

ОРИГИНАЛЬНЫЕ
СТАТЬИ

УДК 630*162.5+547.45(470)

**БЮДЖЕТ УГЛЕРОДА УПРАВЛЯЕМЫХ ЛЕСОВ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ***

© 2007 г. Д. Г. Замолодчиков¹, Г. Н. Коровин¹, М. Л. Гитарский²

¹ Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН
117810 Москва, ул. Профсоюзная, 84/32

E-mail: dzamolod@cepl.rssi.ru; korovin@cepl.rssi.ru

² Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН
107258 Москва, ул. Глебовская, 20-б

Поступила в редакцию 10.05.2007 г.

Рассмотрены алгоритмы расчета углеродного бюджета лесов по пулам мертвой древесины, подстилки и почвы, разработанные с учетом рекомендаций Межправительственной группы экспертов по изменению климата. Получены оценки бюджета углерода по пулам мертвого органического вещества для управляемых лесов Российской Федерации. За 1990–2004 гг. средняя величина поглощения углерода пулом мертвой древесины составила 7.8×10^6 т С год⁻¹, подстилки – 2.2×10^6 т С год⁻¹, почвы – 9.6×10^6 т С год⁻¹. С учетом пула фитомассы среднее за 1990–2004 гг. поглощение углерода управляемыми лесами России равнялось 95.7×10^6 т С год⁻¹. Величина углеродного бюджета отражает всю совокупность мер по лесоуправлению в Российской Федерации, включая лесопользование, лесовосстановление, охрану и защиту лесов.

Парниковые газы, Киотский протокол, динамика лесного фонда, управляемые леса, углеродный бюджет, фитомасса, мертвая древесина, подстилка, почва, группы лесобразующих пород.

Актуальность исследований круговорота углерода в лесах и других природных объектах Северной Евразии обычно обосновывается ссылками на Рамочную конвенцию ООН об изменении климата (РКИК ООН) [20] и Киотский протокол [9]. Отметим, что Киотский протокол как международное соглашение, регулирующее характер антропогенных источников и поглотителей парниковых газов, накладывает существенные ограничения на совокупность явлений и процессов, которые могут учитываться при количественной оценке углеродного бюджета лесов. Ключевым здесь является требование целенаправленной антропогенной деятельности, обеспечивающей поглощение углерода лесами. При этом естественные поглотители, появляющиеся “сами по себе” (например, за счет увеличения продолжительности вегетационного сезона при потеплении климата или фертилизации повышением концентрации атмосферного CO₂), вообще не должны приниматься во внимание. Следовательно, к сфере действия Киотского протокола относится далеко не вся совокупность процессов круговорота углерода в лесах, а лишь та ее часть, которая может быть отождествлена с теми или иными видами деятельности по лесоуправлению.

В соответствии с положениями Киотского протокола [9], при подготовке национальной отчетности по бюджету парниковых газов страны-участницы должны использовать методологии Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), изложенные в соответствующих руководствах [19, 21]. По отношению к различным источникам и поглотителям парниковых газов МГЭИК предлагает нормативные методики оценки, реализация которых может осуществляться по трем уровням детализации. Первый уровень связан с использованием наиболее простых уравнений и стандартных зачастую рекомендуемых МГЭИК параметров расчета. Второй и третий уровни детализации предписывают проведение более углубленных расчетов с использованием национальных параметров либо моделей. Таким образом, методология МГЭИК носит рамочный характер, предоставляя возможность адаптации для учета специфики рассматриваемых объектов и национальных подходов к управлению ими.

В основе системы национальных научных знаний и концептуальных представлений об углеродном бюджете лесов России лежат работы А.И. Уткина [7, 22, 23 и др.]. Являясь настоящим энциклопедистом, он одним из первых осознал необходимость формирования компьютерных баз данных как средства количественного обобщения информации, накопленной отечественным и зарубежным лесоведением. Созданная под его непосредственным

* Работа выполнена при поддержке Федерального агентства лесного хозяйства Минприроды России (МГ-04-06/88к) и РФФИ (05-04-49552).

руководством база данных “Биологическая продуктивность лесных экосистем” послужила основой для разработки методов крупномасштабной оценки запасов углерода в фитомассе российских лесов [7, 23, 30]. В дальнейшем близкие подходы были распространены и на другие компоненты углеродного цикла лесов, в частности, чистую первичную продукцию [3], органическое вещество лесных почв [25, 26], запасы углерода мертвой древесины [4, 8, 11].

Система конверсионных коэффициентов фитомасса/запас, развитая в работах А.И. Уткина и его коллег [6, 7], используется в расчетах эмиссии и поглощения диоксида углерода по сектору “Землепользование, изменения в землепользовании и лесное хозяйство” Национального кадастра парниковых газов Российской Федерации [28]. Эти вычислительные процедуры подробно охарактеризованы в работе [1]. Пока отчетность по бюджету углерода лесов России предоставляется лишь для пула фитомассы [28], хотя положения РКИК ООН о комплексной оценке антропогенных изменений в резервуарах углерода распространяются также на пулы мертвой древесины, подстилки и почвы. Цели настоящей работы состояли в: 1) разработке алгоритмов расчета бюджета углерода по пулам мертвой древесины, подстилки и почвы; 2) получении оценок углеродного бюджета управляемых лесов Российской Федерации за 1990–2004 гг. с учетом пулов мертвого органического вещества.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Согласно рекомендациям МГЭИК [21], оценки углеродного бюджета лесов следует проводить на основе информации по динамике их площадей и запасов древесины. Для лесов Российской Федерации источником такой информации являются государственные учеты лесного фонда (ГУЛФ). До 1998 г. ГУЛФ проводился один раз в пять лет и сопровождался публикацией справочников “Лесной фонд СССР” [13], позднее – “Лесной фонд России” [14, 15]. С 1999 г. ГУЛФ проводится каждый год, но для публикации справочников оставлен 5-летний интервал [16]. Ежегодные ГУЛФ формируются в виде компьютерных баз данных, составление и ведение которых возложены на ФГУП “Рослесинфорг”.

Отчетность в рамках РКИК ООН и Киотского протокола следует представлять для управляемых лесов, которые периодически или постоянно подвергаются воздействию со стороны человека. Подходы к выделению управляемых лесов в лесном фонде Российской Федерации подробно охарактеризованы в работе [1]. Оценки, приводимые в настоящей работе, тоже выполнены для управляемых лесов. Формирование массивов исходных данных по динамике площадей и запасов древеси-

ны в управляемых лесах было осуществлено на основе информации ГУЛФ по состоянию на 1 января 1988, 1993, 1998–2005 гг., предоставленной ФГУП “Рослесинфорг”.

Для оценки бюджета углерода по пулу мертвой древесины использован метод расчета по изменению запасов. Суть метода состоит в оценке общих запасов углерода в том или ином пуле для различных моментов времени с дальнейшим отношением разности запасов к промежутку времени:

$$\Delta C = C_{t_2} - C_{t_1} / (t_2 - t_1), \quad (1)$$

где ΔC – годовой бюджет углерода; C_{t_1} – запас углерода в год учета t_1 ; C_{t_2} – запас углерода в год учета t_2 .

МГЭИК рекомендует применять указанный метод по отношению к пулам углерода фитомассы и мертвой древесины при наличии информации по последовательным учтам [21]. Именно так проведена оценка бюджета углерода управляемых лесов России по пулу фитомассы [1] с использованием в качестве исходных данных информации последовательных ГУЛФ (1988, 1993, 1998–2005 гг.) по динамике объемных запасов древесины. Пул углерода в фитомассе лесов за данный год учета рассчитывается путем конверсии объемных запасов древесины в углерод при помощи коэффициентов, специфичных к группе возраста и преобладающей породе лесных насаждений [6, 7]. В настоящей работе этот подход распространен и на пул мертвой древесины, размер которого в соответствующий год учета оценивается по уравнению:

$$CD_t = \sum_{ij} V_{ij} DEF_{ij} CF, \quad (2)$$

где CD_t – общий запас углерода мертвой древесины в год учета t , т С; V_{ij} – запас группы возраста j преобладающей породы i , м³ га⁻¹; DEF_{ij} – коэффициент расчета массы мертвой древесины по запасу стволовой древесины в группе возраста j преобладающей породы i , т сухого вещества м⁻³; CF – доля углерода в 1 т сухого вещества мертвой древесины ($CF = 0.5$). Коэффициенты DEF_{ij} (табл. 1) найдены при помощи математической модели, подробное описание которой вместе с обсуждением и сравнением полученных результатов приведено в работах [4, 8, 11].

Принимая во внимание высокую инертность углерода лесной подстилки и почв и, следовательно, низкую скорость его изменения в них, МГЭИК предполагает, что запасы углерода в рассматриваемых резервуарах на землях, остающихся лесными, практически постоянны. Соответственно основные изменения углерода лесной подстилки и почв связаны с динамикой лесных земель, определяемой нарушениями (рубками, пожарами) и сме-

Таблица 1. Конверсионные коэффициенты *DEF* для расчета общего запаса мертвой древесины в насаждении по их объемным запасам [по 4, 11], т сухого вещества м⁻³

Преобладающая порода	Группа возраста					
	молодняки I класса возраста	молодняки II класса возраста	средневозрастные	приспевающие	спелые	перестойные
Сосна	0.129	0.183	0.187	0.206	0.189	0.126
Ель	0.062	0.184	0.210	0.261	0.217	0.143
Пихта	0.053	0.152	0.188	0.237	0.202	0.149
Лиственница	0.048	0.099	0.176	0.198	0.193	0.142
Кедр	0.300	0.237	0.125	0.100	0.066	0.075
Дуб						
высокоствольный	0.146	0.161	0.133	0.145	0.125	0.104
низкоствольный	0.144	0.200	0.213	0.257	0.278	0.322
Каменная береза	0.103	0.121	0.111	0.088	0.064	0.059
Прочие твердолиственные	0.123	0.124	0.075	0.047	0.017	0.018
Береза	0.040	0.055	0.078	0.055	0.038	0.030
Осина	0.036	0.089	0.088	0.059	0.028	0.020
Прочие мягколиственные	0.030	0.073	0.059	0.058	0.037	0.026
Прочие породы	0.079	0.118	0.070	0.050	0.037	0.052
Кедровый стланик	0.104	0.195	0.347	0.372	0.467	0.427
Прочие кустарники	0.033	0.087	0.087	0.066	0.034	0.026

ной режимов лесопользования. Таким образом, рекомендуемый МГЭИК метод расчета бюджета углерода по пулам подстилки и почвы основывается на оценке площадей, находящихся в переходе от одного состояния со стабильным запасом углерода в этих пулах к другому. При этом время достижения стабильных запасов в обоих пулах предполагается равным 20 годам [21]. Рассмотрим в качестве примера процесс лесовосстановления на гари. Стабильные низкие запасы углерода подстилки и почвы присутствуют на гари, стабильные высокие – в восстановившихся лесных насаждениях старших возрастов. Тогда растущие молодняки находятся в состоянии перехода от низких запасов к высоким. Следовательно, для лесного фонда России следует рассматривать переходы от не покрытых лесом (вырубки, гари, погибшие насаждения) к покрытым лесом землям со стабильным состоянием подстилки и почвы, а также переходы обратного направления. В учетах ГУЛФ категории, находящиеся в переходном состоянии к стабильным высоким запасам углерода подстилки и почвы, соответствуют возрастным группам молодняков. При этом продолжительность пребывания лесного насаждения в возрастных группах молодняков определяется длительностью возрастного класса, которая в зависимости от преобладающей породы может составлять 10, 20 или 40 лет. Если длительность возрастного класса 10 лет (мягколиственные породы), то на-

саждениями в возрасте до 20 лет будут молодняки I и II класса возраста, если класс возраста равен 20 годам (хвойные за исключением кедра и твердолиственные) – только I класса возраста. Для кедра (длительность класса возраста равна 40 годам) площадь насаждений в возрасте до 20 лет приблизительно равна половине площади молодняков I класса возраста.

Помимо рассмотренных, в лесном фонде постоянно имеют место переходы обратного направления, обусловленные рубками, пожарами и прочими причинами гибели насаждений (вспышки вредителей, ветровалы и т. д.). Для расчета величин, характеризующих оба направления перехода, был разработан следующий алгоритм. Время перехода (*T*) от не покрытых лесом земель к покрытым лесом со стабильным состоянием подстилки и почвы в соответствии с рекомендациями МГЭИК принимается равным 20 годам. Площади *i*-й преобладающей породы (AR_i), находящиеся в состоянии перехода от низких запасов к высоким, оцениваются по информации ГУЛФ для насаждений с возрастом не выше 20 лет. Расчет годичной площади насаждений *i*-й преобладающей породы, выбывающих из состава покрытых лесом земель со стабильным состоянием подстилки и почвы, проводится по уравнению (3):

$$AD_i = A_{ii_1} - A_{ii_2} + AR_i/T, \quad (3)$$

Таблица 2. Стабильные запасы углерода подстилки и почвы в лесных насаждениях преобладающих пород (CLF , CSF) и на не покрытых лесом площадях, образовавшихся на месте насаждений данных преобладающих пород ($CLNF$, $CSNF$) [по 26, 27], т С га⁻¹

Преобладающая порода	Подстилка		Почва	
	CLF	$CLNF$	CSF	$CSNF$
Сосна	9.0	5.9	86.5	76.0
Ель	10.9	7.1	104.6	91.9
Пихта	5.8	3.8	93.0	81.7
Лиственница	6.9	4.5	94.0	82.6
Кедр	5.3	3.7	148.1	130.1
Каменная береза	5.4	3.5	115.2	101.2
Прочие твердолиственные	5.4	3.5	58.8	51.7
Береза	6.7	4.4	103.0	90.5
Осина	5.1	3.3	77.3	67.9
Прочие мягколиственные	6.7	4.4	66.8	58.7
Прочие породы	5.4	3.5	58.8	51.7
Кедровый стланик	1.0	0.6	154.7	136.0
Прочие кустарники	6.7	4.4	138.9	122.0

где AD_i – площадь насаждений преобладающей породы i , выбывающих из состава покрытых лесом площадей со стабильным состоянием подстилки и почвы, га год⁻¹; A_{i1} – площадь всех насаждений преобладающей породы i со стабильным состоянием подстилки и почвы в год учета t_1 , га; A_{i2} – площадь всех насаждений преобладающей породы i со стабильным состоянием подстилки и почвы в последующий год учета t_2 , га; AR_i – площадь насаждений преобладающей породы i , находящихся в состоянии перехода к стабильному состоянию подстилки и почвы, га; T – время перехода к стабильному запасу подстилки на покрытых лесом площадях ($T = 20$ лет). Компонент AR_i/T характеризует площади, ежегодно достигающие стабильного состояния подстилки и почвы.

Расчет изменений запасов углерода подстилки в управляемых лесах РФ осуществляется по уравнению (4):

$$\Delta CL = \sum_i [AR_i(CLF_i - CLNF_i)/T - AD_i(CLF_i - CLNF_i)], \quad (4)$$

где ΔCL – годовое изменение запаса углерода в подстилке насаждений преобладающей породы i , т С год⁻¹; AR_i – площадь насаждений преобладающей породы i , находящихся в состоянии перехода к стабильному состоянию подстилки, га; AD_i –

площадь насаждений преобладающей породы i , выбывающих из состава покрытых лесом площадей со стабильным состоянием подстилки, га год⁻¹; CLF_i – стабильный запас подстилки в лесных насаждениях преобладающей породы i , т С га⁻¹; $CLNF_i$ – стабильный запас подстилки на не покрытых лесом площадях, образующихся на месте насаждений преобладающей породы i , т С га⁻¹; T – время перехода к стабильному запасу подстилки на покрытых лесом площадях. Величины стабильных запасов подстилки CLF_i и $CLNF_i$ (табл. 2) оценены с использованием материалов работы [27].

Уравнение, использованное для расчета изменений запасов углерода в почве, совершенно аналогично уравнению (4), за исключением того, что вместо CLF_i и $CLNF_i$ используются коэффициенты CSF_i и $CSNF_i$, характеризующие стабильные запасы углерода почвы на покрытых и не покрытых лесом площадях соответственно. Значения CSF_i и $CSNF_i$ (табл. 2) найдены для 30 см слоя почвы на основе материалов работы [26].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Агрегированные показатели динамики лесного фонда за 1990–2005 гг., используемые при расчетах бюджета углерода по пулам мертвой древесины, подстилки и почвы, приведены в табл. 3. Информационные лакуны 1989–1992 и 1994–1997 гг., объясняемые отсутствием в то время ежегодных ГУЛФ, заполнены при допущении линейного изменения площадей и объемных запасов древесины в соответствующие межучетные периоды.

Площадь управляемых покрытых лесом земель от 1990 к 2005 г. увеличилась на 18.7×10^6 га. Здесь в первую очередь сказывается важнейшая тенденция современного периода развития лесного хозяйства России, а именно: более чем двукратное падение уровня лесопользования в начале 1990-х годов [2, 5]. Сокращение площадей новых вырубок за счет снижения уровня лесозаготовок происходит одновременно с лесовосстановлением на вырубках более раннего периода, после чего они переходят в состав покрытых лесом земель.

В соответствии с алгоритмами расчета бюджета углерода по пулам подстилки и почвы сначала следует определить площади молодых насаждений, которые находятся в переходе к стабильному состоянию подстилки или почвы, характерному для насаждений старших возрастов. Следующей операцией является расчет годовых величин выбывания насаждений из состава покрытых лесом земель со стабильным состоянием подстилки или почвы по уравнению (3). Указанное уравнение основано на представлении о сохранении земельного баланса при допущении, что из состава насаждений,

Таблица 3. Площади и запасы древесины на управляемых покрытых лесом землях, площади земель, находящихся в переходе к стабильному состоянию подстилки и почвы, темпы выбывания площадей из состава покрытых лесом земель со стабильным состоянием подстилки и почвы в лесном фонде Российской Федерации

Год	Площадь покрытых лесом земель, 10 ³ га	Запас древесины, 10 ⁶ м ³	Площадь земель, находящихся в состоянии перехода, 10 ³ га	Темпы выбывания из состава покрытых лесом земель, 10 ³ га год ⁻¹
1990	535044.5	59674.4	63034.7	3056.9
1991	535290.0	59854.5	62524.4	3040.9
1992	535535.6	60034.5	62014.1	3024.9
1993	535781.1	60214.6	61503.8	1727.0
1994	537468.7	60471.1	61560.5	1725.1
1995	539156.4	60727.6	61617.2	1723.3
1996	540844.0	60984.1	61673.9	1721.5
1997	542531.7	61240.6	61730.6	1719.6
1998	544219.3	61497.1	61787.3	2519.0
1999	545429.6	61495.9	62267.3	2496.4
2000	547178.8	61765.4	63232.4	3911.8
2001	546814.2	61717.8	63516.6	3423.9
2002	547071.9	61719.2	63958.9	1991.3
2003	549090.9	62070.2	63132.2	987.6
2004	551647.0	62542.3	62220.4	1184.6
2005	553310.8	62913.2	61685.7	—

находящихся в переходном состоянии (т.е. в возрасте не выше 20 лет), ежегодно 5% (1/20 часть) достигает стабильного состояния подстилки и почвы. Это допущение справедливо лишь в случае, если распределение насаждений переходных стадий равномерно по возрасту, что в реальности соблюдается далеко не всегда. Например, если за данный год в стабильное состояние переходит более чем 5% насаждений, то при расчете по уравнению (3) могут быть получены отрицательные величины выбывания насаждений из стабильного состояния. Для их коррекции и предотвращения завышения накопления углерода в почве и подстилке (принцип консервативной оценки) встречаемые отрицательные значения выбывания насаждений из стабильного состояния были приравнены к нулю. Если площадь насаждений преобладающей породы со стабильным состоянием подстилки и почвы не меняется от года к году, то темпы выбывания из стабильного состояния в точности равны 5%-ной доле насаждений, находящихся в переходном состоянии. Табл. 3 демонстрирует результаты расчета темпов выбывания насаждений из состояния со стабильным состоянием подстилки и почвы.

Выбывание насаждений из состава покрытых лесом земель со стабильными запасами углерода подстилки и почвы определяются деструктивными воздействиями, из которых основными являются рубки главного пользования и лесные пожа-

ры. Использование статистических данных по указанным воздействиям дает возможность проверить корректность использованной процедуры расчета темпов выбывания. Рис. 1 показывает удовлетворительную степень соответствия полученных оценок темпов выбывания и суммарных масштабов деструктивных воздействий. Снижение сравниваемых величин в первой половине 90-х годов определяется уменьшением объемов лесопользования. Рост темпов выбывания площадей из состава покрытых лесом земель в 1998–2002 гг. в основном связан с большими площадями лесных

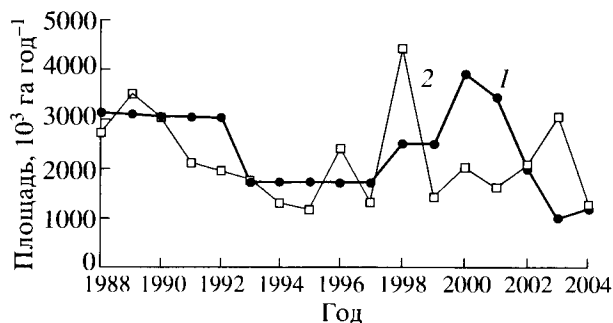


Рис. 1. Сравнение оценок темпов выбывания насаждений из состава покрытых лесом земель со стабильным состоянием подстилки и почвы и масштабов деструктивных воздействий на леса: 1 – темпы выбывания, 2 – масштабы деструктивных воздействий.

Таблица 4. Запасы углерода в мертвой древесине, годовые изменения запасов углерода в мертвой древесине, подстилке и почве управляемых лесов Российской Федерации

Год	Запас углерода в мертвой древесине, 10^6 т С	Изменение запаса углерода, 10^6 т С год ⁻¹			
		мертвая древесина	подстилка	почва	итого
1990	4411.1	7.8	0.4	0.6	8.9
1991	4419.0	7.8	0.4	0.6	8.8
1992	4426.8	7.8	0.3	0.6	8.8
1993	4434.6	9.4	3.6	16.8	29.8
1994	4444.0	9.4	3.6	16.9	29.9
1995	4453.4	9.4	3.6	17.0	30.0
1996	4462.8	9.4	3.6	17.0	30.1
1997	4472.2	9.4	3.6	17.1	30.2
1998	4481.6	-10.5	0.9	6.5	-3.2
1999	4471.1	14.8	1.7	5.3	21.8
2000	4485.9	-13.2	-1.3	-13.7	-28.2
2001	4472.7	-5.9	-0.2	-4.2	-10.3
2002	4466.8	12.4	3.3	13.7	29.4
2003	4479.3	25.4	5.3	26.8	57.4
2004	4504.6	23.0	4.6	23.0	50.7
Среднее	4459.1	7.8	2.2	9.6	19.6

пожаров 1998 г. [1, 2]. “Запаздывание” темпов выбывания определяется, с одной стороны, постепенным усыханием лесных насаждений, продолжающимся иногда в течение нескольких лет после пожара, с другой – временем, необходимым для отражения изменений структуры площадей в материалах ГУЛФ. Отметим, что снижение оценок темпов выбывания в начале 90-х годов также идет с 2-летней задержкой по сравнению с масштабами воздействий. Средняя величина оценки темпов выбывания за 1988–2004 гг. составляет 2382×10^3 га год⁻¹, а масштабов воздействий – 2189×10^3 га год⁻¹.

За 1990–2004 гг. пул мертвой древесины был стоком углерода со средней величиной 7.8 Мт С год⁻¹ при варьировании от -13.2 (источник углерода) до 25.4 (сток углерода) Мт С год⁻¹ (табл. 4). В качестве источника углерода данный пул выступал в 1998, 2000 и 2001 гг., что непосредственно связано с увеличением темпов выбывания насаждений из состава покрытых лесом площадей. Используемый алгоритм расчета в настоящее время не учитывает динамику запаса мертвой древесины на не покрытых лесом площадях (вырубки, гари), таким образом, переход от покрытых лесом площа-

дей к непокрытым отождествляется с полной потерей углерода пулом мертвой древесины. В реальности древесные остатки на вырубках и особенно гаях разлагаются в течение некоторого, иногда весьма длительного времени. Однако рано или поздно углерод мертвой древесины на образовавшихся вырубках и гаях все равно перейдет в атмосферу (за исключением небольшой части, пополняющей пулы подстилки и органического вещества почвы). Поэтому в применении к данным последовательных ГУЛФ расчетный алгоритм приводит лишь к некоторому смещению оценок по шкале времени, давая близкие к реальным величины значений бюджета углерода по пулу мертвой древесины при усреднении на многолетних интервалах.

Наименьшие изменения из рассматриваемых пулов углерода характерны для запаса углерода подстилки, при этом они отрицательны для 2000 и 2001 гг. (табл. 4). Тем не менее подстилка в среднем является стоком углерода с величиной 2.1 Мт С год⁻¹. Почва также является источником углерода в 2000 и 2001 гг., средняя за рассматриваемый период величина стока углерода в этот пул равна 9.6 Мт С год⁻¹. Синхронность динамики бюджета углерода по пулам подстилки и почвы является следствием сходства использованных алгоритмов вычислений.

Расчет углеродного бюджета лесов для периодов 1989–1992 и 1994–1997 гг. базировался на допущении о линейной динамике запасов древесины и площадей между учетами 1988, 1993 и 1998 гг. Это допущение приводит к стабильности изменений запасов углерода в 1990–1992 и 1993–1997 гг. Незначительные отклонения от стабильности для пулов подстилки и почвы в эти периоды связаны с использованием процедуры обнуления отрицательных значений темпов выбывания насаждений из состава покрытых лесом земель.

Итоговые значения бюджета углерода по пулам мертвого органического вещества в управляемых лесах РФ варьируют от -28.2 до 57.4 Мт С год⁻¹ (табл. 4) при средней величине 19.6 Мт С год⁻¹. Используя полученные нами ранее данные по бюджету углерода для пула фитомассы [1], можно заключить, что средняя за 1990–2004 гг. величина стока углерода в управляемые леса Российской Федерации составляла 95.7 Мт С год⁻¹ (350 Мт CO_2 год⁻¹) при варьировании от -54.9 (2000 г.) до 236.6 (2003 г.) Мт С год⁻¹ (рис. 2). Изменения бюджета углерода по пулам фитомассы и мертвого органического вещества сравнительно синхронны. Отмечается общая тенденция к увеличению стока углерода от начала 1990-х к первой половине 2000-х годов, прерываемая в 1998–2001 гг. Рассматриваемая динамика отражает всю совокупность мер по лесоуправлению в Российской Федерации, включая лесопользова-

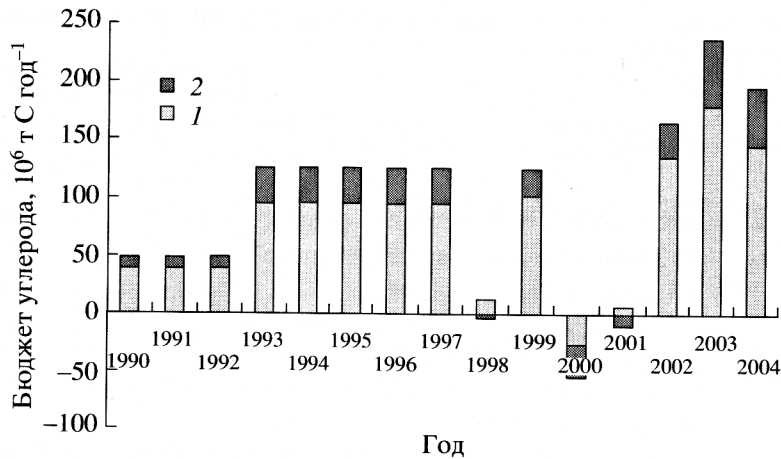


Рис. 2. Углеродный бюджет управляемых лесов Российской Федерации за 1990–2004 гг.: 1 – по пулу фитомассы, 2 – по пулам мертвого органического вещества.

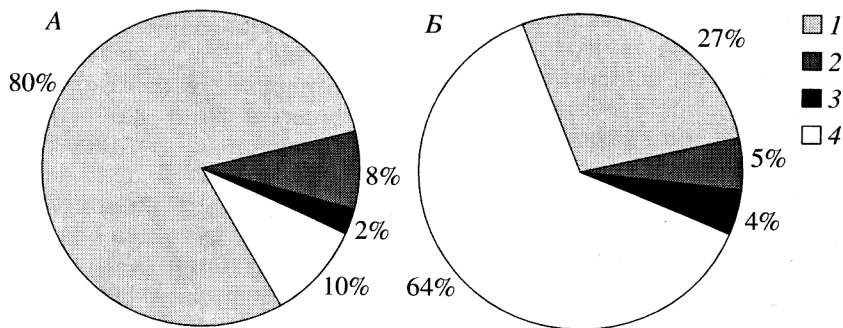


Рис. 3. Средний за 1990–2004 гг. вклад различных пулов в общий бюджет (А) и запас (Б) углерода управляемых лесов Российской Федерации: 1 – фитомасса, 2 – мертвая древесина, 3 – подстилка, 4 – почва.

ние, лесовосстановление, охрану и защиту лесов. Наиболее важной причиной, по которой леса в рассматриваемый период являлись поглотителями углерода, было отмеченное выше двукратное уменьшение уровня лесопользования 1990–1994 гг. Снижение поглощения углерода вплоть до конверсии в источник в 1998–2001 гг. связано с экстремальными пожарными событиями 1998 г.

В среднем для 1990–2004 гг. вклад пула фитомассы в общую величину стока углерода составляет 80%, мертвой древесины – 8%, подстилки – 2%, почвы – 10% (рис. 3, А). Такая картина радикально отличается от вклада этих пулов в общий запас углерода (рис. 3, Б), где значительно преобладает доля органического вещества почвы (64%), а доля фитомассы снижается до 27%. Причина лежит в консервативности свойств почвы, лишь в небольшой степени откликающейся на управляющие и нарушающие воздействия. Наши оценки можно сравнить с полученными для лесов Канады при помощи модельного анализа [33]. Доли пулов фитомассы, мертвой древесины, подстилки и почвы в общем запасе углерода лесов

Канады в 1990 г. равнялись соответственно 15, 10, 3, 67%, что в целом неплохо согласуется с нашими оценками (рис. 3, Б), особенно если учесть, что в работе [33] рассматривается метровый слой почвы. В цитируемой работе оценен бюджет углерода лесов Канады за 1920–1990 гг. Соотношение вкладов различных пулов в общий бюджет углерода зависит от текущей возрастной структуры лесов, интенсивности нарушений и т.д. В 1970–1990 гг. пул фитомассы лесов Канады вообще был источником углерода, что в первую очередь связано со значительным повышением гибели древостоев в результате вспышек вредителей. В наибольшей степени к современной российской ситуации близко состояние лесов Канады в 1920–1930 гг., так как к началу данного периода произошло значительное сокращение объемов лесопользования. Для этого периода соотношение вклада пулов в общий бюджет углерода составляет: фитомассы 56%, мертвой древесины 20, подстилки 10, почвы 13%. Таким образом, и здесь очевидна тенденция к повышению вклада фитомассы за счет снижения доли почвы.

Таблица 5. Площади, запасы древесины и оценки бюджета углерода для групп лесообразующих пород управляемых лесов России в среднем за 1990–2004 гг.

Группа пород	Площадь, 10 ³ га	Запас, 10 ⁶ м ³	Бюджет углерода по пулам, 10 ⁶ т С год ⁻¹		
			фитомассы	мертвого вещества	всего
Хвойные	370007.1	46066.9	1.2	1.1	2.2
Твердолиственные	15106.3	1720.4	4.3	0.3	4.5
Мягколиственные	107951.9	12238.5	68.0	17.1	85.1
Прочие породы и кустарники	49141.7	1041.4	2.6	1.2	3.8
Всего	542206.9	61067.3	76.1	19.6	95.7

Общие форматы отчетности, разработанные органами РКИК ООН и Киотского протокола, предоставляют возможность детализации общих национальных оценок бюджета углерода. Имеет смысл осуществить такую детализацию для групп преобладающих пород (хвойные, твердолиственные, мягколиственные, прочие и кустарники). Усредненные для 1990–2004 гг. результаты детализации представлены в табл. 5. Можно отметить, что основная доля поглощенного углерода (85.1 Мт С год⁻¹, или 89.0%) приходится на мягколиственные насаждения. В то же время вклад хвойных насаждений (2.2 Мт С год⁻¹, или 2.3%) оказывается крайне невелик в сравнении с их преобладанием по площади (68.2% от площади управляемых лесов).

Найденная закономерность объясняется традиционным характером лесопользования в Российской Федерации, предусматривающим преимущественную эксплуатацию хвойных насаждений. Естественное зарастание вырубок характеризуется, как правило, преобладанием мягколиственных пород, впоследствии сменяющихся хвойными породами при естественных сукцессиях. Сформировавшиеся на месте масштабных вырубок 1970–1980-х годов быстрорастущие мягколиственные насаждения активно увеличивают запасы древесины и поглощают углерод из атмосферы. Согласно данным ГУЛФ, за 1988–2005 гг. запас древесины в управляемых насаждениях мягколиственных пород увеличился с 10.6 до 13.6 × 10⁹ м³ при росте площади с 98.8 до 116.6 × 10⁶ га, в то время как запасы древесины в управляемых хвойных насаждениях за тот же период изменились незначительно (с 46.0 до 46.4 × 10⁹ м³). Детальные данные по динамике породно-возрастной структуры управляемых лесов России приведены в работе [1].

Конверсионные коэффициенты и эталонные средние значения запасов углерода (табл. 1, 2) по сути являются национальными параметрами уравнений, предложенных МГЭИК для расчетов бюджета углерода лесов. Руководства МГЭИК [21] содержат типовые значения параметров, ко-

торые могут быть использованы при отсутствии национальных данных. Безусловный интерес представляет сравнение найденных нами и типовых значений параметров.

Согласно данным табл. 3 и 4, средний запас мертвой древесины в управляемых лесах России равен 8.2 т С га⁻¹ или 16.4 т га⁻¹ в расчете на сухое органическое вещество. Типовые значения [21] приводятся лишь для категорий “тропические”, “вечнозеленые” и “лиственные” леса, составляя соответственно 18.2, 43.4, 34.7 т га⁻¹. Нами показано [11], что запас мертвой древесины в лесном насаждении является функцией от породного состава и размерных характеристик древостоя, а также климата. Средние для России запасы мертвой древесины в возрастных группах спелых и перестойных для хвойных насаждений составляют 35–45 т га⁻¹, твердолиственных – 21–47 т га⁻¹, мягколиственных – 8–10 т га⁻¹. Наличие в управляемых лесах России молодых насаждений снижает среднюю величину запаса мертвой древесины. Выраженные в отношении к запасу фитомассы, типовые значения составляют 20% для вечнозеленых и 14% для лиственных лесов, наши аналогичные оценки равны 22% для хвойных и 11% для твердолиственных пород. Таким образом, наши и типовые параметры уравнений расчета бюджета углерода по пулу мертвой древесины оказываются очень близкими в относительном выражении.

Типовые значения запасов углерода подстилки [21] представлены для типов леса (широколиственные, хвойные) в разрезе вариантов климата (бореальный сухой, бореальный влажный и т.д.). Для умеренного и бореального климата они меняются в пределах 13–55 т С га⁻¹. Приведены также типовые значения годичного накопления углерода подстилки, варьирующие от 0.2 до 0.8 т С га⁻¹ год⁻¹. Найденные нами значения оказываются заметно ниже: 7.1 т С га⁻¹ и 0.13 т С га⁻¹ год⁻¹ в среднем для управляемых лесов России. По-видимому, здесь могут сказываться различия подходов к выделению горизонтов подстилки из общего почвенного профиля в отечественном и зарубежном почвоведении. Подтверждением данному тезису служат

Таблица 6. Сравнение оценок бюджета углерода для лесов России

Объект	Год	Бюджет, Мт С год ⁻¹	Способ оценки	Источник
Леса и лесные почвы России	1980	78	Модель динамики углерода в лесах России	[10, 32]
	2000	134		
Леса России	1990	107	Модель ССBF (углерод и климат бореальных лесов)	[31]
То же	1990	176	Геоинформационная система IIASA FOR	[36]
»*	1995–1999	283.6	Расчеты по изменению дистанционных NDVI в последовательных съемках	[29, 35]
»*	1995	429	База данных TBFRA-2000, составленная по национальным докладам	[34]
Лесной фонд России	1990	442	Баланс потоков с оценкой NEP по среднему приросту из данных инвентаризации	[24]
	2000	493		
То же	2005	118	Глобальная модель лесопользования с калибровкой по данным инвентаризации	[2]
»*	1993–2003	120.9	Баланс потоков	[37]
Управляемые леса России	2000	-54.9	Расчеты по данным последовательных инвентаризаций	Настоящая работа
	2003	236.6		
	1990–2004	95.7		

* Только для пула фитомассы.

противоположные различия в запасах углерода почвы: 95 (60–155) т С га⁻¹ у нас (табл. 2) и 59 (10–117) т С га⁻¹ для типовых значений. Типовые значения годового накопления углерода почвы при различных режимах лесопользования не приводятся, что аргументируется недостаточностью накопленных к текущему моменту научных знаний о почвах управляемых лесов. Наша оценка годового накопления углерода почвы при переходе от не покрытых к покрытым лесом площадям составляет 0.59 т С га⁻¹ год⁻¹ в среднем для управляемых лесов России.

Перед сравнением полученных в настоящей работе оценок углеродного бюджета лесов с известными из научной литературы следует подчеркнуть, что наши результаты получены для управляемых лесов России. Это понятие лишь недавно стало входить в отечественный научный обиход, и потому независимые оценки бюджета углерода для управляемых лесов России полностью отсутствуют. Отметим, что управляемые леса составляют около 71% по площади и 76% по запасу древесины от всех покрытых лесом земель РФ. К тому же именно на управляемые леса приходится та совокупность антропогенных воздействий, которая главным образом определяет знак и величину углеродного бюджета. Потому прямое сравнение наших результатов с полученными для всех лесов России представляется вполне содержательным.

К настоящему времени в научной литературе накоплено большое число оценок различных

компонентов углеродного бюджета лесов России, что отражает значимость данного объекта для глобального углеродного цикла. Из всей совокупности опубликованных работ были выбраны те, в которых имеются величины углеродного бюджета либо по пулу фитомассы, либо по суммарному пулу углерода (табл. 6). Бюджет углерода по пулу фитомассы является значимой характеристикой, поскольку, согласно нашим результатам, его вклад в современную величину поглощения составляет 80%. Часть цитируемых работ [2, 10, 31, 32, 36] выполнены с использованием моделей и включают рассмотрение прогнозных сценариев. Из этих работ выбраны те оценки, которые укладываются в рассматриваемый нами временной интервал (1990–2004 гг.).

Опубликованные величины углеродного бюджета лесов России распадаются на две группы (табл. 6). Первую группу составляют величины, укладываемые в диапазон 80–180 Мт С год⁻¹ [2, 10, 31, 32, 36, 37]. Наши оценки для разных лет варьируют от -28 до 237 Мт С год⁻¹, т.е. в большей степени. Средняя для цитируемых работ первой группы величина бюджета углерода лесов России равна 129 Мт С год⁻¹, среднее значение по нашим данным - 95.7 Мт С год⁻¹. Учитывая, что наши оценки относятся лишь к управляемым лесам (71% от площади покрытых лесом земель), совпадение величин можно считать вполне удовлетворительным.

Вторая группа значений варьирует в узком диапазоне от 430 до 490 Мт С год⁻¹ [24, 34]. Столь

высокое сходство внутри обсуждаемой группы оценок неудивительно. Обзорная база данных TBFRA-2000 формировалась на основе национальной информации в рамках деятельности ФАО по глобальной оценке лесных ресурсов 2000 г. [34]. От Российской Федерации были представлены величины бюджета углерода по пулу фитомассы, рассчитанные на основе величин среднего прироста из материалов ГУЛФ [17, 18]. Не вдаваясь в детальную дискуссию, отметим, что такой подход игнорирует реальную возрастную структуру древостоев и тем самым существенно завышает сток углерода в лесные экосистемы. Величины бюджета углерода лесов России из базы данных TBFRA-2000 стали широко известны и активно цитируются в зарубежном научном сообществе.

Оценка бюджета углерода по пулу фитомассы, полученная с применением данных дистанционного зондирования [29, 35], находится посередине между двумя группами остальных значений. Причина расхождений с нашими данными здесь не совсем понятна, особенно если учесть хорошее совпадение дистанционных оценок с цитируемыми выше модельными результатами по лесам Канады [33]. Возможно, завышение поглощения углерода в древесную фитомассу связано с дистанционным учетом зарастания заброшенных сельскохозяйственных площадей российского Нечерноземья [2]. Такие земли по своему назначению продолжают оставаться сельскохозяйственными, и потому новообразовавшиеся молодняки мягколиственных пород не учитываются в ГУЛФ.

Проведенные сравнения показывают, что как найденные оценки углеродного бюджета управляемых лесов России, так и параметры уравнений расчета не противоречат имеющимся научным сведениям по циклу углерода в лесах. Однако процесс построения системы оценки углеродного бюджета лесов России нельзя считать полностью завершенным. Возможный источник неопределенности заключен в значениях параметров накопления углерода в пулах подстилки и почвы (табл. 2). Расчет стабильных значений запасов углерода в подстилке и почве покрытых лесом площадей осуществлен на основе значительного числа исходных описаний (540 для подстилки и 742 для почвы). Однако число описаний для не покрытых лесом площадей существенно меньше (23 для подстилки и 121 для почвы). Пополнение массива экспериментально-полевой информации по данному вопросу следует считать крайне желательным. Другой источник неопределенности может быть связан с отсутствием учета специфики природных условий различных регионов России. Географическая детализация расчетов рассматривается авторами в качестве одного из направлений развития настоящей работы.

Алгоритм расчета бюджета по пулу фитомассы управляемых лесов России на основе информации последовательных ГУЛФ [1] в настоящее время используется для формирования национальной отчетности по РКИК ООН и Киотскому протоколу [28]. Алгоритмы, предложенные в настоящей работе, позволяют в согласованном формате получить оценки бюджета для остальных пулов углерода. Информация последовательных ГУЛФ имеется вплоть до 2006 г., что дает возможность провести расчеты для периода 1990–2005 гг. К сожалению, будущее применение разработанных алгоритмов, в том числе для первого периода действия Киотского протокола (2008–2012 гг.), может быть связано с серьезными трудностями. Причиной тому являются значительные изменения лесного законодательства, обусловленные принятием в конце 2006 г. нового Лесного кодекса [12]. Так, из кодекса полностью исключено понятие “государственный учет лесного фонда”, замененное “государственной инвентаризацией лесов”, структура и порядок которой сейчас только разрабатываются государственными органами управления лесами. Кодексом вводится подразделение лесов, расположенных на землях лесного фонда, на защитные, эксплуатационные и резервные, что в свою очередь может повлечь определенные изменения в выделении границ управляемых лесов.

Полученные в настоящей работе результаты свидетельствуют, что существовавшая до последнего времени система инвентаризации лесов и государственного учета лесного фонда в определенной степени обеспечивала информационные потребности, связанные с оценкой бюджета углерода лесов. Однако вполне очевидны и потенциальные направления ее совершенствования, предоставляющие возможности проведения более детальных расчетов и снижающие их неопределенность. В частности, такие направления связаны с характеристикой распределения площадей и запасов насаждений преобладающих пород по классам возраста и бонитетам, формированием картографической основы, более информативным описанием не покрытых лесом площадей, прежде всего вырубок и гарей [2]. Следует также обеспечить преемственность и согласованность в сборе лесоинвентаризационной информации, сохранение годичной периодичности ее федеральной генерализации.

Все нарастающие негативные проявления климатических изменений могут уже в ближайшем будущем привести к тому, что функции лесов, связанные с поглощением и хранением углерода, станут не менее важными в экономическом аспекте, чем сырьевые. Как отмечал А.И. Уткин в концептуальной работе “Углеродный цикл и лесоводство”, лесоводство будущего “если и не станет полностью ориентированным на углеродный

цикл, но будет с ним считаться" [22, с. 3]. Именно поэтому в период реформирования лесного хозяйства страны необходимо обеспечить создание адекватной структуры учета, мониторинга и управления запасами углерода лесов.

Выводы. 1. Предложенная методика расчета углеродного бюджета лесов Российской Федерации соответствует второму уровню сложности МГЭИК и рекомендуется к использованию при формировании национальной климатической отчетности.

2. Средняя за 1990–2004 гг. величина стока углерода в управляемые леса Российской Федерации составляла 95.7×10^6 т С год⁻¹, при этом на долю фитомассы приходилось 80% стока, на долю пулов мертвого органического вещества (мертвой древесины, подстилки и почвы) оставшиеся 20%.

3. Наличие стока углерода в управляемые леса отражает всю совокупность мер по лесопользованию в Российской Федерации, включая лесопользование, лесовосстановление, охрану и защиту лесов. Среди прочих мер наибольшее значение имеет двукратное снижение уровня лесопользования, имевшее место в начале 1990-х годов.

4. Создание адекватной структуры учета, мониторинга и управления запасами углерода в лесах следует считать одной из приоритетных задач современного периода реформирования лесного хозяйства.

5. Снижение неопределенностей в расчетах бюджета углерода по пулам подстилки и почвы связано с пополнением массива научных знаний об изменениях запасов углерода в подстилке и почвы при нарушениях (рубки, пожары, вспышки вредителей и др.) и последующих лесовосстановительных процессах.

Авторы выражают благодарность ФГУП "Рослесинфорг" за помощь в сборе исходных данных по динамике лесного фонда России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гитарский М.Л., Замолодчиков Д.Г., Коровин Г.Н., Карабань Р.Т. Эмиссия и поглощение парниковых газов в лесах России в связи с выполнением обязательств по климатической конвенции ООН // Лесоведение. 2006. № 6. С. 34–44.
2. Замолодчиков Д.Г., Коровин Г.Н., Уткин А.И., Честных О.В., Сонген Б. Углерод в лесном фонде и сельскохозяйственных угодьях России. М.: КМК, 2005. 200 с.
3. Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И. Система конверсионных отношений для расчета чистой первичной продукции лесных экосистем по запасам насаждений // Лесоведение. 2000. № 6. С. 54–63.
4. Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И. Запасы дебриса, его разложение и депонирование в лесном фонде России: результаты расчетов // Проблемы лесной

- фитопатологии и микологии. Матер. 6-й Междунар. конф. 18–22 сентября 2005 г. Москва–Петрозаводск: РАН, Научный совет РАН по лесу, Ин-т лесоведения РАН, Ин-т леса КНЦ РАН, 2005. С. 138–143.
5. Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И., Коровин Г.Н., Честных О.В. Динамика пулов и потоков углерода на территории лесного фонда России // Экология. 2005. № 5. С. 323–333.
6. Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И., Честных О.В. Коэффициенты конверсии запасов насаждений в фитомассу основных лесобразующих пород России // Лесная таксация и лесоустройство. 2003. Вып. 1(32). С. 119–127.
7. Исаев А.С., Коровин Г.Н., Сухих В.И., Титов С.П., Уткин А.И., Голуб А.А., Замолодчиков Д.Г., Пряжников А.А. Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России (Аналитический обзор). М.: Центр экологической политики России, 1995. 155 с.
8. Карелин Д.В., Уткин А.И. Скорость разложения крупных древесных остатков в лесных экосистемах // Лесоведение. 2006. № 2. С. 26–33.
9. Киотский протокол к рамочной конвенции Организации Объединенных наций об изменении климата. Официальный русский перевод. ООН, 1997. 27 с.
10. Кокорин А.О., Назаров И.М. Оценка влияния потепления климата и роста потока фотосинтетически активной радиации на бореальные леса // Метеорология и гидрология. 1994. № 5. С. 44–54.
11. Кудеяров В.Н., Заварзин Г.А., Благодатский С.А., Борисов А.В., Воронин П.Ю., Демкин В.А., Демкина Т.С., Евдокимов И.В., Замолодчиков Д.Г., Карелин Д.В., Комаров А.С., Курганова И.Н., Ларионова А.А., Лопес де Гереню В.О., Уткин А.И., Чертов О.Г. Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России. М.: Наука, 2007. 315 с.
12. Лесной кодекс Российской Федерации. М.: Эксмо, 2007. 92 с.
13. Лесной фонд СССР. Стат. сб. в 2-х томах. М.: ВНИИЦлесресурс, 1990. Т. 1. 1005 с.; Т. 2. 1021 с.
14. Лесной фонд России. Справочник. М.: ВНИИЦлесресурс, 1995. 280 с.
15. Там же, 1999. 650 с.
16. Лесной фонд России. Справочник. М.: ВНИИЛМ, 2003. 640 с.
17. Моисеев Б.Н., Алферов А.М., Страхов В.В. Об оценке запаса и прироста углерода в лесах России // Лесное хоз-во. 2000. № 2. С. 18–20.
18. Моисеев Б.Н., Страхов В.В. Расчеты возможной реакции лесов на глобальное потепление климата // Лесное хоз-во. 2002. № 4. С. 5–8.
19. Пересмотренные руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов. Межправительственная группа экспертов по изменению климата, 1996.
20. Рамочная конвенция ООН об изменении климата. Официальный русский перевод. ООН, 1992. 30 с.

21. Руководящие указания по эффективной практике для землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства. Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов. МГЭИК, 2003.
22. Уткин А.И. Углеродный цикл и лесоводство // Лесоведение. 1995. № 5. С. 3–20.
23. Уткин А.И., Замолодчиков Д.Г., Гульбе Т.А., Гульбе Я.И., Ермолова Л.С. Определение запасов углерода по таксационным показателям древостоев: перспективы метода поучастковой аллометрии // Лесоведение. 1998. № 2. С. 38–54.
24. Филипчук А.Н., Моисеев Б.Н. Вклад лесов России в углеродный баланс планеты // Лесохозяйственная информация. 2003. № 1. С. 27–34.
25. Честных О.В., Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И., Коровин Г.Н. Распределение запасов органического углерода в почвах лесов России // Лесоведение. 1999. № 2. С. 13–21.
26. Честных О.В., Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И. Общие запасы биологического углерода и азота в почвах лесного фонда России // Лесоведение. 2004. № 4. С. 30–42.
27. Честных О.В., Лыжин В.А., Кокишарова А.В. Запасы углерода в подстилках лесов России // Лесоведение. 2007. № 6. С. 114–121.
28. Четвертое национальное сообщение Российской Федерации. Издание официальное / Под ред. Израэля Ю.А. и др. М.: АНО Метеоагентство Росгидромета, 2006. 164 с.
29. Dong J., Kaufmann R.K., Myneni R.B., Tucker C.J., Kauppi P.E., Liski J., Buermann W., Alexeyev V., Hughes M.K. Remote sensing estimates of boreal and temperate forest woody biomass: carbon pools, sources, and sinks // Remote Sensing of Environment. 2003. V. 84. P. 393–410.
30. Isaev A., Korovin G., Zamolodchikov D., Utkin A., Pryaznikov A. Carbon stock and deposition in phytomass of the Russian forests // Water, Air and Soil Pollution. 1995. V. 82. P. 247–256.
31. Izrael Y.A., Gytarsky M.L., Karaban R.T., Lelyakin A.L., Nazarov I.M. Consequences of Climate Change for Forestry and Carbon Dioxide Sink in Russian Forests // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2002. V. 38. Suppl. 1. P. S84–S98.
32. Kokorin A.O., Nazarov I.M. The analysis of growth parameters of Russian boreal forests in warming, and its use in carbon budget model // Ecological Modelling. 1995. V. 82. P. 139–150.
33. Kurz W., Apps M. A 70-year retrospective analysis of carbon fluxes in the Canadian forest sector // Ecological Applications. 1999. V. 9. № 2. P. 526–547.
34. Liski J., Kauppi P. Woody biomass and the carbon cycle // Forest Resources of Europe, CIS, North America, Australia, Japan and New Zealand (industrialized temperate/boreal countries). UNECE/FAO contributions to the global forest resources assessment. N.Y.: United Nations, 2000. P. 155–171.
35. Myneni R.B., Dong J., Tucker C.J., Kaufmann R.K., Kauppi P.E., Liski J., Zhou L., Alexeyev V., Hughes M.K. A large carbon sink in the woody biomass of Northern forests // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2001. V. 98. P. 14784–14789.
36. Nilsson S., Shvidenko A., Stolbovoi V., Gluck V., Mattias J., Obersteiner M. Full carbon account for Russia // IASA Interim Report, 1R-00-021. Luxemburg Austria, 2000. 181 p.
37. Sohngen B., Andrasko K., Gytarsky M., Korovin G., Laestadius L., Murray B., Utkin A., Zamolodchikov D. Stocks and flows: carbon inventory and mitigation potential of the Russian forest and land base. Washington: World Resources Institute, 2005. 52 p.

The Carbon Budget of Managed Forests in the Russian Federation

D. G. Zamolodchikov, G. N. Korovin, M. L. Gitarsky

The algorithms for the calculating the carbon budget of forests according to the pools of dead wood, litter, and soil were elaborated taking into account recommendations of the Intergovernmental Panel on Climate Changes. The estimates for the carbon budget based on the pools of dead organic matter for managed forests of the Russian Federation were obtained. For the period of 1990–2004, the mean values of carbon absorption by the dead wood, litter and soil amounted to 7.8×10^6 , 2.2×10^6 , and 9.6×10^6 t C yr⁻¹, respectively. The mean carbon absorption by managed forests of Russia taking into account the pool of phytomass equaled 95.7×10^6 t C yr⁻¹. The carbon budget reflects all the measures for management of forests in the Russian Federation, including forest use, forest restoration, and conservation and protection of forests.