



УДК 630*162.5+547.45(470)

Инвентаризация бюджета углерода в лесном хозяйстве России

© Д. Г. Замолодчиков^{1,2}, В. И. Грабовский², П. П. Шуляк²

Inventory of carbon budget of forestry sector of Russia

D. G. Zamolodchikov, V. I. Grabowsky, P. P. Shulyak (Lomonosov's Moscow State University, Center for Ecology and Productivity of Forests RAS)

The system of regional assessment of forest carbon budget (ROBUL) is expanded by introducing of uncertainty calculations. An assessment of carbon balance of forests of Russian Federation is performed for 1988-2009. Fore influence on forest carbon budget is estimated using official statistics and remote sensing data. For studied period Russian forests were carbon sink from atmosphere with average value 205 ± 65 mln t C with variations from 56 ± 71 mln t C (1998) to 287 ± 60 mln t C (2001).

Key words: carbon budget inventory, forest fund, clear-cuts, forest fires, uncertainties

Инвентаризация бюджета углерода в лесном хозяйстве России

Д. Г. Замолодчиков, В. И. Грабовский, П. П. Шуляк

Расширена система региональной оценки углеродного бюджета лесов (РОБУЛ) за счет введения процедур расчета неопределенностей. Осуществлены расчеты углеродного баланса лесов Российской Федерации за 1988-2009 гг. Для оценки пожарного воздействия на углеродный баланс лесов использованы как сведения официальной статистической отчетности, так и данные дистанционного зондирования. За рассматриваемый период годовой сток углерода в леса России в среднем составлял 205 ± 65 млн т С/год при вариациях от 56 ± 71 млн т С/год (1989 г.) до 287 ± 60 млн т С/год (2001 г.).

Ключевые слова: инвентаризация бюджета углерода, лесной фонд, рубки, лесные пожары, неопределенности

^{1,2}Замолодчиков Дмитрий Геннадьевич, зав. каф., д-р биол. наук

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, биологический ф-т
Адрес: 119234, Россия, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12
Телефон: 8 (495) 939-52-54
E-mail: dzamolod@cepl.rssi.ru

²Грабовский Василий Исаакович, ст. науч. сотр., канд. биол. наук
²Шуляк Павел Петрович, ст. науч. сотр.

²Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН
Адрес: 117997, Россия, Москва, ул. Профсоюзная, 84/32

Проблема оценки углеродного баланса лесов в различных пространственных масштабах — от локального до глобального — по-прежнему остается в центре внимания научного сообщества. Этот интерес определяется тремя основными аспектами. Первый связан с необходимостью снижения расхождений величин углеродного баланса лесных территорий, получаемых различными авторскими коллективами с использованием разнообразных методических подходов. Второй аспект определяется требованиями Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК ООН) по инвентаризации стоков и источников парниковых газов (ПГ), формирующихся при управлении лесами в развитых странах. Третий аспект обусловлен потенциальной возможностью осуществления лесных проектов в рамках механизмов углеродного рынка.

Каждый из аспектов привносит свою специфику, которую следует учитывать при построении системы оценки углеродного бюджета лесов. Так, инвентаризацию ПГ при лесопроизводстве необходимо осуществлять в соответствии с руководствами Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) [11], причем соответствующая национальная отчетность подвергается регулярным и тщательным проверкам экспертами РКИК ООН. Авторами настоящей работы ранее была разработана система региональной оценки углеродного бюджета лесов (РОБУЛ) [3]. Ныне РОБУЛ используется в Национальном кадастре парниковых газов для формирования отчетности по сектору лесного хозяйства [10]. Цель настоящей статьи состоит в изложении результатов современных усилий авторского коллектива по развитию системы РОБУЛ, связанных с оценкой неопределенности расчетов и уточнением вклада лесных пожаров на основе использования данных из различных источников.

Материалы и методы

Система РОБУЛ ориентирована на использование в качестве исходных данных материалов Государственного лесного реестра (ГЛР). ГЛР был введен Лесным кодексом РФ [7], сменив предшествующую систему Государственного

учета лесного фонда (ГУЛФ). К счастью, методологии формирования ГЛР и ГУЛФ мало различаются, что дает возможность восстановить согласованные ряды данных, необходимых для оценки динамики бюджета углерода в лесах. Детальные описания процедур формирования рядов данных, специфики представления учетной информации в связи с изменениями полномочий по управлению лесами и динамики учетных категорий лесного фонда приведены в нашей работе [3]. В таблице 1 представлены обобщенные данные по площадям земель лесного фонда по состоянию на 1988, 1993, 1998, 2003 и 2008 гг. Обсуждаемые в настоящей статье оценки РОБУЛ относятся к категории «покрытые лесом земли», площадь которой увеличилась от 758,7 млн га в 1988 г. до 787,1 млн га в 2008 г.

В полном виде совокупность уравнений и параметров РОБУЛ приведена в нашей работе [3] и Национальных докладах о кадастре парниковых газов [10]. На веб-сайте ЦЭПЛ РАН в свободном доступе представлено программное обеспечение системы [4]. В настоящей статье ограничимся лишь общей характеристикой схемы расчетов.

Начальная часть расчетов по методике РОБУЛ состоит в оценке запасов углерода для возрастных групп лесных насаждений с дифференциацией по преобладающим породам. Расчет запасов углерода в пулах фитомассы и мертвой древесины проводится на основе данных по объемным запасам стволовой древесины из материалов ГЛР либо ГУЛФ с применением наборов конверсионных коэффициентов [2, 5]. Расчет запасов углерода в пулах подстилки и почвы проводится на основании сведений о площадях насаждений лесобразующих пород из ГЛР либо ГУЛФ с применением типовых средних значений [13, 14]. Получение оценок запасов углерода по группам возраста насаждений обеспечивает возможность расчета приростов по всем углеродным пулам с применением информации о продолжительности возрастных групп.

Применение сведений о годовых площадях деструктивных нарушений (рубки, лесные пожары, прочие причины гибели лесных насаждений) к найденным запасам углерода в различных категориях лесных насаждений дает оценку

Таблица 1

Динамика структуры земель лесного фонда Российской Федерации согласно государственным учетам лесного фонда (1998, 1993, 1998, 2003 гг.) и Государственному лесному реестру (2008 г.)

Категория земель	Площадь, млн га				
	1988 г.	1993 г.	1998 г.	2003 г.	2008 г.
Покрытые лесом, в том числе:	758,72	750,95	763,83	767,47	787,15
хвойные	546,04	527,65	528,62	527,36	538,43
твердолиственные	18,10	18,29	18,50	18,68	18,79
мягколиственные	132,22	135,76	142,26	146,95	151,82
прочие породы и кустарники	62,36	69,27	74,45	74,49	78,11
Не покрытые лесом, в том числе:	111,73	121,08	106,58	105,86	93,34
редины	63,46	75,28	70,09	69,72	61,54
гари и погибшие насаждения	30,08	28,65	25,16	27,30	23,40
вырубки	8,88	8,85	5,13	3,73	3,87
Нелесные, в том числе:	299,05	292,13	293,84	294,19	288,98
сенокосы и пастбища	20,58	20,15	19,79	19,89	13,85
болота и прочие земли	254,45	249,56	251,45	251,24	252,63
Все земли	1169,50	1164,16	1164,25	1167,53	1169,48

годовых потерь углерода. Годовые масштабы деструктивных нарушений можно оценить двумя способами [3]: 1) по площадям гарей и вырубок с учетом времени их зарастания; 2) по текущим величинам пройденной огнем площади и масштабам рубок. В первом случае для проведения расчетов достаточно лишь материалов ГЛР либо ГУЛФ. Во втором случае необходимо привлечение дополнительных сведений, в частности, официальных данных по площадям сплошных рубок и пройденных огнем покрытых лесом земель за 1988-2009 гг. Эти сведения были выбраны из архива форм государственного статистического обследования лесного хозяйства (2-ЛХ, 5-ЛХ и др.) по субъектам РФ. Кроме того, в расчетах по РОБУЛ для 2002-2009 гг. был использован массив спутниковых данных по лесным пожарам, сформированный

в Информационной системе дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства РФ (ИСДМ Рослесхоз). ЦЭПЛ РАН совместно с Институтом космических исследований РАН участвовал в разработке, а ныне осуществляет сопровождение ИСДМ Рослесхоз [1].

Оценка неопределенности базируется на стандартной ошибке среднего значения параметров уравнений, рассчитанных по выборкам натуральных данных:

$$SE = \frac{STD}{\sqrt{n}}, \quad (1)$$

где SE – стандартная ошибка среднего, STD – среднееквадратичное отклонение, n – размер выборки.

Для расчета суммарных неопределенностей совокупность уравнений РОБУЛ была модифицирована следующим образом: 1) значения параметров уравнений заменены на значения их неопределенностей; 2) разности в уравнениях заменены суммами. Замена разностей суммами определяется правилами преобразования погрешностей, согласно которым погрешности складываются как для сумм, так и для разностей случайных величин. Неопределенности величин площадей и запасов древесины из ГУЛФ и ГЛР, а также годовых темпов деструктивных нарушений полагаются равными нулю. Добавим, что выбранная мера неопределенности (стандартная ошибка среднего) соответствует 68%-ному доверительному интервалу. Для получения 95%-ного доверительного интервала приводимые в статье неопределенности следует умножить на 1,65.

Расчеты бюджета углерода лесов осуществлены в дифференциации по субъектам Российской Федерации для 1988-2009 гг. при оценке потерь по площадям гарей и вырубок либо официальной отчетности по рубкам и пожарам и для 2002-2009 гг. — при использовании данных ИСДМ.

Результаты и обсуждение

Наиболее масштабными нарушениями в лесах России являются рубки и лесные пожары. В конце 1980-х годов ежегодная площадь сплошных рубок составляла около 2,0 млн га (рис. 1). Социально-экономические реформы начала 1990-х годов привели к резкому снижению площадей рубок вплоть до минимума 0,5 млн га в 1998 г. С середины 2000-х годов наблюдалось постепенное возрастание масштабов рубок до 1,2 млн га в 2009 г.

Официальная отчетность по площадям сплошных рубок предоставляет вполне объективную информацию, которую можно непосредственно использовать в расчетах по РОБУЛ. Иная ситуация складывается с лесопожарной статистикой. С начала 2000-х годов стали появляться работы с оценками площадей лесных пожаров в России [16, 22 и др.], выполненные на основе дистанционного зондирования. Эти оценки в несколько раз превышали официальные статисти-

ческие данные по пожарам. В этом контексте не удивительно, что площади лесных пожаров за 2002-2009 гг. согласно статистике составляют в среднем лишь 34,3% от значений согласно ИСДМ (рис. 1). Впрочем, нормативы формирования официальных статистических данных изначально не ставят целью охват всех лесных пожаров. Для зоны космического мониторинга (ранее не охраняемая от пожаров часть лесного фонда) сведения о масштабах пожарах формируются в ИСДМ [1], но до сих пор не включаются в официальную статистическую отчетность.

На рисунке 2 представлена динамика поглощения, потерь (при оценке по площадям вырубок и гарей) и баланса углерода в лесах России. Поглощение представляет собой текущий прирост углерода во всех пулах лесной экосистемы (фитомасса, мертвая древесина, подстилка, слой почвы 0-30 см). В среднем за 1988-2009 гг. оно составляло 381 ± 48 млн т С/год. Можно отметить некоторую тенденцию к увеличению поглощения углерода с 353 ± 44 млн т С/год в 1988 г. до 397 ± 50 млн т С/год в 2003 г. с последующей стабилизацией. Эта тенденция связана с увеличением площади покрытых лесом земель (табл. 1), вызванным уменьшением масштабов лесозаготовок (рис. 1).

По сравнению с поглощением, потери углерода лесами обладают более выраженной тенденцией к изменению (рис. 2). На протяжении 1990-х годов проявляется тенденция к уменьшению потерь углерода (с 273 ± 26 млн т С/год в 1988 г. до 176 ± 18 млн т С/год в 2000 г.), с последующей стабилизацией в 2000-х годах на уровне около 170 млн т С/год. С расчетной точки зрения, возникновение данной тенденции определяется уменьшением площадей вырубок в составе земель лесного фонда (табл. 1). Причиной же является сокращение объемов лесозаготовок (рис. 1). Подчеркнем, что расчет потерь по площадям вырубок и гарей сглаживает межгодовую вариабельность потерь углерода, потому на рис. 2 не проявляются вариации пожарного воздействия. В среднем за 1988-2009 гг. потери углерода в лесах России составляли 206 ± 20 млн т С/год, из которых 86 ± 8 млн т С/год (41%) приходилось на сплошные рубки, а 121 ± 12 млн т С/год (59%) — на лесные пожары.

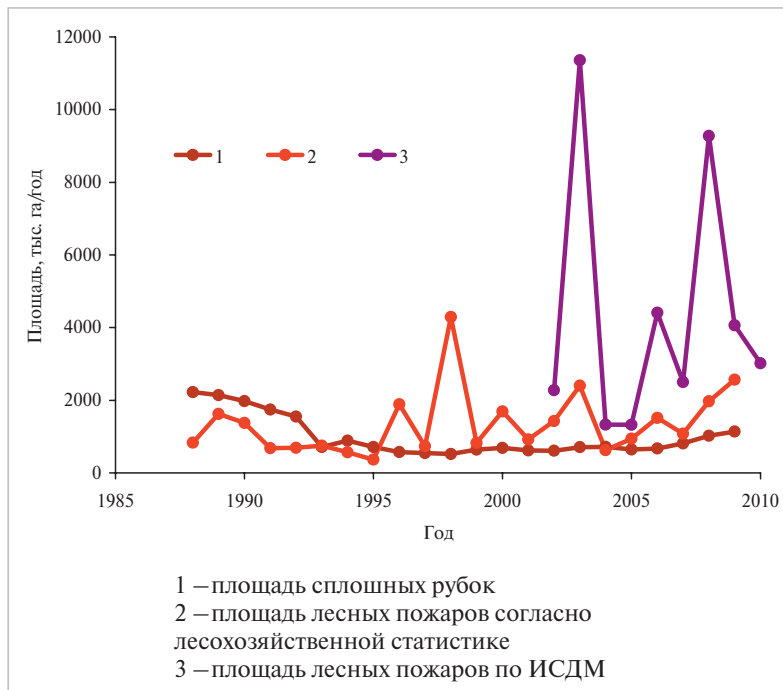


Рис. 1. Динамика ключевых нарушений в лесах Российской Федерации

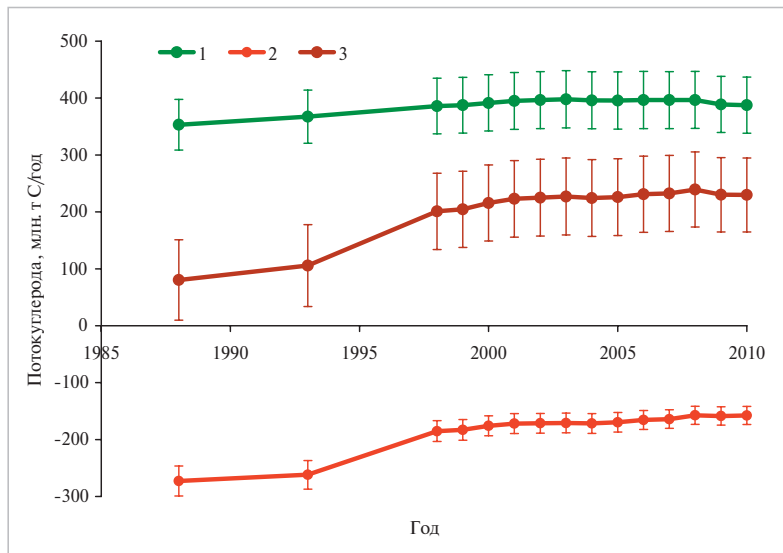


Рис. 2. Поглощение (1), потери (2) и баланс (3) углерода в лесах России согласно РОБУЛ при оценке потерь по площадям вырубок и гарей

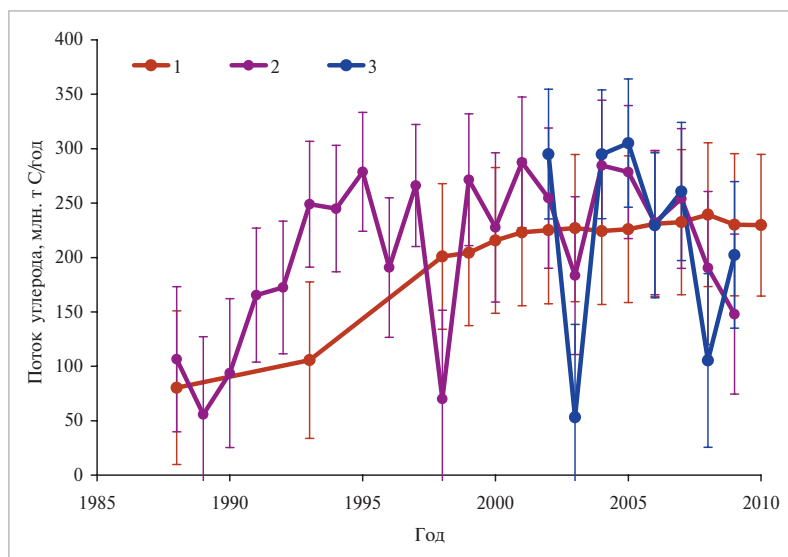


Рис. 3. Баланс углерода в лесах России согласно РОБУЛ при оценке потерь по площадям гарей и вырубок (1), по статистическим сведениям о пожарах и рубках (2), при использовании дистанционных данных о пожарах (3)

Поскольку поглощение углерода лесами характеризуется относительной стабильностью, тенденции изменения баланса углерода определяются динамикой потерь углерода (рис. 2). В среднем за 1988-2009 гг. сток атмосферного углерода в леса России составлял 175 ± 69 млн т С/год. Отметим, что в Национальном кадастре парниковых газов используется вариант РОБУЛ с расчетом потерь углерода по площадям вырубок и гарей [10], то есть дающий сглаженную динамику потерь.

Многочисленные расхождения официальных и спутниковых сведений о масштабах лесных пожаров в России (рис. 1) создают определенные проблемы для их использования в РОБУЛ. В нашей предшествующей работе [3] при осуществлении расчета по статистическим данным о лесных пожарах было сделано допущение, что все пожары являются деструктивными, то есть приводящими к гибели лесных насаждений. На самом деле низовые лесные пожары слабой и средней степени, как правило, не являются деструктивными. Однако именно такое, вроде бы заведомо неправиль-

ное, допущение позволило получить величину потерь углерода в лесах России, согласующуюся с вариантом расчета по площадям гарей. Сведения рис. 1, а также значение доли деструктивных пожаров, согласно ИСДМ равно $0,355$, подтверждают корректность сделанного допущения. Реальная площадь лесных пожаров примерно в 3 раза выше, чем статистическая оценка, однако лишь около трети из них является деструктивными. Потому сведения официальной статистики действительно можно использовать в качестве приближенной оценки площади деструктивных лесных пожаров. Необходимость такого использования связана с задачей ретроспективной оценки углеродного баланса лесов России в тот период, когда методы спутникового мониторинга лесных пожаров еще не были разработаны. Напомним, что отчетность по источникам и стокам ПГ, предоставляемая странами в органы РКК ООН, должна охватывать период, начиная с 1990 г.

Рисунок 3 демонстрирует сравнение результатов расчета баланса углерода в лесах

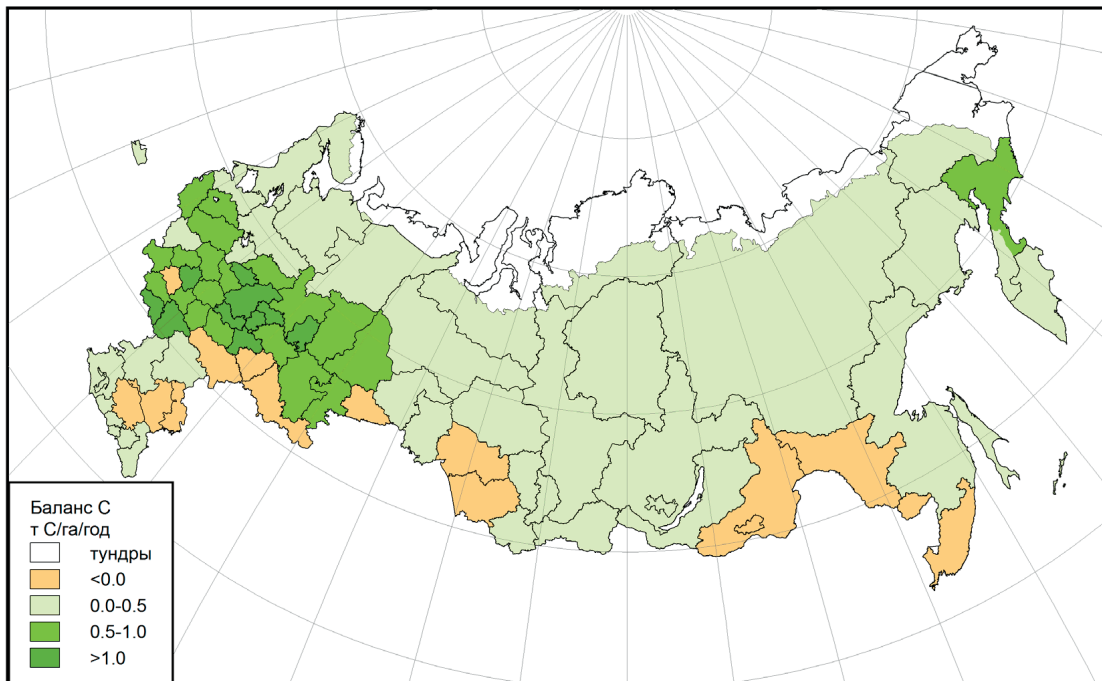


Рис. 4. Пространственное распределение баланса углерода лесов по субъектам Российской Федерации в 2002-2009 гг. при оценке потерь от пожаров по дистанционным данным

России в трех вариантах оценки потерь: 1) по площадям вырубок и гарей; 2) по статистическим сведениям о рубках и пройденной огнем площади; 3) по статистическим сведениям о рубках и спутниковым данным о лесных пожарах. Принципиальное сходство результатов не является удивительным. Тенденция к увеличению стока углерода, определяемая снижением масштабов лесозаготовок, очевидна в вариантах 1 и 2. Она несколько запаздывает в варианте 1 по сравнению с вариантом 2, поскольку должно пройти определенное время для того, чтобы снижение лесозаготовок отразилось на уменьшении площадей рубок в материалах ГУЛФ и ГЛР. Площади деструктивных пожаров по дистанционным данным близки к суммарным величинам пройденной огнем площади согласно официальной отчетности. Поэтому и результаты оценки в вариантах 2 и 3 оказываются сходными.

Согласно расчету по варианту 2, сток углерода в леса России в среднем за 1988-2009 гг. составлял 205 ± 65 млн т С/год при вариациях от 56 ± 71 млн т С/год (1989 г.) до 287 ± 60 млн т С/год (2001 г.). Расхождения средних за рассматриваемый период значений баланса при расчете по вариантам 1 (по площадям гарей и вырубок) и 2 (статистические сведения) находятся в пределах оценки неопределенностей. Более высокая величина стока в варианте расчета 2 определяется более ранним по времени проявлением тенденции к его увеличению (рис. 3). Для перекрывающегося интервала 2002-2009 гг. средние значения баланса углерода в вариантах 1, 2 и 3 равны соответственно 229 ± 67 , 228 ± 67 и 228 ± 68 млн т С/год, то есть очень близки.

Расчеты РОБУЛ, обсуждаемые в настоящей работе, проведены в дифференциации по субъектам Российской Федерации. Это дает возможность рассмотреть особенности про-

странственного распределения баланса углерода в расчете на покрытую лесом площадь субъекта РФ. Такое распределение (рис. 4) приведено для варианта 3, базирующегося на спутниковых данных по пожарам. Максимальные величины стока углерода в леса приурочены к средней полосе Европейской России. В этом регионе в 1950-1970-х годах имели место масштабные заготовки древесины. Леса, сформировавшиеся на месте вырубок, к настоящему времени находятся в возрасте максимального поглощения углерода. Для лесов севера Европейской России, севера и центра Сибири и Дальнего Востока характерен слабый сток углерода. Леса южных частей Европейской России, Западной Сибири и Дальнего Востока являются источником углерода для атмосферы, что связано с мощным воздействием лесных пожаров. Такое распределение свидетельствует о высоком потенциале осуществления мер по поддержанию стока углерода в леса России путем профилактики и борьбы с лесными пожарами, поскольку области преобладающих потерь углерода лесами приурочены к регионам с достаточно развитой инфраструктурой.

Вопросы оценки углеродного бюджета территории России в целом и лесного покрова в частности остаются в фокусе внимания отечественных и зарубежных исследовательских коллективов. За последние годы было опубликовано значительное число работ [15, 17, 19 и др.], реализующих разнообразные методические подходы – от оценки по разности чистой первичной продукции (NPP) с гетеротрофным дыханием и потерями от нарушений до инверсионных расчетов по динамике атмосферных концентраций углекислого газа. При всем обилии информации сосредоточимся на сравнении наших результатов с данными двух других авторских коллективов, известных сериями своих работ по углеродному бюджету лесов России.

В ранних работах коллектива Международного института прикладного системного анализа (IIASA, Австрия) сток углерода в леса России был оценен в 210 ± 30 млн т С/год [20], 268 ± 94 и 272 ± 68 млн т С/год [21], что перекрывается в границах неопределенности с результатами на-

шей работы. Дальнейшие усилия коллектива сначала привели к увеличению оценки NPP за счет учета вклада тонких корней, а затем и величины стока углерода в леса России, составившей 692 ± 175 млн т С/год [17]. Альтернативный расчет с помощью статистических распределений [18] на той же информационной базе IIASA привел к 100%-ной (!) оценке неопределенности для баланса углерода.

Вторая серия представлена работами коллектива Всероссийского научно-исследовательского института лесоводства и механизации лесного хозяйства (ВНИИЛМ) [8, 9, 12]. Согласно этим публикациям, сток углерода в леса России составляет 440–510 млн т С/год, неопределенности не приводятся. Расчеты в цитируемых работах базируются на материалах ГУЛФ и ГЛР, что облегчает анализ расхождений с нашими результатами. В цитируемых работах основой оценки поглощения углерода лесами служит величина среднего прироста запасов стволовой древесины. В материалах ГУЛФ и ГЛР средний прирост рассчитывается суммированием средних приростов насаждений по классам возраста, при этом средний прирост класса возраста определяется делением запаса насаждений этого класса на средний возраст [6]. Помимо среднего прироста, в лесоводстве используется понятие текущего прироста, который равен изменению запаса древесины между последовательными возрастными насаждениями. Для любого лесного насаждения характерно уменьшение текущего прироста в старших возрастах, поскольку запас древесины асимптотически приближается к стабильной величине. При этом величина среднего прироста (то есть отношения запаса древесины к возрасту) снижается медленнее, чем текущего. Согласно материалам ГЛР по состоянию на 01.01.2009, средний возраст лесов России составлял 98 лет. Это тот возраст, в котором средний прирост заметно превышает текущий для большинства категорий лесов России. Используемый в настоящей работе подход к расчету поглощения углерода по динамике его запасов в возрастных группах лесных насаждений аналогичен оценке текущего прироста. Таким образом, завышение оценок поглощения углерода

лесами в некоторых работах [8, 9, 12] по сравнению с нашими следует признать вполне закономерным. Добавим, что использование в балансовых расчетах бюджета углерода оценки поглощения, основанной на среднем приросте, фактически приводит к нарушению закона сохранения массы.

Заключение

С 1990 г. леса России удалили из атмосферы и законсервировали в виде органического вещества не менее 4 млрд т С. Усиление лесных стоков углерода в середине 1990-х годов связано главным образом с уменьшением уровня ле-

созаготовок. В последние годы наблюдается постепенный рост объема заготовок древесины, а также усиление пожарного воздействия на леса, связанное как с климатическими изменениями, так и не вполне успешными реформами системы охраны лесов от пожаров. Эти тенденции вызывают опасения в отношении сохранения стока атмосферного углерода в леса России. Наиболее перспективной формой деятельности по поддержанию стока углерода в леса России следует признать активизацию профилактики и борьбы с лесными пожарами, в первую очередь, в южных регионах Сибири и Дальнего Востока.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Барталев, С.А. Основные возможности и структура информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства РФ (ИСДМ Рослесхоз) / С.А. Барталев, Д.В. Ершов, Г.Н. Коровин, Р.В. Котельников, Е.А. Лупян, В.Е. Щетинский // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — Т. 7. — № 2. — М.: ООО «До-Мира», 2010. — С. 419–429.
2. Замолодчиков, Д.Г. Оценка пула углерода крупных древесных остатков в лесах России с учетом влияния пожаров и рубок / Д.Г. Замолодчиков // Лесоведение. — 2009. — № 4. — С. 3–15.
3. Замолодчиков, Д.Г. Динамика бюджета углерода лесов России за два последних десятилетия / Д.Г. Замолодчиков, В.И. Грабовский, Г.Н. Краев // Лесоведение. — 2011. — № 6. — С. 16–28.
4. Замолодчиков, Д.Г. Региональная оценка бюджета углерода лесов (РОБУЛ). Версия 1.1. / Д.Г. Замолодчиков, В.И. Грабовский, Г.Н. Краев М.: ЦЭПЛ РАН, 2011. www.cepl.rssi.ru/regional.htm.
5. Замолодчиков, Д.Г. Коэффициенты конверсии запасов насаждений в фитомассу основных лесобразующих пород России / Д.Г. Замолодчиков, А.И. Уткин, О.В. Честных // Лесная таксация и лесоустройство. — 2003. — Вып. 1(32). — С. 119–127.
6. Инструкция о порядке ведения государственного учета лесного фонда. М.: ВНИИЦлесресурс, 1997. — 66 с.
7. Лесной кодекс Российской Федерации. М.: Эксмо, 2007. — 92 с.
8. Моисеев, Б.Н. Баланс органического углерода в лесах и растительном покрове России / Б.Н. Моисеев // Лесное хозяйство. — 2007. — № 2. — С. 13–16.
9. Моисеев, Б.Н. Методика МГЭИК для расчета годичного депонирования углерода и оценка ее применимости для лесов России / Б.Н. Моисеев, А.Н. Филипчук // Лесное хозяйство. — 2009. — № 4. — С. 11–13.
10. Национальный доклад Российской Федерации о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, за 1990–2010 гг. Москва, 2012. Ч. 1. — 386 с.
11. Руководящие указания по эффективной практике для землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства. Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов. МГЭИК, 2003.

12. Федоров, Б.Г. Поглощающая способность лесов России и выбросы углекислого газа энергетическими объектами / Б.Г. Федоров, Б.Н. Моисеев, Ю.В. Синяк // Проблемы прогнозирования. – 2011. – № 3. – С. 127–142.
13. Честных, О.В. Общие запасы биологического углерода и азота в почвах лесного фонда России / О.В. Честных, Д.Г. Замолодчиков, А.И. Уткин // Лесоведение. – 2004. – № 4. – С. 30–42.
14. Честных, О.В. Запасы углерода в подстилках лесов России / О.В. Честных, В.А. Лыжин, А.В. Кокшарова // Лесоведение. – 2007. – № 6. – С. 114–121.
15. Beer, C. Small net carbon uptake by Russian forests during 1981-1999 / C. Beer, W. Lucht, C. Schmullius, A. Shvidenko // Geophysical Research Letters. – 2006. – V. 33. – L15403, doi:10.1029/2006GL026919.
16. Conard, S.G. Determining effects of area burned and fire severity on carbon cycling and emissions in Siberia / S.G. Conard, A.I. Sukhinin, B.J. Stocks, D.R. Cahoon, E.P. Davidenko, G.A. Ivanova // Climatic Change. 2002. – V. 55. – P. 197–211.
17. Dolman, A.J. An estimate of the terrestrial carbon budget of Russia using inventory-based, eddy covariance and inversion method / A.J. Dolman, A.Z. Shvidenko, D. Schepaschenko, P. Ciais, N. Tchebakova, T. Chen, M.K. van der Molen, L. Beileli Marchesini, T.C. Maximov, S. Maksyutov, E.-D. Schulze // Biogeosciences. 2012. – V. 9. – P. 5323-5340, doi:10.5194/bg-9-5323-2012.
18. Gusti, M. Terrestrial full carbon account for Russia: revised uncertainty estimates and their role in a bottom-up/top-down accounting exercise / M. Gusti, M. Jonas // Climatic Change. 2010. – V. 103. – P. 159–174, doi: 10.1007/s10584-010-9911-9.
19. Kurganova, I.N. Updated estimate of carbon balance on Russian territory / I.N. Kurganova, V.N. Kudeyarov, V.O. Lopes de Gerenyu // Tellus. – 2010. – V. 62B. – P. 497-505.
20. Shvidenko, A. Dynamics of Russian forests and the carbon budget in 1961-1998: an assessment based on long-term forest inventory data / A. Shvidenko, S. Nilsson // Climatic change. 2002. – V. 55. – P. 5–37.
21. Shvidenko, A. A synthesis of the impact of Russian forests on the global carbon budget for 1961–1998 / A. Shvidenko, S. Nilsson // Tellus. 2003. – V 55B. – P. 391–415.
22. Soja, A.J. AVHRR-derived fire frequency, distribution, and area burned in Siberia / A.J. Soja, A. Sukhinin, Jr.D.R. Cahoon, H.H. Shugart, Jr.P.W. Stackhous // International Journal of Remote Sensing. 2004. – V. 25. – P. 1939-1951.