосферы. Режим почвенных и поверхностных вод суши меняется практически синхронно с изменением климата. Сравнение скоростей миграции лесных видоизменяющихся биоценозов (8-50 км/век) и скоростей перемещения климатических зон в северном направлении на 150-550 км/век (при сценарии потепления приземного воздуха на 1-3,5°C) показывает, что эволюция биосферных систем и трансгрессия лесов бу-

дет почти на порядок отставать от изменения климатических параметров. В этих условиях ожидается, что общая площадь лесных биомов и их продуктивность возрастут, но изменятся и стрессовые ситуации в экологических системах<sup>12</sup>.

Анализ информации Государственного учета лесного фонда, показывает, что с 1990 по 2008 гг. НЕР лесов России вырос с 570 МтС/год до 619 МтС/год, т.е. продуктивность леса за 18 лет выросла на 8,6%<sup>13</sup>.

В работах В. А. Алексеева и А. Швиденко отмечается, что рост продуктивности лесов России был вызван увеличением концентрации CO<sub>2</sub>, повышением температуры воздуха и уровня осадков. Продуктивность лесов (NPP) России увеличивалась в течение последнего полувека со скоростью 0,2-0,5% в год. Расчеты, выполненные на основе данных ГУЛФ, показали, что с 1961 по 1998 гг. продуктивность древостоев росла в среднем на 0,5% в год. В эти годы темпы повышения приземной температуры воздуха в России практически в три раза превышали таковые для земного шара<sup>14</sup>.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН выявил для азиатской части России увеличение вегетационного периода на 4-6 дней за период с 1975 по 2005 гг. Динамика количества осадков в этой области характеризуется положительным трендом в 5-15 мм/декада. Отмечена тесная связь продуктивности лесов с продолжительностью вегетационного периода развития растений.<sup>15</sup>

Изменения в состоянии природных экосистем суши, связанные с изменением климата, обнаружены по многим параметрам, полученным в результате работы сетей мониторинга в России, – в сроках фенологических событий у растений, в приросте деревьев, в ареалах на-

<sup>12</sup> Федоров Б.Г. Экономико-экологические аспекты выбросов углекислого газа в атмосферу // Проблемы прогнозирования, 2004, №5, С. 86-100.

<sup>13</sup> Филипчук А.Н., Мoiseев Б.Н. Вклад лесов России в углеродный баланс планеты // Сб. научно-технической информации по лесному хозяйству. Лесохозяйственная информация, 2003, №1; Мoiseев Б.Н. Баланс органического углерода в лесах и растительном покрове России // Лесное хозяйство, 2007, №2; Мoiseев Б.Н.. Оценка годичного депонирования углерода по запасу древесины в лесах России // Лесное хозяйство, 2011, №1.

<sup>14</sup> Алексеев В.А., Марков М.В. Статистические данные о лесном фонде и изменении продуктивности лесов России во второй половине XX в. Санкт-Петербургский лесной экологический центр, 2003; Schvidenko A., Schepaschenko D., McCallum I., Nilsson S. Impact of terrestrial ecosystems of Russia on the global carbon cycle from 2003-2008. An attempt of synthesis // Proc. of the International Conf. ENVIROMIS, 2010, Tomsk, RAS, Pp. 49-52.

<sup>15</sup> Модели изменения биосферы на основе баланса углерода (по натурным и спутниковым данным и с учетом вклада бореальных экосистем). Промежуточный отчет по междисциплинарному интеграционному проекту № 50 за 2009 г. СО РАН. Новосибирск, 2009.

секомых – вредителей леса, в смещении ареалов доминирующих видов растений на север<sup>16</sup>.

Подобный вывод сделали и экологи США на основе обмера деревьев в лесах на атлантическом побережье страны. Было выявлено, что более 90% деревьев за 22 года (таксацию начали в 1987 г.) росли в 2-4 раза быстрее прогнозируемого тренда. В это же время концентрация  $\text{CO}_2$  повысилась на 12%, средняя температура – на  $0,3^{\circ}\text{C}$ , вегетационный период удлинился на 7-8 дней<sup>17</sup>.

Введем некоторые дополнения к действующей методике расчета депонирования углерода лесами. Согласно этой методике, чем больше объем рубок, тем меньше объем депонирования углерода лесами, т.е. накопление углерода лесами снижается по мере увеличения объемов рубок. Но показатель NEP за последние десятилетия увеличивался при росте объема рубок<sup>18</sup>.

Одно из объяснений этого явления – изменение возрастной структуры лесов. За три с половиной десятилетия (1966-2003 гг.) леса «помолодели» почти на 20 лет. За это время доля молодняков и средневозрастных лесов в общей площади лесов увеличилась с 26,5% в 1966 г. до 46% в 2003 г. При этом произошло снижение доли спелых и перестойных лесов с 63% в 1966 г. до 44% в 2003 г. *Поскольку молодняки поглощают  $\text{CO}_2$  почти на порядок более интенсивно, чем спелые и перестойные леса, то при рубках лесов величина NEP возрастает. По-видимому, происходит постепенное омоложение лесов за счет рубок, лесных пожаров и т.п. Таким образом, при рубках леса происходит расширенное воспроизводство углеродопоглощающей способности леса.*

В конечном итоге получаем, что поглощающая способность российских лесов (NEP) будет систематически возрастать от 650 МтС/год в настоящее время до 800-850 МтС/год к концу века (рис. 3.11).

<sup>16</sup> Шестое национальное сообщение Российской Федерации, 2013.

<sup>17</sup> McMahon, Sean M., Parker, Geoffrey G., Miller, Dawn R. Evidence for a recent increase in forest growth //Proceedings of the National Academy of Sciences, February 23, 2010 vol. 107 no. 8.

<sup>18</sup> Национальный доклад Российской Федерации по критериям и индикаторам сохранения и устойчивого управления умеренными и бореальными лесами (Монреальский процесс). М.: ВНИИЛМ, 2003; Филипчук А.Н., Моисеев Б.Н. Вклад лесов России в углеродный баланс планеты // Сб. научно-технической информации по лесному хозяйству. Лесохозяйственная информация, 2003. № 1.

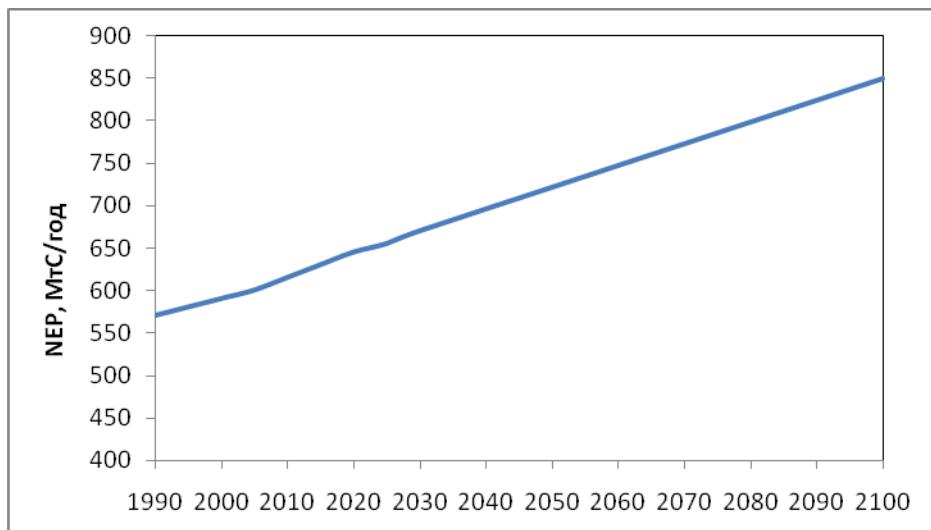


Рис. 3.11. Динамика и прогноз НЕР лесов РФ, МтС/год

Источники: Показатели за 1990 г., 2000 г. – Моисеев Б.Н. Показатели за 2010-2030 гг. – “Прогноз лесного сектора Российской Федерации до 2030 года. Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций, Рим, 2012, Табл. 3.4; Показатели 2030-2100 года – экстраполяция по показателям за 2010-2030 гг.

Фотосинтезирующий «зеленый пояс» суши и карбонная система океанов весьма эффективно удаляют CO<sub>2</sub> из атмосферы. Тем не менее, концентрация CO<sub>2</sub> в атмосфере продолжает увеличиваться. Относительно реальным методом воздействия на баланс CO<sub>2</sub> является управление экосистемами суши, 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 CO<sub>2</sub> в атмосферу) леса могли бы поглотить атмосферный углерод за 10-20 лет.<sup>19</sup>

**Потери депонирования в лесных экосистемах.** Вышесказанное – это приходная сторона бюджета леса. Теперь рассмотрим и другие (расходные) составляющие углеродного бюджета леса.

Потери (эмиссия) углерода в лесных экосистемах складываются в основном при рубке и вывозе древесины, в результате лесных пожаров, а также в очагах вредителей и болезней леса и т.п.

Расчеты суммарных годовых потерь осуществляют по формуле:

$$\text{Loss} = \text{Cut} + \text{Waste} + \text{Burn} + \text{Pest} + \text{Fuel} ,$$

где:

Loss – суммарные годовые потери прироста углерода, МтС/год;

<sup>19</sup> Писаренко А.И. Перспективы увеличения депонирования углерода в лесах России // Лесное хозяйство, 2001, №1.

Cut – вывоз (эмиссия) углерода заготовленной древесины, МтС/год;

Waste – эмиссия углерода при сжигании (и окислении) древесных отходов и потерь на лесосеках, лесовозных дорогах, верхних и нижних складах, МтС/год;

Burn – эмиссия углерода древесины и подстилки, сгоревших во время лесных пожаров, МтС/год;

Pest – эмиссия углерода фитомассы в очагах вредителей и болезней леса, МтС/год;

Fuel – эмиссия углерода при сжигании отопительных дров, заготовленных в лесу населением самостоятельно, МтС/год.

#### Потери углерода от рубок главного пользования и рубок ухода.

Объем заготовки древесины характеризует состояние ресурсной базы и развитие лесной промышленности. По объемам заготовки древесины Россия находится на четвертом месте в мире после США, Бразилии и Канады.<sup>20</sup>

В конце 1980-х годов ежегодная площадь сплошных рубок составляла около 2 млн. га. Социально-экономические реформы начала 1990-х годов привели к резкому снижению площадей рубок (в 1998 г. – до 0,5 млн. га). Во время рыночных преобразований экономики в лесной промышленности произошел кризис. Научно-технический и промышленный потенциал были существенно подорваны. Вследствие изменений произошел спад производства, недостаточное использование лесосеки. Значительно сократился объем инвестиций. В итоге, лесоперерабатывающие предприятия (90% от общего числа) перешли в частные руки.

С середины 2000-х годов наблюдалось постепенное увеличение масштабов рубок (в 2009 г. – 1,2 млн. га).

При рубках древесины большие объемы заготовленной древесной массы вместе с содержащимся в ней углеродом вывозят из леса. Согласно правилам отчетности, в рамках Киотского протокола считается, что углерод древесины возвращается в атмосферу непосредственно после рубки, т.е. рубки приводят к эмиссии углерода.<sup>21</sup>

---

<sup>20</sup> Ежегодный доклад о состоянии и использовании лесов Российской Федерации за 2012 г. ВНИИЛМ.

<sup>21</sup> Руководящие указания по эффективной практике для землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства. Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов. – МГЭИК, 2003.

В расчетах учтена растущая мировая потребность в деловой древесине. Российские леса могут стать реальным источником ее удовлетворения. Лесопользование в России характеризуется невысоким уровнем использования лесных древостоев: фактический объем рубок во много раз меньше потенциального объема лесопользования (см. табл. 3.4).

Таблица 3.4

Показатели интенсивности лесопользования

Годы	1990	2000	2005*	2010*
Расчетная лесосека, млн. м <sup>3</sup>	504,2	510,6	633	
Фактически заготовлено древесины, млн. м <sup>3</sup>	336,5	152,3	185,8	175,0
Площадь отвода лесосек, тыс. га	916	762	929	875
Заготовлено с 1 га отведенной лесосеки, м <sup>3</sup> /га	368	200	200	200

*Источник: Государственный доклад О состоянии и использовании лесных ресурсов Российской Федерации в 2002 году.*

\* Оценки автора.

Эти данные особенно важны при учете экспорта древесины, который сейчас считается нашим выбросом углерода. В соответствии с государственной политикой по стимулированию глубокой переработки древесины и тенденциями ее развития, рост экспорта круглого леса будет несущественным, а доля поставок на экспорт необработанной древесины, по прогнозу, должна снизиться. Но мировая потребность в древесине остается достаточно высокой, и российские ресурсы, без ущерба воспроизводству леса, могут экономически эффективно покрывать возникающие запросы.

Общий объем текущей лесозаготовки (2014 г.), включая рубки ухода, составил около 200 млн. м<sup>3</sup>. Экспорт древесины вырос с 19,0 млн. м<sup>3</sup> в 2013 г. и достиг 20,9 млн. м<sup>3</sup> в 2014 г.

Расчетные оценки объемов рубок, экспорта и эмиссии срубленной и переработанной древесины приведены в табл. 3.5.

Таблица 3.5

## Объем рубок, экспорт и эмиссия срубленной и переработанной в России древесины

Годы	1990	2000	2010	2015	2020	2025	2030	2100
Объем рубок, млн. м <sup>3</sup>	337	152	174	200	225	250	275	700
в том числе,								
Экспорт, млн. м <sup>3</sup>	43	30	22	24	25	28	30	60
Переработано в России, млн. м <sup>3</sup>	287	138	154	176	200	222	245	640
Эмиссия углерода при рубках, экспорте и переработке древесины, МтС	66	34	25	30	36	42	50	140

Источник: расчеты автора.

В прогнозируемом сценарии при максимальных темпах развития лесопользования к концу столетия объем вырубки достигнет величин расчетной лесосеки – 700 млн. м<sup>3</sup>/год (рис. 3.12). Ожидаемые значения эмиссии углерода при рубках, экспорте и переработке древесины показаны на рис. 3.13.

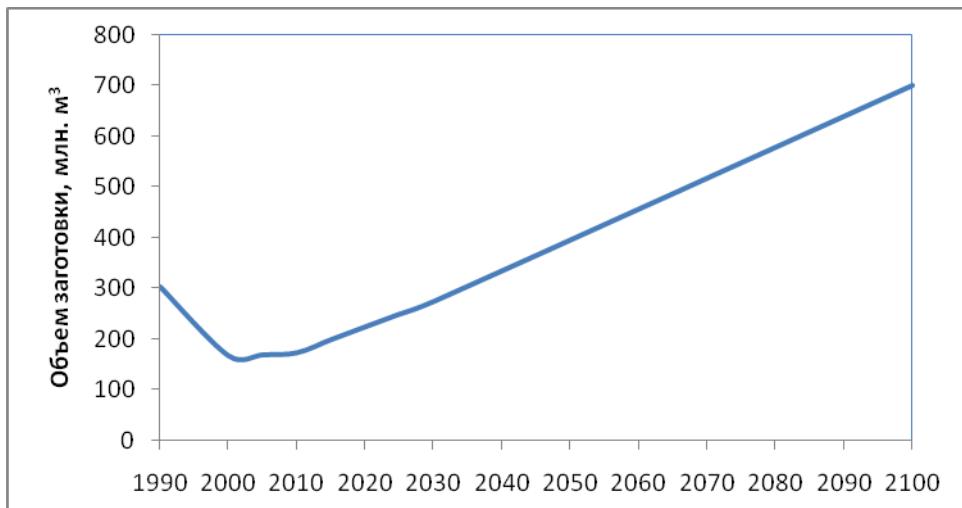


Рис. 3.12. Динамика и прогноз заготовок древесины

Источник: Прогноз развития лесного сектора Российской Федерации до 2030 года; дальше – по расчетам автора.

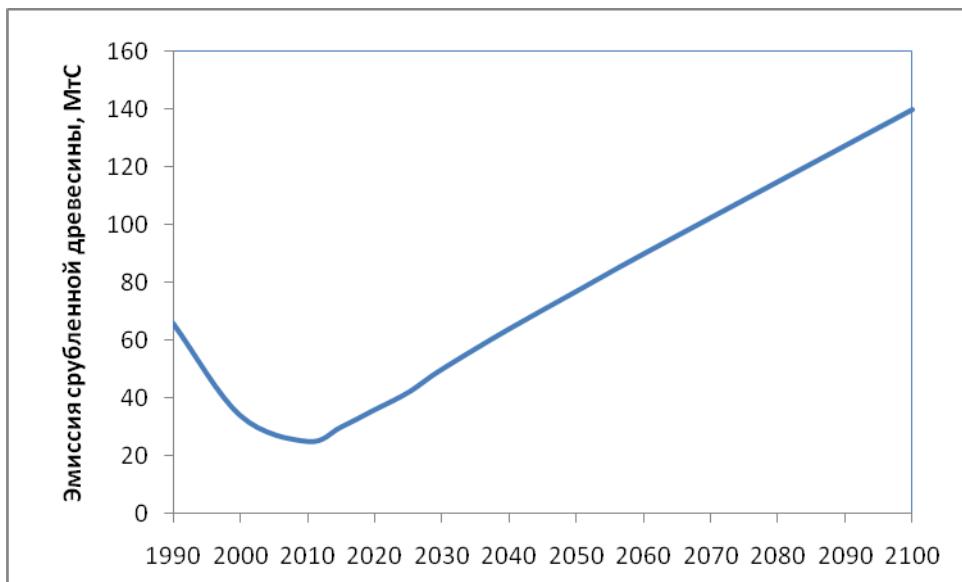


Рис. 3.13. Эмиссия срубленной и обрабатываемой в России древесины, МтС

Лесосека – заготовка и воспроизведение древесины. Заготавливается спелая древесина. Эти леса биологически созрели, и их рубка уменьшает запасы лесного фонда. Поэтому при вычислении годового депонирования относить величину рубки леса к одномоментным потерям (эмиссии) углерода некорректно. **По определению экосистемы леса, НЕР снижается не на величину, равную фактическому годовому объему рубок древесины старших возрастных групп, а на размер годовых потерь фотосинтезирующей способности срубленных деревьев.**

Нарушенные участки зарастают молодняком. В первые же годы вырубленная площадь ассимилирует углерод эффективнее спелых деревьев, т.е. происходит расширенное воспроизведение депонирующей способности леса: чем интенсивнее молодняки заменяют срубленные древостои, тем больше углеродонакапливающая способность нарушенной лесной территории.

В качестве доказательства вышеизложенного приведём результаты исследований из работы СО РАН (2009):<sup>22</sup>

В результате сплошной рубки леса в таежной зоне Красноярского края появление открытого пространства на месте темнохвойных лесов коренным образом меняет режим освещения, температуры, влажности и других факторов. Эти изменения неблагоприятны для

<sup>22</sup> Модели изменения биосфера на основе баланса углерода (по натурным и спутниковым данным и с учетом вклада бореальных экосистем). Промежуточный отчет по междисциплинарному интеграционному проекту №50 за 2009 г. Сибирское отделение РАН. Новосибирск, 2009. [http://ousnano.sbras.ru/userfiles/file/otch\\_int\\_pr\\_50\\_09.pdf](http://ousnano.sbras.ru/userfiles/file/otch_int_pr_50_09.pdf)

таежных растений (таких как черника, мох и т.п.) и животных, их развитие угнетается. Зато на освещенных, относительно сухих и хорошо прогреваемых местах формируется сообщество из светолюбивых трав. Снег на вырубках раньше покрывает осеннюю землю, плотность и высота снежного покрова больше чем в лесу и почва раньше оттаивает весной. Первыми здесь развиваются виды с легко распространяемыми семенами: вейник, иван-чай и другие – это стадия открытой вырубки. Позднее начинается лесовозобновление: прорастают светолюбивые лиственные породы (осина, береза, ивы), поселяются кустарники. Одновременно формируется связанное с лугово-кустарниковой растительностью животное население: многочисленные и разнообразные насекомые, грызуны, исходно связанные с лугами и лесными полянами; развитие ягодных кустарников привлекает большое число видов птиц, наличие хорошо прогреваемых мест – ящериц, змей. Формируется богатое и разнообразное сообщество застраивающей вырубки. Эта стадия занимает в среднем 2-3 года.

В дальнейшем начинается интенсивное развитие светолюбивых мелколиственных древесных пород (осины, березы). Постепенно подросшие деревья вытесняют кустарники и наиболее светолюбивые виды трав; кустарниково-луговое сообщество сменяется лиственным жердняком – молодым лесом с несомкнутыми кронами.

После рубки древостои зеленомошных сосняков, как правило, возобновляются через стадию мелколиственного (березового) молодняка, с формированием впоследствии березово-соснового молодого древостоя, каковым и является фитоценоз 20-летнего молодняка с общим запасом 131,6 тС/га. При отсутствии пожаров высокой интенсивности формируются высоко сомкнутые средневозрастные насаждения (сомкнутость древостоя является одной из определяющих характеристик леса).

В целом пул углерода в сосняках зеленомошной группы типов леса увеличился за 70 лет на 15% (150,9 тС/га:131,6 тС/га) (см. табл. 3.6), но продуктивность сосняка резко (в 18 раз) снизилась (2,9 тС/(га год):0,16 тС/(га год)). Так происходит вторая сукцессия леса на делянках и поглощающие свойства леса быстро восстанавливаются. В табл. 3.6 показана динамика накопления запаса органического вещества в сосновых лесах по мере увеличения возраста деревьев.

Таблица 3.6

## Запас органического вещества и НЕР сосняков

<i>Возраст древостоя, лет</i>	<i>20</i>	<i>55</i>	<i>90</i>	<i>250</i>
Общий запас органического вещества, тС/га	131,6	166,5	150,9	200,4
в том числе, древостой, тС/га	47,0		98,2	
Чистая экосистемная продукция (НЕР), тС/га в год	2,9	0,74	0,16	-0,31

Источник: *Модели изменения биосферы на основе баланса углерода (по натурным и спутниковым данным и с учетом вклада boreальных экосистем). Промежуточный отчет по междисциплинарному интеграционному проекту №50 за 2009 г., СО РАН. Новосибирск, 2009. [http://ousnano.sbras.ru/userfiles/file/otch\\_int\\_pr\\_50\\_09.pdf](http://ousnano.sbras.ru/userfiles/file/otch_int_pr_50_09.pdf). Из табл. 8. Запас органического вещества в биомассе, фитодетрите и гумусе почв зеленомошных сосняков и из табл. 10. Интенсивность потоков углерода сосняков.*

Рассмотрим на примере, приведенном в работе Института леса СО РАН, показатель “рубка леса”. Для примера оценки изъятия древостоя и учета его в углеродном бюджете и зарастания территории молодняком принятые показатели сосняков. Предположим, что срубили четвертую часть надземного 90-летнего древостоя сосняка (98,2 тС/га) в объеме 25 тС/га и вывезли его из леса. По рекомендации методики МГЭИК в углеродный бюджет леса эту величину необходимо внести в раздел эмиссия (потери).

На самом же деле углеродный бюджет “оскудел” на потерю фотосинтетической способности (НЕР) срубленного древостоя, который составлял часть производственной способности территории, равной 0,16 тС/га год. А по правилам МГЭИК следует записать в бюджет лесного пула как эмиссию 25 тС/га год, т.е. в 156 раз (25 тС/га:0,16 тС/га год) большую величину!?

Вывезенная органика с течением времени всё-таки разлагается. В какую же статью расхода/прихода надо бы ее отнести? Очевидно – на потребителей древесины, главными из которых являются коммерческие организации. Предприятия лесопромышленного комплекса потребляют древесину и в большом объеме экспортируют древесину и лесную продукцию. Все меры, связанные с сокращением выбросов СО<sub>2</sub>, следует относить на эти предприятия, которые приобрели углеродоёмкий ресурс. Но уж никоим образом нелогично относить её на углеродный бюджет леса и диктовать лесному ведомству объемы рубок с целью сокращения выбросов углекислого газа! Дровишки-то из лесу вывезли и карбонный лес, освободившись от “старья”, продол-

жает быстро взросльть по своим законам. При этом в условиях рыночной экономики должно действовать правило полной материальной ответственности тех, кто рубит лес (в большинстве своем это коммерческие предприятия), – взял ресурс у государства – полноценно возобнови (восстанови) его в определенные государством сроки. Как утверждает проф. И.В. Шутов – «Так раньше делали в казенных лесничествах России. Следуют этому правилу в Финляндии, Канаде, США»<sup>23</sup>.

Но это еще не все! На месте порубочной делянки вырастают новые растения (лес омолаживается!), которые ассимилируют CO<sub>2</sub> с большей в 18 раз интенсивностью. Это есть реальный прирост углеродопоглощающей способности порубочной делянки. Из этого следует, что *в результате рубок* (при соответствующем учете других компонентов насаждений – подрост, подлесок, травянисто-кустарниковый ярус, почвенный покров) *происходит расширенное (и еще какое!) воспроизведение углеродопоглощающих качеств леса*. Такой фактор должен получить экономическую оценку вырубаемой территории не только по объемам древесины, но и по их вкладу в углеродный бюджет.

Подобные искажения при исчислении бюджета леса явились результатом фальсификации дефиниций – произошла подмена одного понятия (потеря фотосинтезирующей способности изъятого древостоя) другим (потеря лесного фонда в размере объемов рубок). Вот к чему всё это и привело!

Поэтому принципиально важно – в углеродный бюджет леса составляющая «рубка леса» с соответствующей площадью лесосек должна включаться не как потеря (эмиссия), а как омоложение вырубленной территории – увеличение NEP, а окисление древесины и древесной продукции следует учитывать уже по мере её использования потребителем.

Незаконные рубки. Незаконные вырубки российских лесов в 2014 г. составили 1,3 млн. м<sup>3</sup>, что на 21% больше показателей 2013 г., сообщили РИА Новости в Федеральном агентстве лесного хозяйства (Рослесхоз).<sup>24</sup> А это на два порядка меньше объемов заготовленной в эти годы древесины. По оценкам большинства независимых экспертов, ситуация с незаконными рубками в России гораздо хуже: «...

<sup>23</sup> Шутов И.В. Остановить деградацию лесов России! Изд. 2-е, расширенное и дополненное – М.: «Лесная страна», 2007.

<sup>24</sup> Рослесхоз: незаконные вырубки леса выросли на 21% в 2014 году РИА Новости, <http://ria.ru/society/20150619/1079067241.html>

альные масштабы незаконной заготовки эксперто оцениваются в 20-25% от объемов законных рубок, то есть они составляют не «более 1 млн. м<sup>3</sup> в год», а 40-50 млн. м<sup>3</sup>, а по некоторым оценкам – и до 70 млн. м<sup>3</sup> в год»<sup>25</sup>.

Воруют в основном спелую древесину. Лесная территория до незаконных рубок активно поглощала углекислый газ из воздуха. Далее допустим, что кругляк очутился за границей России и, тем самым, эмиссия кругляка не должна учитываться в национальном углеродном балансе. После вывоза ворованной древесины осталась захламленная территория. Вырубленные «лесозаготовки» освободились от «старья» и на ней быстро выросли молодняки. В результате этого фотосинтезирующая поглощающая способность вырубленной территории увеличилась в несколько раз. Таким образом, хотя это и выглядит кощунственно, подобного рода рубки древесины способствуют расширенному воспроизводству карбонных способностей леса.

О проблемах воровства леса с подробным анализом социально-экономической ситуации в России проф. И.В. Шутов хорошо написал в своей книге<sup>26</sup>.

*Сжигание древесных отходов.* Лесозаготовка сопровождается изъятием стволовой древесины, при этом на лесосеках остается значительное количество порубочных остатков, а также неиспользованная древесина. Неутилизированные порубочные остатки практически не изымаются с лесосек и не используются в дальнейшем. Правилами заготовки древесины установлено, что при производстве работ по заготовке древесины обеспечивается очистка мест от порубочных остатков, неликвидной древесины и валежника, мешающих проведению лесовосстановительных работ. Собранные порубочные остатки в основном сжигают, иногда измельченные порубочные остатки разбрасывают на месте рубки в целях улучшения лесорастительных условий. Обязательному сжиганию подлежат порубочные остатки при проведении унитарных рубок в очагах вредных организмов, где они могут оказаться источником распространения инфекции или средой для ее сохранения и заселения вторичными вредными организмами.

Долю эмиссии углерода от сжигания (и окисления) порубочных остатков и отходов принимают эксперто в размере от 50 до 20% от суммарного объема углерода древесины, заготовленного в ходе про-

<sup>25</sup> Гринпис России: данные государственной статистики о состоянии лесного хозяйства не отражают действительности 17.09.2013 <http://globaledge.ru/ru/ru-press/ru-news/n107.html>

<sup>26</sup> Шутов И.В. Остановить деградацию лесов России! Изд. 2-е, расширенное и дополненное – М.: «Лесная страна», 2007.

ведения рубок главного пользования, рубок промежуточного пользования и прочих рубок<sup>27</sup>.

Учитываем и то, что культура использования срубленной древесины должна повыситься и ценность древесины и отходов должна повлиять на эффективность ее использования. К положительным тенденциям в лесопользовании за последние годы можно отнести значительное снижение потерь древесины: объемы недорубов и размер неочищенных после рубки площадей снизились почти в два раза. Уменьшились и относительные величины потерь на кубометр заготовленной древесины. Ощутимо сократился размер ущерба, наносимого лесным ресурсам в ходе лесозаготовок.

Но как бы ни использовались остатки после рубок, эти технологические отходы заготовки древесины в конце концов разлагаются, окисляются и в балансе бюджета леса должны быть отнесены к экзогенным поставщикам углерода в атмосферу – эмиттерам.

Заготовка дров для отопления. Для расчета потерь углерода в результате сжигания отопительных дров были использованы оценки из работы Б.Н. Моисеева (2011)<sup>28</sup>, в которой приняты расходы древесины на эти цели в размере 1-2 м<sup>3</sup>, или 250-500 кгС на одного человека в год, что составляет около 60 млн. м<sup>3</sup>, или 15 МтС/год.

Поврежденные леса. Способность леса восстанавливать экосистемные функции после нарушающих воздействий или адаптироваться к ним зависит от его здоровья и жизнеспособности. Леса горят, болеют, растительность объедают насекомые-вредители, ветровалы и снеголомы повреждают деревья и т.п.

За прошедшие четыре десятилетия наметилась устойчивая тенденция к увеличению площади повреждений лесов и потерь лесных ресурсов от пожаров, вредителей и болезней. Общая площадь поврежденных лесов в 2010 году составила около 7,2 млн. га. Динамика площади лесных пожаров, очагов вредителей и болезней леса носит волнообразный характер, что существенно осложняет процесс прогнозирования. По данным Б.Н. Моисеева (2011)<sup>29</sup>, площадь повреждений лесов в результате лесных пожаров, от насекомых-вредителей и болезней леса, ветровала и снеголома возросла с 3 млн. га в 1990 г. до более 6 млн. га в 2010 г., т.е. практически удвоилась за 20 лет.

<sup>27</sup> Моисеев Б.Н. Оценка годичного депонирования углерода по запасу древесины в лесах России //Лесное хозяйство, 2011, №1.

<sup>28</sup> Там же.

<sup>29</sup> Там же.

*Лесные пожары.* Лесные пожары приводят к глубинной деградации экосистем. Они в России не распространены широко, но если они случаются, то принимают масштабы бедствия. В России каждый год леса горят на площади 0,5-1,5 млн. га, бывает, что огнем охватывает «квадрат» 100 на 100 км, а в отдельные годы – в два раза больше.

Как ни странно, но “достоверные” данные о пожарах получены только недавно. “За последние годы нам удалось сделать значительный шаг к решению наболевшего вопроса о достоверности данных о лесных пожарах. В 2015 году, по сравнению с 2014 годом, мы сократили расхождение данных о площадях лесных пожаров ИСДМ-Рослесхоз и органов исполнительной власти субъектов РФ, уполномоченных в области лесных отношений, почти в 250 раз”, – заявил начальник управления охраны и защиты лесов Рослесхоза Виталий Акбердин.<sup>30</sup>

Увеличение возгорания лесов вызвано увеличением частоты и длительности сухой и жаркой погоды в результате потепления климата. Число пожаров возрастает в заселенных равнинных районах России, где до 98% пожаров возникает по вине населения, т.е. не обусловлено изменением климата, а в удаленных северных районах в половине случаев “виноваты” грозы.<sup>31</sup>

Какими бы ни были причины пожара леса, эти факторы являются экзогенными проявлениями жизнедеятельности лесной экосистемы и поэтому не должны учитываться в бюджете леса.

В наших расчетах выбросы и эмиссии углерода в результате пожаров экспертино приняты по доле сгоревшей биомассы на площадях: верховые и подземные пожары – 70...50%, низовые пожары – 10...30% от среднего запаса углерода на этих площадях. К примеру, в 2008 году общая площадь лесных пожаров составила 2,3 млн. га; при этом эмиссия углерода от сгоревшей фитомассы насчитывает 51 МтС (51 МтС: 2,3 млн. га=22 тС/га).

В наших расчетах допускаем, что в конце столетия площадь пожаров достигнет 8 млн. га., рис. 3.14.

---

<sup>30</sup> Расхождение в данных о пожарах между Рослесхозом и регионами снизилось. Начальник управления охраны и защиты лесов Рослесхоза Виталий Акбердин. РИА Новости <http://ria.ru/society/20151216/1343166037.html#ixzz3uajDROXN>

<sup>31</sup> Шерстюков Б.Г. Лесные пожары. Глава 7 в монографии Росгидромета «Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем» / Науч. ред. С.М. Семенов; Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. – М., 2012. – С. 266-300.

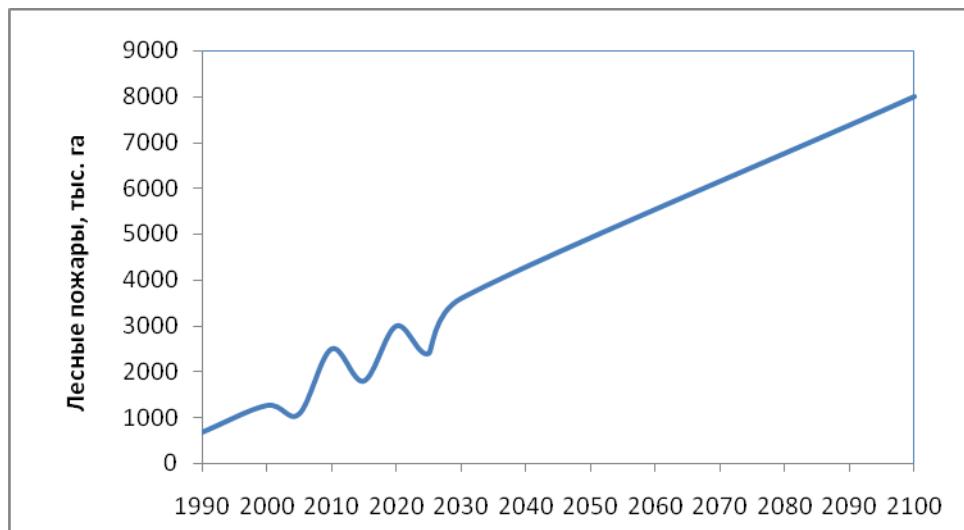


Рис. 3.14. Площадь лесных пожаров, тыс. га

Источник: Прогноз лесного сектора Российской Федерации до 2030 года.

Лесные пожары не полностью уничтожают жизнедеятельность среды. На пустошах начинается вторичная сукцессия. После пожара угарные, удобренные золой, пустоши бурно зарастают и они ассимилируют  $\text{CO}_2$  из атмосферы намного интенсивнее ранее сгоревших, взрослых древостоев.

Вредители и болезни леса. Вспышки численности насекомых, приводящие к гибели насаждений, являются серьезным фактором, который существенно снижает способность лесов депонировать углерод и, одновременно, повышает эмиссию  $\text{CO}_2$  вследствие разложения опада, причем эмиссия углерода не прекращается и после затухания самой вспышки.

Насекомые-вредители и болезни лесов – еще более опасные проявления, чем пожары и лесозаготовки. Площадь повреждений лесов в результате вспышек численности насекомых сравнима с площадью лесов, уничтоженных огнем.

Ежегодные потери углерода живой фитомассы в очагах вредителей и болезней леса можно оценить в размере 50-70% от среднего прироста фитомассы на этой площади (экспертные оценки, Моисеев, 2011). В 2008 г. общая площадь очагов вредителей и болезней леса достигала 3,7 млн. га. В этом случае эмиссия углерода составила 2 МтС ( $2\text{МтС}/3,7\text{ млн. га}=0,5\text{ тС/га}$ ).

Площадь лесов, погибших по данной причине, сильно варьирует. Такая ситуация обусловлена, прежде всего, естественными, природными колебаниями численности насекомых-вредителей, присущими лесной экосистеме.

Такие деструктивные процессы, как болезни леса и размножение насекомых-вредителей, в перспективе возрастут. Это связано с по-

вышением приземной температуры воздуха, а также со стрессами биоценозов, которые вызываются тем, что эволюция биосферных систем и трансгрессия лесов будут почти на порядок отставать от распространения изменений климатических факторов.

На рис. 3.15 даны оценки площади лесов, зараженных вредителями и болезнями леса.

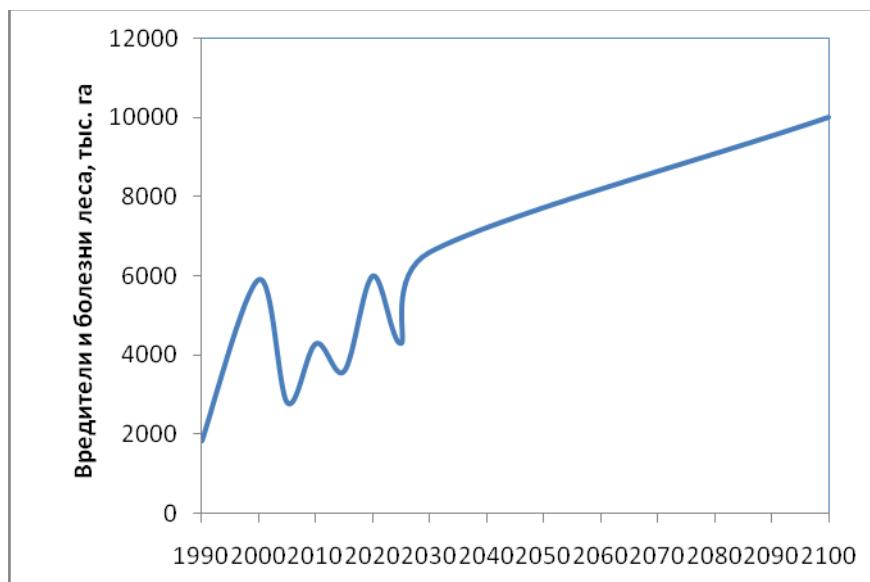


Рис. 3.15. Динамика и прогноз площадей лесов, зараженных вредителями и болезнями леса

Источник: Прогноз лесного сектора Российской Федерации до 2030 года; за пределами 2030 г. – оценки автора.

Ветровал и снеголом. Исторически конструкция дерева эволюционно приспосабливается к погодным условиям местоположения своего произрастания. Повал деревьев вызывается экстремальным проявлением погодных воздействий. Все существующие климатические прогнозы при их расшифровке по погодным условиям указывают на чувствительное увеличение частоты экстремальных погодных проявлений: для России это, в частности, штормовые ветры, ливни и снегопады. Естественно, погибшие деревья больше не фотосинтезируют, а испускают  $\text{CO}_2$ .

Массовый вывал огромного количества деревьев вносит в лесную среду колоссальные изменения, сравнимые с мощным разрушительным воздействием пожаров и рубок. В то же время ветровалы – это природные явления, регулярно повторяющиеся и естественные в жизни леса. Массовый вывал перестойных, биологически обреченных деревьев завершает жизненный цикл старших поколений, освобождая экологическую нишу для новых поколений. Площади проявления

ветровала и снеголома возросли с 200 тыс. га в 1990 г. до примерно 400 тыс. га в 2010 г.<sup>32</sup>

На рис. 3.16 показаны оценки динамики общей площади ветровала и снеголома.

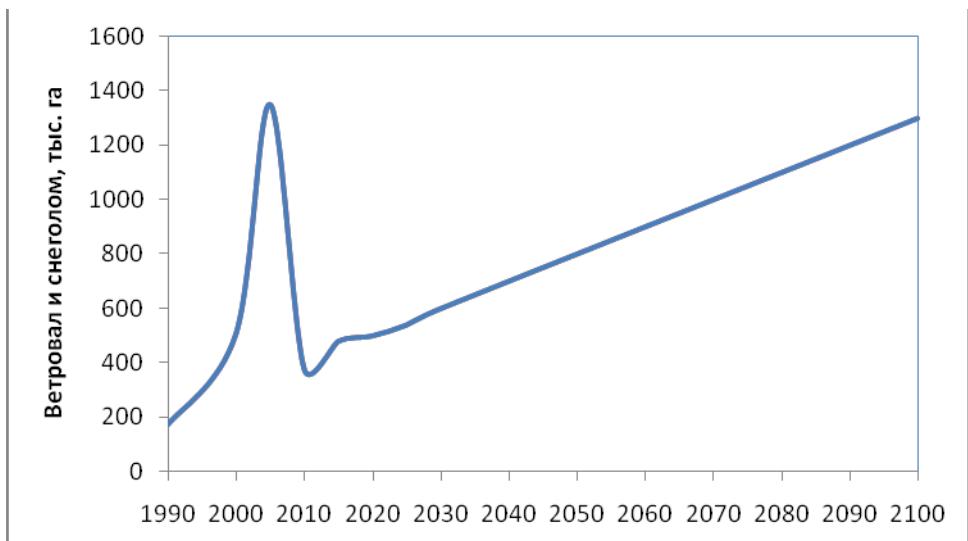


Рис. 3.16. Динамика и прогноз площади проявлений ветровала и снеголома

Источник: Прогноз лесного сектора Российской Федерации до 2030 года; за пределами 2030 г. – оценки автора.

Суммарные значения площади повреждений леса за счет лесных пожаров, насекомых-вредителей и болезней леса, ветровала и снеголома могут возрасти с 6-7 млн. га в настоящее время до 18-20 млн. га к концу века (рис. 3.17), что приводит к увеличению эмиссии от 2-2,5 МтС/год сегодня до примерно 5 МтС/год к 2100 г. (рис. 3.18).

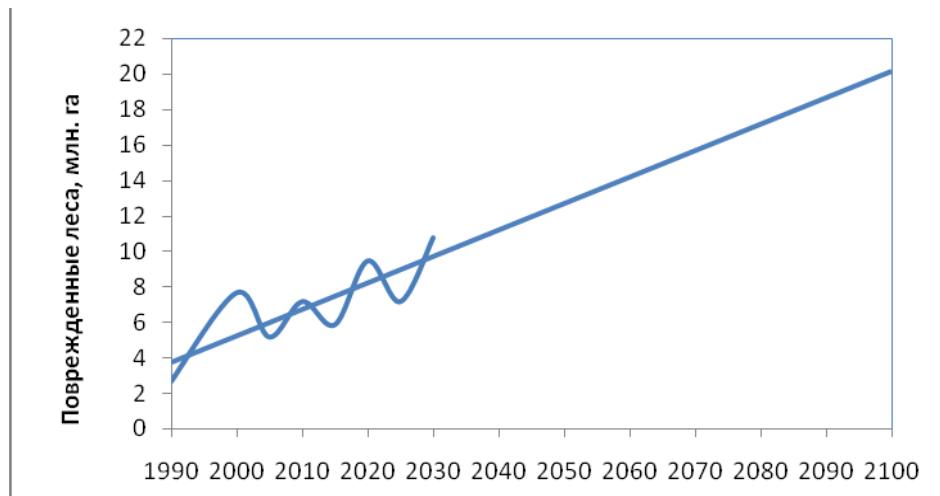


Рис. 3.17. Динамика и прогноз площади повреждений лесов: лесные пожары, насекомые-вредители и болезни леса, ветровал и снеголом

Источник: Прогноз лесного сектора Российской Федерации до 2030 года. Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций, Рим, 2012; за пределами 2030 г. – оценки автора.

<sup>32</sup> Прогноз лесного сектора Российской Федерации до 2030 г.

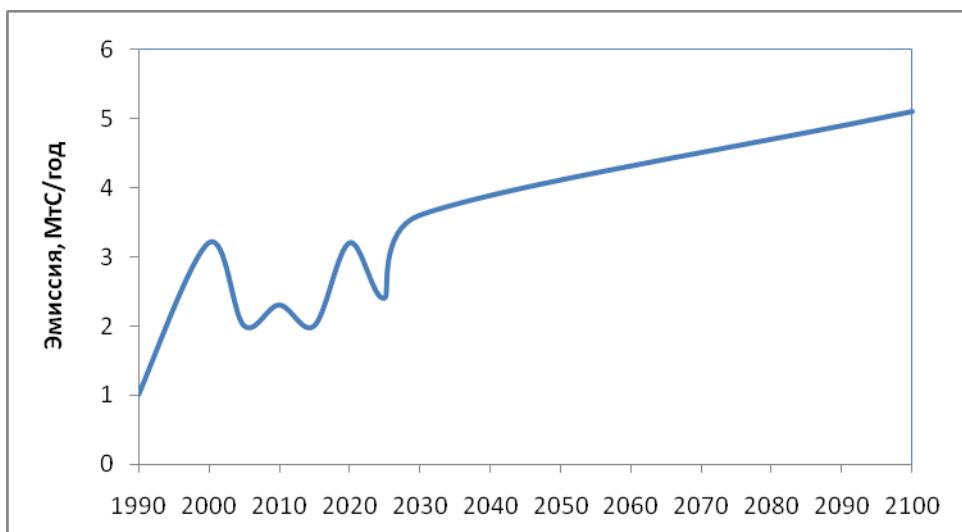


Рис. 3.18. Эмиссия поврежденных лесных экосистем: насекомые-вредители + болезни леса + ветровал и снеголом, МтС

Источник: Прогноз лесного сектора Российской Федерации до 2030 года; за пределами 2030 г. – оценки автора.

Суммарные оценки потерь углерода в лесах сведены в табл. 3.7.

Таблица 3.7

Объемы и эмиссия от срубленной и переработанной в России древесины, пожаров, отходов, оставшихся на территории ворованного леса, и сжигания отопительных дров

Годы	1990	2000	2010	2030	2100
<b>Эмиссия срубленной и переработанной древесины, МтС/год</b>	<b>66</b>	<b>34</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>140</b>
Площадь пожаров, тыс. га	681	1267	4571	3600	8000
<b>Выбросы при пожарах, МтС/год</b>	<b>15</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>60</b>	<b>120</b>
Отходы на лесосеках, млн. м <sup>3</sup> *	132	67	70	110	280
<b>Эмиссия при сжигании отходов, МтС/год**</b>	<b>29</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>24</b>	<b>62</b>
Объем незаконных рубок (воровства леса), млн. м <sup>3</sup>	50	40	30	10	0
<b>Эмиссия отходов от незаконных рубок, МтС/год**</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>2</b>	<b>0</b>
Заготовка дров для отопления, млн. м <sup>3</sup>	60	60	60	60	60
<b>Эмиссия при сжигании отопительных дров, МтС/год</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>13</b>	<b>10</b>	<b>10</b>
<b>Всего эмиссия при рубках, пожарах, сжигании отходов и использовании дров для отопления, МтС/год</b>	<b>136</b>	<b>103</b>	<b>100</b>	<b>146</b>	<b>332</b>

\* Приняты в размере 40% от объема рубок (заготовленной древесины).

\*\* Из расчета 0,22 тС/м<sup>3</sup>.

На рис. 3.19 показаны покомпонентно с нарастающим итогом прогнозы эмиссии углерода при рубках леса, пожарах и сжигании отходов.

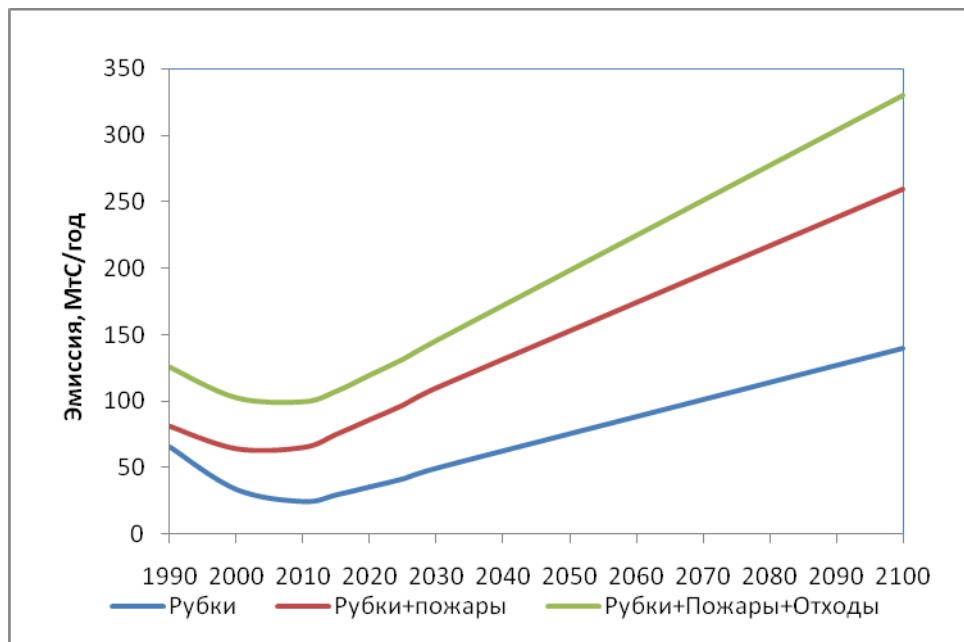


Рис. 3.19. Эмиссия срубленной и переработанной в России древесины + пожары + сжигание и эмиссия отходов порубочных остатков на делянках, отходов территорий незаконных рубок + сжигание отопительных дров, МтС/год

### 3.2.2. Нелесные биомы

Углекислый газ поглощают степи и луга, сельскохозяйственные угодья, тундра, болота, кустарники.

Степи – самый продуктивный биом России и сопоставимы с лесами. Фиксация CO<sub>2</sub> из атмосферы зависит от динамики фотосинтеза растительной экосистемой. Под влиянием изменения климата ожидается дальнейшее увеличение площади степей и их продуктивности.

Сельскохозяйственные угодья России с 1990 года подверглись качественному преобразованию. Прекращение возделывания и перевод значительных площадей пахотных почв в сенокосы и пастбища, а также снижение внесения удобрений в используемые пашни в течение последующих лет привело к сокращению выбросов и к накоплению углерода за счет поглощения CO<sub>2</sub> из атмосферы.

Потепление климата приведет к увеличению температуры приземного воздуха и, тем самым, повышению продуктивности болотной растительности. Но прогрев торфяных залежей болот ускорит процесс окисления гумуса. Это повлечет ускоренное разложение органи-

ческого вещества торфов и вызовет уже антропогенную эмиссию  $\text{CO}_2$ . Поэтому в прогнозах примем, что углеродные потоки болот останутся в состоянии квазиравновесия.

Тундра – холодная среда обитания, для которой характерны: вечная мерзлота почв, низкие температуры воздуха, длинные зимы, невысокая растительность и короткий вегетационный период. В прогнозе допустим, что потепление климата (повышение приземной температуры) приведет к увеличению фотосинтетической активности растительности, хотя общая площадь тундровой зоны уменьшается, на ее месте, вслед за увеличением вегетационного потенциала приживутся более продуктивные растения.

В наших прогнозах принципиально важно, что показатели углеродного бюджета биомов России были, наконец-то, подсчитаны по единой методике и обобщенно изложены в работе Б.Н. Моисеева<sup>33</sup> (табл. 3.8).

Таблица 3.8  
Оценка депонирования углерода нелесными биомами России в начале столетия

Биом	Площадь, млн. га	NPP, MtC/год	Дыхание биомов, MtC/год	NEP, MtC/год	Эмиссия углерода, MtC/год	Депонировано углерода, MtC/год
Луга, с/х угодья	221*	610	340	270	140	130
Болота	153*	180	140	40	4	36
Тундра, кустарники	343**	160	130	30	3	27
Всего	717	950	610	340	147	193

\* Данные Росземкадастра на 01.01.2003 г.

\*\* Приблизительная оценка

Вследствие слабой изученности элементов баланса, составляющих нелесные биомы, прогнозировать величину NEP, тем более в условиях изменения климата, задача весьма неблагодарная. Но, все же, так как вегетационный период растительных сообществ станет продолжительнее и теплее, то в дальнейшем в прогнозных оценках принято, что фотосинтетическая способность и величина депонирования углерода не-

<sup>33</sup> Моисеев Б.Н. Баланс органического углерода в лесах и растительном покрове России // Лесное хозяйство. 2007, №2.

лесными биомами (кроме болот) увеличивается на 0,4% в год и к концу века достигнет величины 250 МтС/год ( $36 \text{ МтС/год} + (130 \text{ МтС/год} + 27 \text{ МтС/год}) \times 1,4$ ).

### 3.3. Итоговый баланс

Итоговые оценки депонирования углерода естественными поглотителями показаны в табл. 3.9. Динамика и прогноз суммарного депонирования углерода биотой России показаны на рис. 3.20.

Таблица 3.9  
Прогноз депонирования российских выбросов лесами и нелесными биомами

Показатели	2000 г., МтС/год	2050 г., МтС/год	2100 г., МтС/год	2000-2100 гг., ГтС/100 лет
Депонировано, всего	746	865	983	86
в том числе:				
- лесами	546	640	733	63
- нелесными биомами	200	225	250	23

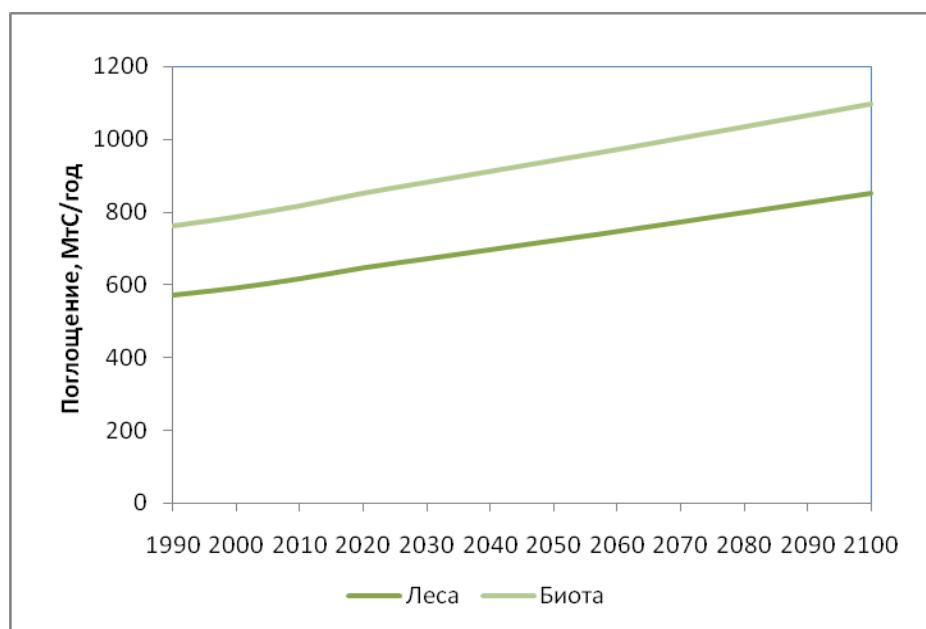


Рис. 3.20. Динамика и прогноз поглощающей способности биоты России

Полные прогнозы выбросов углерода, включая индустриальные выбросы и эмиссию при рубках леса, пожарах, потерии от вредителей и болезней и заготовки дров, приведены на рис. 3.21.

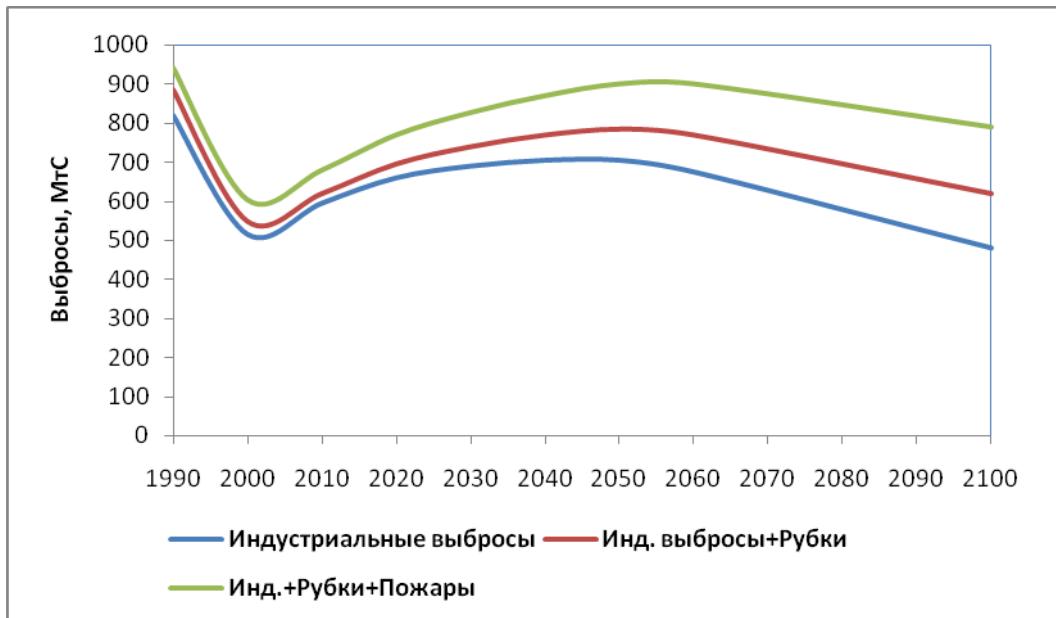


Рис. 3.21. Динамика и прогноз суммарных выбросов: индустриальные выбросы + эмиссия срубленной и обработанной в России древесины + эмиссия от пожаров + эмиссия отходов лесосек после незаконных рубок + эмиссия от сжигания отопительных дров

Исходя из распределения глобальных углеродных выбросов (как показано в главе 1) 27% выбросов углерода в атмосферу поглощается океаном. В составе глобальных выбросов находится и российский  $\text{CO}_2$ . Поэтому в национальном балансе учитываем компонент выбросов, равный 73% общих российских выбросов (рис. 3.22).

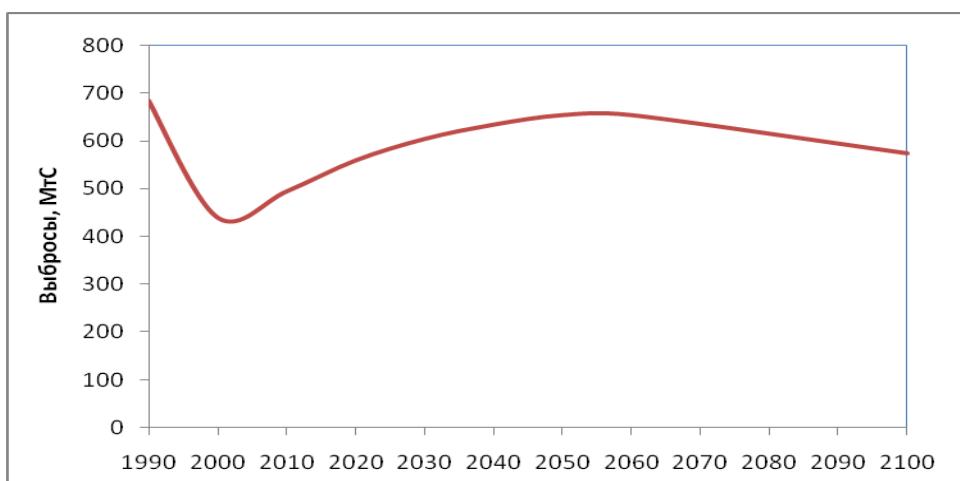


Рис. 3.22. Прогноз суммарных выбросов углерода на территории РФ за вычетом выбросов, поглощенных океаном, в объеме 27% от суммарных выбросов

В результате всех расчетов получены показатели выбросов (рис. 3.22) и поглощений (рис. 3.20), на основе которых составлен углеродный баланс (рис. 3.23).

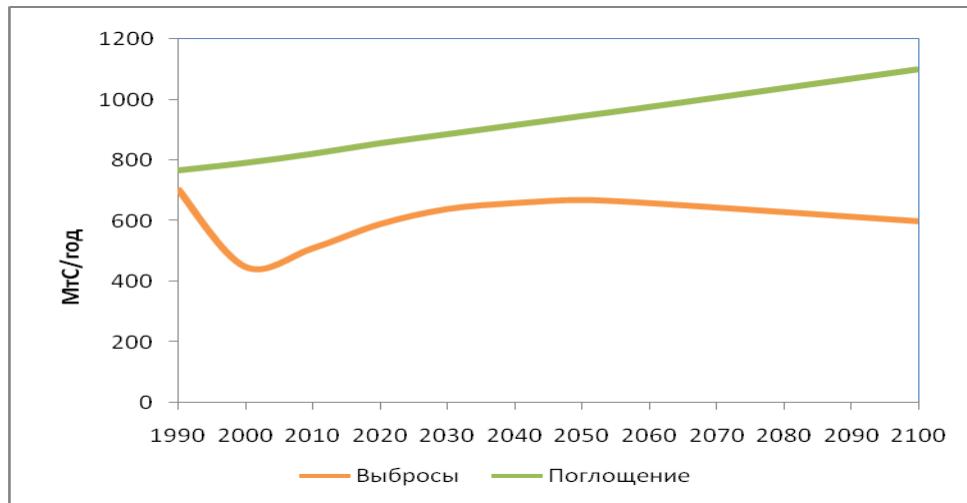


Рис. 3.23. Динамика и прогноз углеродного баланса России в XXI веке

Данные диаграммы показывают, что объем поглощения  $\text{CO}_2$  биотой России (и океаном) существенно превышает объем выбросов.<sup>34</sup> Совершенно очевидно, что остаточные мощности российского фонда поглотителей углерода безвозвратно используют зарубежные эмиттеры.

Этот вывод по-новому заставляет понимать роль России в углеродном балансе мира, в отличие от «официальной» доктрины, изложенной в главе 2, где при оценке поглощающей способности биоты учитываются только «управляемые» леса.

<sup>34</sup> Если не учитывать поглощение парниковых газов океаном, и «поднять» кривую выбросов рис. 3.23 в соответствии с данными рис. 3.21 о суммарных выбросах, то все равно, начиная с 2010 г. можно констатировать превышение поглощений над выбросами. То есть достаточно включить в баланс все элементы биоты суши, чтобы показать, что территория РФ является нетто-поглотителем углерода. Прим. ред.

## 4. ОБ ИСТОРИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ СТРАН В КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЯХ

При оценке антропогенного воздействия на климатическую систему составители Пятого оценочного доклада МГЭИК полагают, что более корректно говорить о суммарном выбросе за тот или иной промежуток времени. Кто больше «виноват» в суммарной эмиссии CO<sub>2</sub>, тот и должен снижать выбросы и «платить» другим странам. Еще десять лет назад такой подход пользовался поддержкой практических всех развивающихся стран, но сейчас ситуация не столь однозначна. По показателю суммарных выбросов Китай вышел на второе место (на первом – США, на третьем – СССР по выбросам по 1991 год), Индия – на седьмом, а Россия – на девятом месте (табл. 4.1).

В настоящее время Китай по показателю годовых выбросов CO<sub>2</sub> вышел на 1-е место, на втором – США, на третьем – ЕС, Индия – на 4-ом, а Россия – на 5-ом месте.

Таблица 4.1

Выбросы CO<sub>2</sub> от сжигания ископаемого топлива и производства цемента за исторический период  
(«историческая ответственность» стран)

Место в мировом рейтинге	Страна, период расчетов	Выбросы CO <sub>2</sub> за исторический период, млрд. т
1	США (1800-2010)	355
2	Китай (без учета Тайваня) (1899-2010)	132
3	СССР (1830-1991)	113
4	Соединенное королевство (1751-2010)	73,5
5	Япония (1950-2010)	48,5
6	Германия (1792-1946, 1991-2010)	43,8
7	Индия (1858-2010)	37,6
8	Франция (1802-2010)	34,6
9	Российская Федерация (1992-2010)	31,6
10	ФРГ (1945-1990)	27,5

Источник: Boden, T., Marland, G., Andres, B. (2013). *National CO<sub>2</sub> Emissions from Fossil-Fuel Burning, Cement Manufacture, and Gas Flaring: 1751-2010*. Oak Ridge, TN: Carbon Dioxide Information Analysis.

Присвоение места в мировом рейтинге «исторической ответственности» стран по выбросам CO<sub>2</sub> от сжигания ископаемого топлива

и производства продуктов из минерального сырья за исторический период имеет место быть, но этот показатель не объективен. Оценка ответственности стран должна исходить и из учета поглощения. Сопоставление выбросов и поглощений осуществляется в национальном углеродном балансе. Такая попытка, ориентированная и весьма приблизительная, была предпринята нами более десяти лет назад (деление на страны-эмиттеры и страны-поглотители). Ранжирование стран по показателю «нагрузка на леса» качественно отличается от рейтинга стран по выбросам и по «исторической ответственности». Первые места в рейтинге стран-эмиттеров заняли страны Евросоюза, США и Китай; в другом списке – стран-поглотителей – оказались скандинавские страны и Канада, имеющие обширные boreальные леса; Австралия имеет самые лучшие показатели по “свободным” углеродопоглощающим ресурсам.<sup>1</sup>

Данные углеродного баланса, представленного в главе 3 (см. рис. 3.23), показывают, что Российская Федерация за эти (1992-2010) годы была эмиттером  $\text{CO}_2$  в суммарном объеме 8,6 ГтС, а поглотителем углерода в суммарном объеме 13,8 ГтС, т.е. нетто-поглощение составило 5,2 ГтС. Поэтому **никакой «исторической ответственности» РФ не несет и не должна находиться в ряду плательщиков и «борцов с выбросами»  $\text{CO}_2$ . Наоборот, Россия должна иметь преверенции за ощутимый вклад в противодействие потеплению климата.**

**Карбонная рента.** Почти до второй половины XX века природа не имела цены. Природные ресурсы не входили в себестоимость производимой продукции. Более того, природа не входила даже в состав понятия богатства.

На рис. 1.10 ясно обозначаются расходящиеся векторы направленности процессов: глобальные антропогенные выбросы в два с лишним раза превышают способности поглотителей углерода. Все большие объемы парниковых газов, оцениваемые по разности величин выбросов и поглощений, задерживаются в атмосфере. В интересах человечества – для снижения темпов потепления климата – содержание  $\text{CO}_2$  в атмосфере необходимо сокращать, так как углеродопоглощающие ресурсы – биота суши и океан – не успевают абсорбировать поступающий в атмосферу  $\text{CO}_2$ . Человечество постоянно развивается, выбросы  $\text{CO}_2$  увеличиваются, поглощающий ресурс пла-

<sup>1</sup> Федоров Б.Г. Экономико-экологические аспекты выбросов углекислого газа в атмосферу // Проблемы прогнозирования, 2004, №5, С. 86-100.

неты ограничен, атмосфера перегружается парниковыми газами и перегревается, этот фактор становится критическим для развития мирового хозяйства в целом. Но каждая страна имеет свои поглощающие ресурсы.

Национальный углеродный баланс показывает, является страна эмиттером или поглотителем CO<sub>2</sub>. Страны-эмиттеры исчерпали свои поглощающие ресурсы и обязаны, в интересах своего развития, расходовать средства на снижение выбросов. Но они так не делают – потому что эти выбросы усваиваются биотой стран-поглотителей – и, тем самым, бесплатно используют их ресурсы. Международными обязательствами странам-поглотителям, наравне со странами-эмиттерами, вменяется сокращать выбросы при желании развиваться дальше. Тогда для страны-поглотителя вполне закономерно возникает вопрос – почему страны-эмиттеры бесплатно используют мой ресурс, а мне для своего развития приходится осваивать технологии, не выбрасывающие CO<sub>2</sub>? На этот вопрос вполне закономерен и ответ – заплатите мне за этот ресурс и пользуйтесь им, или я буду пользоваться своим природным ресурсом по своему усмотрению. Такова рациональная основа карбонной ренты, которая может стать одним из элементов ноосферной экономики.

Природные процессы, потребляющие CO<sub>2</sub> и сокращающие концентрацию CO<sub>2</sub> в атмосфере, становятся фактором производства. Естественный карбонный поглощающий ресурс становится дефицитом, потребительная стоимость поглотителей возрастает; поглотители становятся товаром.

В России углеродопоглощающие ресурсы даны от Бога, природой, и их количество находится в избытке. Следовательно, во-первых, нет необходимости налагать вериги в виде налогов на выбросы CO<sub>2</sub> на развитие топливно-энергетического комплекса, во-вторых, государство может использовать носители углеродопоглощающих ресурсов, к примеру, земли, в других целях. Очевидно, нет никакой необходимости вменять снижающие выбросы CO<sub>2</sub> технологии в энергетике – пусть ТЭК развивается по своим эндогенным законам.

Избыточные российские поглотители усваивают из атмосферы зарубежный CO<sub>2</sub>. Национальные поглотители – как ресурс и фактор производства – должны иметь экономическую оценку. Владельцем этого естественного, природного ресурса – биоты суши – является государство и он (ресурс) должен иметь стоимость как поглотитель зарубежных выбросов. Альтернативой этому свойству биоты являются

технологии по снижению выбросов на соответствующих предприятиях, например, котельных, сжигающих угли для производства тепла, и станциях по выработке электроэнергии.

Зарубежный потребитель российского углеродопоглощающего ресурса, естественно, экономит на издержках по внедрению установок по захвату СО<sub>2</sub> из дымовых труб. Оценка “эквивалентной” технологии выбросы-поглощение и есть основа для исчисления карбонной ренты; стоимость биоты-поглотителя должна быть капитализированная рента. Биомы, составляющие биоту, должны оцениваться по соответствующей поглотительной способности.

В качестве «эквивалентной» фотосинтезу технологии рассмотрим процесс улавливания и хранения СО<sub>2</sub> под землей. Такие предприятия в мире уже существуют. Установка уловителя СО<sub>2</sub> увеличивает на три четверти стоимость тепловой электростанции. Стоимость захвата СО<sub>2</sub> из энергоустановки, работающей на угле или газе (без учета расходов, связанных с транспортировкой и захоронением СО<sub>2</sub>), оценивается в 15-75 долл./тСО<sub>2</sub> или 4-20 долл./тС; при этом стоимость выработки электроэнергии увеличится на 50%.<sup>2</sup>

Газпром оценивает потенциал подземного хранения газа в России в объеме 106,6 тыс. т СО<sub>2</sub>-экв.<sup>3</sup>

На этой основе можно экономически обосновать ту или иную величину карбонной ренты, так при состоянии баланса 2010 года карбонная рента может быть оценена в 1,3 млрд. долл. [(820 МтС-496 МтС)х4 долл./тС].

А дальше возникает сложнейшая, в своем решении, практическая задача – как получить эти деньги владельцам ресурса?

Логично было бы возложить соответствующие функции на ООН, которая уже распределяет обязанности стран – Сторонников Рамочной конвенции по сокращению выбросов и намеревается контролировать расходование глобальных средств и управлять финансово-выми потоками по снижению выбросов.

---

<sup>2</sup> Улавливание и хранение двуокиси углерода. Специальный доклад МГЭИК, 2005.

<sup>3</sup> Шестое национальное сообщение, табл. 4.2.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Глобальный углеродный баланс четко обозначает расходящиеся векторы направленности процессов – темпы роста потока выбросов почти в два раза опережают таковые для поглотителей. Это означает, что атмосфера перманентно перегружается углекислым газом и, в целях снижения парникового перегрева атмосферы, антропогенные выбросы требуется снижать.

2. Анализ национального углеродного баланса, составленного по данным официального документа, передаваемого РФ в ведомства ООН [Шестое национальное сообщение Российской Федерации, 2013], показывает, что индустриальные выбросы углекислого газа при сжигании топлива и производстве продукции из минерального сырья превышают поглощающую способность управляемых лесов России, т.е. Россия оказывается нетто-эмиттером углекислого газа.

3. Наши расчеты российских потоков углекислого газа проведены в системе резервуаров суши↔атмосфера↔океан как составных частей круговорота углерода в природе. В углеродном балансе поглощающая способность территории страны оценивается с учетом вклада не только лесов, но и других биомов (степей и лугов, сельскохозяйственных угодий, болот, тундр, кустарников, водных объектов), а также океана. В этом случае российский фонд поглотителей углерода – биота, с учетом доли океанического потока, полностью абсорбирует антропогенные выбросы углекислого газа (индустриальные выбросы при сжигании топлива и производстве продукции из минерального сырья, выбросы при пожарах и эмиссию срубленной древесины). При этом зарубежные эмиттеры безвозмездно используют российские поглощающие ресурсы. Следовательно, стратегия экономического развития РФ должна исходить из того, что Россия полностью поглощает национальные антропогенные выбросы и, к тому же, является крупным поглотителем зарубежного углекислого газа.

4. В связи с этим необходимо разработать научную концепцию составления углеродного баланса, провести эколого-экономический анализ составленных балансов и, только после этого, намечать упреждающие меры по «спасению» человечества.

Б.Г. Федоров, 4 мая 2016 г.

Научное издание

**Б.Г. Федоров**

# РОССИЙСКИЙ УГЛЕРОДНЫЙ БАЛАНС

*Монография*

---

Сдано в набор 10.01.2017.

Формат 60×88/16.

Усл.печ.л. 13,5

Подп. в печ. 17.10.2017.

Бумага офсетная.

Тираж 500 экз.

---

Издательство «Научный консультант» предлагает авторам:

- издание рецензируемых сборников трудов научных конференций;
- печать монографий, методической и иной литературы;
- размещение статей в собственном рецензируемом научном журнале «Прикладные экономические исследования»;
- подготовку и размещение статей в иностранных издательствах, входящих в международные базы цитирования (SCOPUS, Web of Science).

ISBN 978-5-9909478-5-6



*Издательство Научный консультант  
123007, г. Москва, Хорошевское ш., 35к2, офис 508.  
Тел.: +7 (926) 609-32-93, +7 (499) 195-60-77 [www.n-ko.ru](http://www.n-ko.ru) [keyneslab@gmail.com](mailto:keyneslab@gmail.com)*