

DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2020.1.10
УДК 630.182.21

Бореальные леса России: возможности для смягчения изменения климата

А. Н. Филипчук

Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, заместитель директора по науке, доктор сельскохозяйственных наук, Пушкино, Московская область, Российская Федерация, aflipchuk@yandex.ru

Н. В. Малышева

Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, заместитель начальника отдела, кандидат географических наук, Пушкино, Московская область, Российская Федерация, nat-malysheva@yandex.ru

Т. А. Золина

Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, инженер 1-й категории, Пушкино, Московская область, Российская Федерация, tzolina@gmail.com

А. Н. Югов

Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, заведующий сектором, Пушкино, Московская область, Российская Федерация, ayugov@yandex.ru

В статье рассмотрена роль бореальных лесов в смягчении изменения климата. С учетом знаний о бореальных лесах России и данных отраслевой статистической отчетности выполнена оценка поглощения, потерь и баланса углерода. Выявлен намного более высокий потенциал бореальных лесов в смягчении изменения климата, чем считалось ранее. Впервые рассчитаны объемы поглощения, потерь и баланса углерода в бореальных лесах России и проанализирована их динамика за длительный период времени. Предлагаемые авторами способы расчета баланса углерода в лесах позволят повысить достоверность оценок по сектору, включающему лесное хозяйство, в отчетности Российской Федерации для Рамочной конвенции ООН об изменении климата.

Ключевые слова: бореальные леса, поглощение углерода, эмиссии (потери) углерода, баланс (бюджет) углерода.

Для ссылок: <http://dx.doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2020.1.10>

Бореальные леса России: возможности для смягчения изменения климата / А. Н. Филипчук, Н. В. Малышева, Т. А. Золина, А. Н. Югов. – DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2020.1.10. – Текст : электронный // Лесохоз. информ. : электронный сетевой журнал. – 2020. – № 1. – С. 92–113. URL: <http://lhi.vniilm.ru/>

Введение

Климат на Земле периодически меняется. В последние годы эти изменения характеризуются повышением средней годовой температуры атмосферного воздуха в результате увеличения концентрации парниковых газов в атмосфере, усиливающей парниковый эффект. Климатические изменения сопровождаются целым рядом нежелательных, а зачастую и катастрофических, природных явлений: аномально высокие или низкие температуры, длительные засухи, паводки и наводнения, ураганы и пр. Несмотря на то что доля антропогенных выбросов парниковых газов не превышает 5% в общем объеме эмиссий, ученые сходятся во мнении, что именно они являются основной причиной изменения климата. Согласно оценкам, полученным с помощью современных математических моделей, в XXI в. Россия останется регионом мира, где потепление климата существенно превысит среднее глобальное потепление [1]. На современном уровне развития человечество не может предотвратить изменение климата, но способно сдержать рост температуры путем снижения объема эмиссий парниковых газов и увеличения поглощения углекислого газа растительностью, сохраняя и приумножая площадь лесов и повышая их производительность.

Леса играют чрезвычайно важную роль в глобальном балансе углерода. На Земле существует два основных лесных биома: тропические и бореальные леса. Тропическим лесам в обзорах по климатическим соглашениям и публикациях международных организаций уделяется намного больше внимания из-за большей численности населения, проживающего в тропических районах, изменений в землепользовании, а также более острых проблем, связанных с сохранением биоразнообразия и, в конечном счете, стремительным сокращением их площади в результате обезлесения и деградации. Бореальные леса, по мнению ученых [2, 3], остаются недооцененными, как в плане их роли

в поглощении и связывании углерода, так и в сохранении биоразнообразия.

Бореальные леса России занимают более половины общей площади циркумполярных бореальных лесов мира и являются самым крупным «хранилищем» углерода, главным производителем кислорода для всей Евразии и основой «биотического насоса», обеспечивающего циклическое перемещение воды в биосфере Земли. Количественная оценка поглощения, потерь и баланса углерода специально для зоны бореальных лесов до настоящего времени не выполнялась. Для оценки баланса углерода все леса на территории России зачастую условно относят к бореальным. На самом деле это упрощенное допущение. К бореальным на территории России следует относить леса, преимущественно хвойные, приуроченные к субарктическому и умеренному климатическим поясам, которые подразделены на климатические области, имеющие меридиональное простирание [4]. Часть лесов, произрастающих в зоне умеренного климата, не относится к бореальным. Они представлены преимущественно широколиственными, хвойными и мелколиственными группами древесных пород. Небольшие участки лесов Северного Кавказа приурочены к субтропическому климатическому поясу. В долевого участия эти территории не превышают 10% общей площади лесов России, однако производительность их значительно выше, чем бореальных.

Для общей оценки роли бореальных лесов в смягчении изменений климата под эгидой Международной ассоциации исследователей бореальных лесов (IBFRA)¹ был организован международный проект: «Устойчивое управление лесами бореального пояса – вызовы и возможности для смягчения изменения климата». В проекте приняли участие 6 стран циркумполярной зоны (США, Канада, Норвегия, Швеция, Финляндия, Россия), леса которых составляют 90% общей площади бореальных лесов мира. Основные результаты исследований, касающиеся бореальных лесов России, представлены в настоящей статье.

¹ IBFRA была создана в 1991 г. с целью поощрения и координации исследований, направленных на углубление понимания роли бореальных лесов в сохранении наземных экосистем и снижении риска изменения климата Земли.

Авторы впервые выполнили и рассмотрели количественные оценки и динамику объемов поглощения, потерь и баланса углерода бореальными лесами России за длительный период времени.

Обзор литературы

Обобщённых оценок поглощения, потерь и баланса углерода по бореальным лесам России нет. В литературных источниках имеются сведения по лесам России в целом. В национальном докладе о кадастре парниковых газов (ПГ) [1] приводятся данные о поглощении, эмиссиях и балансе углерода и других парниковых газов в управляемых лесах Российской Федерации. К управляемым относятся леса, расположенные на землях лесного фонда, землях особо охраняемых природных территорий – 2,6% общей площади управляемых лесов, землях обороны и безопасности – 0,6%. Из состава управляемых на землях лесного фонда исключены леса резервного назначения, площадь которых составляет около 200 млн га. Площадь управляемых лесов на землях лесного фонда, ООПТ и обороны и безопасности, по состоянию на 2017 г., составила 687,8 млн га, или 76,7% площади лесных земель всех категорий Российской Федерации [1].

По данным национального кадастра, управляемые леса на землях лесного фонда с 1990 по 2017 г. ежегодно абсорбировали от 279,3 до 342,2 Мт С/год (в среднем – 321,6 Мт С/год). В среднем 71,7% абсорбции углерода приходилось на фитомассу, 10,3% на мертвую древесину, 3,2% на подстилку и 14,7% на почву.

Потери углерода в результате рубок и гибели лесных насаждений от пожаров и других факторов на управляемых лесных землях за тот же период изменялись от 128,7 Мт до 220,2 Мт С/год (в среднем – 155,6 Мт С/год). В среднем 66,2% потерь углерода приходилось на фитомассу, 12,3% на мертвую древесину, 3,5% на подстилку, 18,0% на почву.

За рассматриваемый период поглощение управляемыми лесами Российской Федерации превышало выбросы парниковых газов в объемах от 56,3 Мт С/год в 1990 до 199,6 Мт С/год в 2010 г. (среднее значение – 164,6 Мт С/год).

Наибольшее нетто-поглощение обеспечивал пул фитомассы в объеме от 90,9 Мт до 192,8 Мт С/год (среднее значение – 166,5 Мт С/год). В среднем за 1990–2015 гг. величина чистого стока углерода в пул мертвой древесины составляла 14,9 Мт С/год. Наименьшие по абсолютным величинам изменения характерны для запаса углерода подстилки, в среднем пул подстилки является стоком углерода с величиной 5 Мт С/год. Средняя за рассматриваемый период величина стока углерода в минеральные почвы составила 18,8 Мт С/год.

Расчеты биологической продуктивности и углеродного баланса лесов Российской Федерации начали проводить в начале 1990-х гг. С этого времени выполнены многочисленные исследования, результаты которых представляют широкий спектр оценок. Многообразие методических подходов, использованных для расчетов, представлено в публикации [5]. Оценки запаса и баланса углерода лесами, приведенные в литературных источниках, сведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Свод оценочных данных по запасу углерода в лесах Российской Федерации

Источник данных/авторы	Объект оценок /пулы	Запас углерода, млн т С (Мт С)
Kolchugina et al., 1992/1993 (по данным Н. И. Базилевич)	Леса бывш. СССР: фитомасса мортмасса подстилка	50 403 18 274 12 200
Vinson et al., 1993 (по данным Н. И. Базилевич)	Лесные биомы бывш. СССР	110 300
Исаев и др., 1993	Леса России	41 200

Окончание табл. 1

Источник данных/авторы	Объект оценок /пулы	Запас углерода, млн т С (Мт С)
Алексеев, Бердси, 1994	Леса России	47 086
Krankina, Dixon, 1994	Леса бывш. СССР	47 100
Исаев и др., 1995 (расчеты по данным ГУЛФ 1993 г.)	Леса России: фитомасса мортмасса	38 632 н/д
Виноградов и др., 1996 (по коэфф. Алексеева, Бердси, 1994)	Леса России по данным ГУЛФ 1993	48 000
Швиденко и др., 1997 (моделирование)	Покрытая лесом площадь России	30 695
Izrael Yu.A. – edit., 1997 (моделирование)	Лесные экосистемы	42 000–57 000
Моисеев, 1999	Лесные земли России: фитомасса и мортмасса	47 000
Уткин и др., 2001	Покрытая лесом площадь России	33 472
Nilsson et al., 2000	Леса России: фитомасса	38 000
Моисеев, 2011	Лесные земли России: фитомасса и мортмасса	49 400±9 000
Швиденко, Щепашенко, 2014	фитомасса	37 472
	мортмасса	10 295
	лесная подстилка	8 323
	почва (1 м)	136 210
Росгидромет (Национальный доклад о кадастре, 2015)	Управляемые леса РФ: биомасса древостоя	26 291
	мертвая древесина	5 236
	подстилка	4 820
	ОВ почвы (0,3 м)	59 918
FRA-2015 FAO UN	Леса РФ: фитомасса	33 000
	мортмасса	17 000
	почва	80 000
ВНИИЛМ (Госдоклад, 2015)	Фитомасса и мортмасса	49 500±7 500
	Лесная почва (0,3 м)	81 400±29 800

Таблица 2. Свод оценочных данных по балансу углерода в лесах Российской Федерации

Источники данных/автор	Годы оценки	Баланс углерода, млн т С/год (Мт С/год)
Kolchugina et al., 1993 (доклад в 1992 г.)	1980–1990	825
Исаев и др., 1993	1980–1990	212
Dixon and Krankina, 1993	1980–1990	100–600
Kolchugina, Vinson, 1995	1980–1990	660
Исаев и др., 1995	1993	262
Shvidenko et al., 1995	1966–1983	236
	1984–1993	≈ 0
Виноградов и др., 1996 (баланс газообмена)	1993	600
Швиденко и др., 1997	1993	370
Filipchuk, Moiseev, 2003	1990–2000	500–600
Shvidenko, Nilsson, 2003	1961–1998	322

Источники данных/автор	Годы оценки	Баланс углерода, млн т С/год (Мт С/год)
Моисеев, Филипчук, 2009	1990–2008	500–600
Ciais et al., 2010	2000–2004	600–700
Pan et al., 2011 (моделирование)	2000–2007	510±99
Dolman et al., 2012: – инверсионные модели – метод вихревых пульсаций	1988–2008	690±246 760–1097
Прогноз развития лесного сектора РФ до 2030 г.	1990–2010	505–611
Моисеев, Филипчук, 2012	1990–2010	500–650
Росгидромет – управляемые леса ЗИЗЛХ (6-е Национальное сообщение РФ..., 2013)	1990–2011	60–80
Замолодчиков и др., 2013 (управляемые леса)	1988–2010	80–200
Швиденко, Щепашенко, 2014	2007–2009	546±120
ВНИИЛМ (Госдоклад, 2015)	1988–2014	530–595

Один из первых полных учётов баланса углерода в лесах России (Full Carbon Account, FCA) выполнен Международным институтом прикладного системного анализа – ИАСА (Лаксенбург, Австрия) по состоянию на 1990 г. и опубликован в 2000 г. [6]. Расчет FCA базировался на использовании базы данных, которая содержала характеристики лесов, земель и компонентов природной среды Российской Федерации с географической привязкой. Для оценки депонирования углерода лесами использованы данные ГУЛФ 1993–1998 гг. Для оценки баланса углерода был использован ряд моделей, в частности, модели роста и продуктивности лесов России, разработанные под руководством А.З. Швиденко [6]. В результате работ было установлено, что оценки поглотительной способности лесов России изменяются от 0,02 до 450 Мт С/год.

Современные работы группы Международного института прикладного системного анализа (ИАСА), возглавляемой А.З. Швиденко [7], выполнены с использованием Интегральной земельной информационной системы (ИЗИС). Запасы фитомассы и чистой первичной продукции в ИЗИС оцениваются по совокупности моделей и различных процедур. Для фитомассы лесов используется конверсионный подход. Чистая первичная продукция по различным фракциям

фитомассы оценивается как функция от фитомассы с привлечением сведений из моделей хода роста. Оценка чистого экосистемного углеродного баланса выполнена для занятых лесными насаждениями земель России по состоянию на 2007–2009 гг. [7]. По результатам исследования, опубликованного в 2014 г., оценка углеродного баланса лесов России составила 546 ± 120 Мт С/год, или $0,66 \pm 0,15$ т С/га/год, с существенной разницей между европейской и азиатской частями России и четко выраженными зональными градиентами. Запас углерода в фитомассе определен в размере 37,5 млрд т С, в отпавшей древесине – 10,3 млрд т С, в подстилке и почвах (в слое 1 м) – 144,5 млрд т С. Зональный градиент изменения фитомассы отчетлив – ее средний запас возрастает от притундровых редкостойных лесов (28,3 т С/га) к зоне умеренных лесов (67,4 т С/га), после чего уменьшается к югу (до 42,3 т С/га). В зональном распределении отмечается тренд увеличения доли подземной фитомассы к северу, более заметный в азиатской части. Запасы углерода в отпавшей древесине в лесах России оценены в размере $10,3 \pm 1,0$ млрд т С, или 13 т С/га. Столь значительное количество отпавшей древесины объясняется широким распространением природных нарушений, в частности пожаров и массовых размножений вредителей и болезней леса, и несвоевременным

проведением необходимых санитарно-оздоровительных мероприятий.

Эксперты ВНИИЛМ, руководствуясь методическими рекомендациями МГЭИК [8], выполнили расчеты стока углерода в биомассу лесов по данным ГЛР на 01.01.2016 [9]. По итогам расчетов брутто-поглощение углерода биомассой лесов (NEP) составило 632,2 Мт С/год, в том числе 607,3 Мт С/год на землях лесного фонда и 24,9 Мт С/год на землях иных категорий, на которых расположены леса. По итогам расчетов годовичных потерь углерода пулами биомассы, в результате воздействия деструктивных факторов (верховые и низовые пожары, насекомые-вредители и болезни леса, заготовка и вывозка древесины) суммарные потери углерода составили 108,1 Мт С/год (или 17% брутто-поглощения), в том числе фитомассы – 71,0 Мт С/год; древесного детрита – 9,4 Мт С/год и лесной подстилки – 27,7 Мт С/год. По результатам экспериментальных расчетов, оценка баланса углерода в биомассе лесов Российской Федерации (чистое поглощение углерода) в 2015 г. составила 524 ± 129 Мт С/год с неопределенностью оценки 85%, а среднее поглощение на единицу площади – $0,59 \pm 0,145$ т С/га/год [10].

Объект и методы исследования

В ходе проведенного исследования выполнены расчеты поглощения, потерь (эмиссий) и баланса углерода для лесов бореальной зоны. Согласно зонированию, утвержденному приказом Минприроды России [11], на территории России выделено 8 лесорастительных зон. Объект нашего исследования – бореальные леса, произрастающие на территории 3-х лесорастительных зон:

- ✓ зоны притундровых лесов и редкостойной тайги,
- ✓ таежной зоны (подзоны северной, средней и южной тайги),
- ✓ Южно-Сибирской горной зоны.

В соответствии с действующим лесным законодательством и нормативными актами во всех бореальных лесах России проводят мероприятия

по охране от пожаров, защите от вредителей и болезней леса, осуществляют различные виды использования лесов, включая заготовку древесины для коммерческих целей или (в ограниченных объемах) для нужд местного населения, проводят лесохозяйственные мероприятия. Все леса обеспечены лесными планами. В настоящем исследовании все бореальные леса отнесены к «управляемым». Ведомственная принадлежность лесов не учитывалась. Определение термина «лес» принято в трактовке МГЭИК [8].

Расчеты поглощения углерода лесами выполняли по данным официальной статистической отчетности ГУЛФ до 2008 г. и ГЛР после 2008 г. Расчеты потерь (эмиссий) углерода в результате заготовки и вывозки древесины, лесных пожаров, повреждения насекомыми-вредителями и болезнями, прочими неблагоприятными факторами выполняли по данным официальной статистической отчетности Рослесхоза (формы лесное хозяйство (ЛХ-2) до 2008 г. и оценки исполнения переданных субъектам Российской Федерации полномочий в области лесных отношений (ОИП) после 2008 г.).

Минимальная пространственная единица для расчетов запасов и поглощения (абсорбции) углерода – лесничество/лесопарк в составе субъекта Российской Федерации. Минимальная единица для расчетов потерь (эмиссий) и баланса углерода – субъект Российской Федерации.

В рамках исследования выполнены расчеты:

- ✓ запаса углерода в биомассе по пулам: фитомасса, древесный детрит (сухостой, валежник), лесная подстилка;
- ✓ годовичного изменения запасов углерода (NEP – чистая экосистемная продукция) по пулам: фитомасса, древесный детрит, лесная подстилка;
- ✓ потерь углерода по пулам: фитомасса, древесный детрит, лесная подстилка;
- ✓ баланса углерода (NBP – чистая биомная продукция) в фитомассе, древесном детрите (сухостой, валежник), лесной подстилке.

Расчеты запасов и годовичного изменения запасов углерода базировались на рекомендациях

МГЭИК [8]. Среднегодовое приращение фитомассы (G_{TOTAL}) рассчитывали по среднему приросту запаса стволовой древесины для каждой лесообразующей породы по уравнению:

$$G_{TOTAL} = \sum_i I_v \times BCEF_2 \times (1 + R),$$

где:

G_{TOTAL} – среднегодовой прирост фитомассы, включая подземную, т сухого вещества/га/год;

I_v – средний нетто-прирост запаса древесины стволов, м³/га/год;

$BCEF_2$ – конверсионный коэффициент преобразования годового прироста древесины стволов в приращение надземной фитомассы деревьев, включая кору, пни, ветви, вершинки, листья/хвою и проч., т/м³;

R – отношение массы корней к надземной фитомассе, безразмерная величина.

$\sum_i$ – сумма по древесным породам (i).

Расчеты осуществляли по основным пулам (резервуарам) биомассы: надземная фитомасса, подземная фитомасса (корни), древесный детрит (валежная и сухостойная древесина) и лесная подстилка.

Конверсионные коэффициенты для пересчета запаса стволовой древесины в надземную фитомассу и приращения запаса стволовой древесины в прирост фитомассы дифференцированы по древесным породам, группам возраста и принадлежности к таксонам лесорастительного районирования, входящим в бореальную зону [12].

Годичный прирост запаса углерода в фитомассе получен умножением среднего годовичного прироста фитомассы по каждой древесной породе на занятую площадь и суммирован по лесничеству, субъекту Российской Федерации и бореальной зоне в целом. Расчеты годовичного поглощения углерода выполнены по формуле:

$$\Delta C_G = \sum_{ij} (A_{ij} \times G_{TOTALij} \times CF),$$

где:

ΔC_G – годовое изменение запаса углерода вследствие приращения фитомассы на лесных землях по породам и лесорастительной зоне, т С/год;

$\sum_{ij}$ – сумма по породам и лесорастительным зонам;

A_{ij} – площадь лесов по породам (i = от 1 до n) и лесорастительным зонам (j = от 1 до 5), га;

$G_{TOTALij}$ – среднегодовой прирост фитомассы в единицах сухого вещества по породам (i = от 1 до n) и лесорастительным зонам (j = от 1 до 3), т сухой массы/га/год;

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

Расчеты поступлений углерода в пулы древесного детрита и лесной подстилки, потерь углерода в результате заготовки и вывозки древесины, лесных пожаров, повреждения насекомыми-вредителями и болезнями, прочими неблагоприятными факторами и углеродного баланса выполнены согласно Методике [12]. При расчете потерь массы сухого органического вещества от всех видов нарушений (пожары, рубка, вредители и болезни и пр.) принимается допущение, что эмиссии углерода в результате гибели деревьев и кустарников полностью приходятся на год, когда произошло неблагоприятное воздействие или рубка леса. Такой подход соответствует Руководящим принципам ведения национальных кадастров ПГ МГЭИК [8].

Исходные данные для исследования

В качестве исходных данных для углеродных оценок использованы материалы государственных учетов лесного фонда (ГУЛФ) до 2008 г., государственного лесного реестра (ГЛР) после 2008 г., другие данные лесной статистики Рослесхоза. Особенности формирования этих данных учитывались при количественной оценке поглощающей способности бореальных лесов России.

Первичную информацию о количественном и качественном состоянии лесов собирают при проведении лесоустройства. Лесоустройство проводится методом классов возраста, измерительно-перечислительным (ограниченно), глазомерным, дешифровочным способами и способом актуализации данных предыдущего

лесоустройства (таксации). Период повторяемости лесоустройства должен составлять 10–15 лет, но фактические объемы работ не позволяют выдерживать установленный период обновления данных (рис. 1).

Резкое сокращение объемов лесоустроительных работ в 2007 г. объясняется изменением организации их проведения. Полномочия по проведению лесоустройства, в соответствии с Лесным кодексом Российской Федерации (2006), из федерального центра были переданы субъектам Российской Федерации без соответствующего финансового обеспечения. В результате давность материалов лесоустройства к 2018 г. на 58,5% площади страны превысила 20 лет (рис. 2). Таким образом, для углеродных оценок более чем на половине площади лесов фактически используются данные, характеризующие леса 20-летней давности.

Лесоустройство проводится с различной степенью точности определения таксационных показателей, например, допустимая среднеквадратическая ошибка определения запаса древесины изменяется от ± 15 до $\pm 30\%$, систематические ошибки допускаются до $\pm 10\%$. Оценка фактической точности определения запаса древесины никогда не проводилась. На практике систематическое занижение запасов древесины может достигать значительно больших значений. Например, по данным [13–15], систематическая ошибка составляет до -30% , а эмпирический расчет [16] показывает возможное занижение этого показателя почти в 1,5 раза. Данные Государственной инвентаризации лесов (ГИЛ) по отдельным регионам, где закладка постоянных пробных площадей завершена, подтверждают, что информация о запасах древесины в ГЛР занижена почти на 50% [16].

Данные, собранные при проведении лесоустройства, обобщают по древесным породам, группам возраста, группам классов бонитета и группам полнот, суммируют по кварталам, лесничествам/лесопаркам, субъектам Российской Федерации и передают в ГЛР в конце каждого года. ГУЛФ составлялся каждые 5 лет, последний раз в 2008 г.

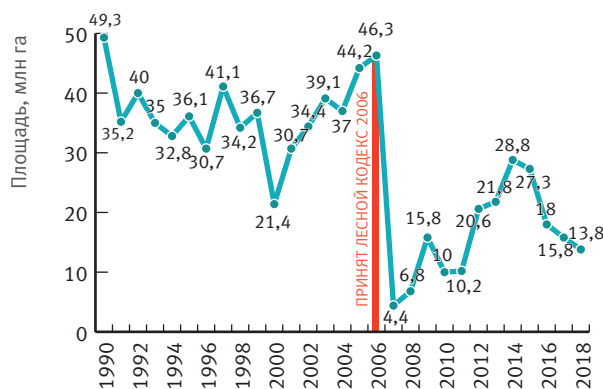


Рис. 1. Динамика работ по лесоустройству

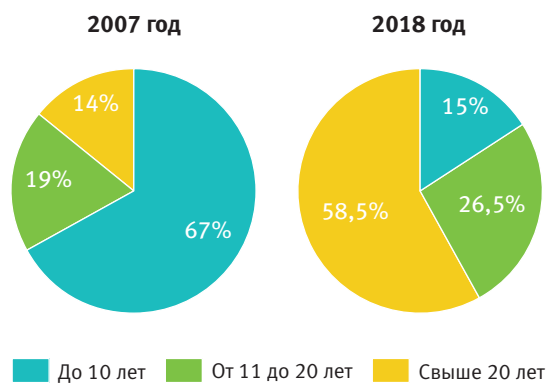


Рис. 2. Давность материалов лесоустройства

Важной особенностью ГУЛФ было внесение текущих изменений в каждый цикл отчетности. Первичные данные лесоустройства корректировались по таблицам хода роста на величину естественного прироста древесины. В ГЛР изменения площадей лесов вносят ежегодно, а изменения значений запасов за счет естественного прироста не вносят с 2008 г. Данные по запасам древесины обновляют только после проведения лесоустройства на конкретной территории, обычно лесничества.

Кроме данных о ресурсном состоянии лесов, ГЛР содержит сведения обо всех изменениях, произошедших в лесах за отчетный год: об объемах заготовки древесины в результате сплошных и выборочных рубок, рубок ухода, санитарных сплошных и выборочных рубок; о площади лесов, пройденной лесными пожарами, поврежденной насекомыми и т.д. Эта информация используется

для расчета потерь (эмиссий) углерода в биомассе лесов.

Результаты исследования. Количественная оценка поглощения, потерь, баланса углерода в бореальных лесах

Площадь лесов, запас древесины и углерода в лесах бореальной зоны

Площадь лесных земель бореальной зоны России по состоянию на 01.01.2017 составила 810,9 млн га. Определение «лесные земли» (без кустарников) практически полностью подпадает под определение «лес» в терминологии ФАО. В российской терминологии к лесам относятся земли, занятые лесными насаждениями (покрытые лесом земли) – 717,4 млн га (табл. 3). Лесные земли (леса в определении ФАО) бореальной зоны составляют 90% общей площади лесов России (790 млн га в российской терминологии). Запас древесины в лесах бореальной зоны насчитывает 69,42 млрд м³, средний запас на 1 га – 98,12 м³, что на 5 м³/га меньше, чем в среднем по стране. Таким образом, составляя 90% площади лесов России, бореальные леса определяют временную и пространственную динамику поглощения и выбросов углекислого газа в лесном секторе страны.

Граница бореальной зоны на севере совпадает с границей распространения лесов, на юге

проходит по границе распространения широколиственных лесов. Кроме того, в бореальную зону включены леса, расположенные в горных районах Южной Сибири, состоящие преимущественно из пород хвойной группы (рис. 3).

Площадь лесных земель всех категорий в границах бореальной зоны колеблется по годам (рис. 4). Снижение площади в 1990-е гг. можно объяснить сменой подходов к лесорастительному районированию, выделению лесных зон и лесорастительных районов. Увеличение площади лесных земель с 801,6 млн га в 2012 г. до 811,4 млн га в 2013 г. объясняется передачей лесов, бывших в ведении сельскохозяйственных предприятий, в состав земель лесного фонда.

Общие запасы углерода в биомассе лесов колеблются от 45 Гт до 43 Гт С. Динамика общих запасов углерода в биомассе повторяет ход изменения общей площади лесных земель бореальной зоны по годам (рис. 5).

Средний запас углерода в биомассе за рассматриваемый временной интервал увеличился и с 2008 г. достаточно стабилен – 70–71 т С/га (рис. 6).

В надземной фитомассе бореальных лесов сосредоточено в среднем 55% общего запаса углерода биомассы и по 15% в остальных пулах: подземной фитомассы, древесного детрита (сухостойная и валежная древесина) и подстилки (рис. 7).

Запасы углерода по пулам биомассы за рассматриваемый временной интервал варьируют незначительно, их динамика проиллюстрирована на рис. 8.

Таблица 3. Лесорастительные зоны, включенные в зону бореальных лесов Российской Федерации, по состоянию на 01.01.2016

Лесорастительная зона	Лесные земли, млн га	Земли, занятые лесными насаждениями (покрытые лесом), млн га	Запас древесины, млрд м ³	Средний запас, м ³ /га
Зона притундровых лесов и редкостойной тайги	214,65	156,34	6,23	39,82
Таежная зона	505,60	474,70	54,13	114,04
Южно-Сибирская горная зона	90,69	86,37	9,06	118,55
ИТОГО	810,9	717,4	69,42	98,12



Рис. 3. СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ БОРЕАЛЬНЫХ ЛЕСОВ РОССИИ

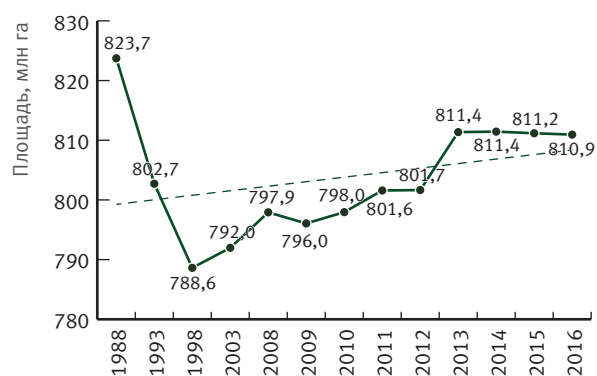


Рис. 4. Динамика площади лесных земель бореальной зоны с 1988 по 2016 г., млн га

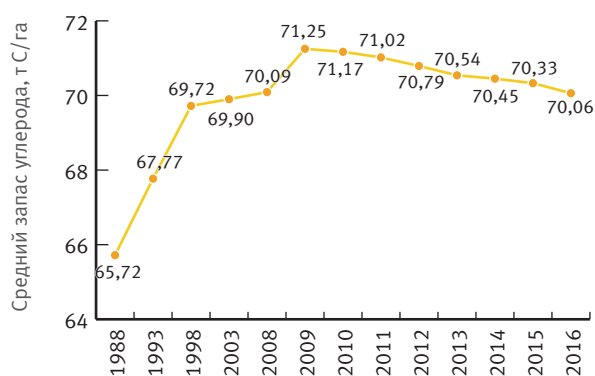


Рис. 6. Динамика средних запасов углерода в биомассе бореальных лесов с 1988 по 2016 г., т С/га

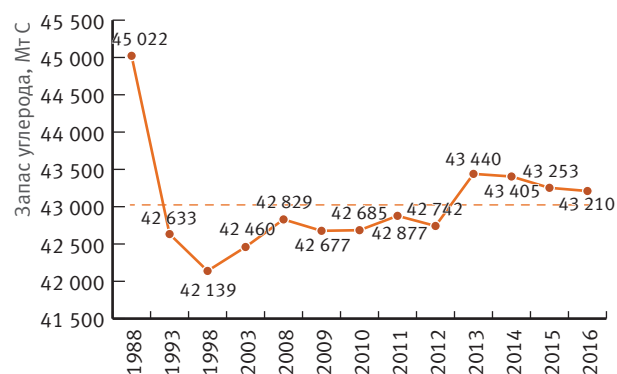


Рис. 5. Динамика общих запасов углерода в бореальных лесах с 1988 по 2016 г., Мт С

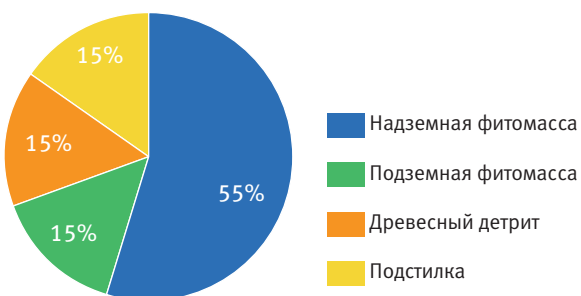


Рис. 7. Структура запасов углерода по пулам биомассы (в среднем), %

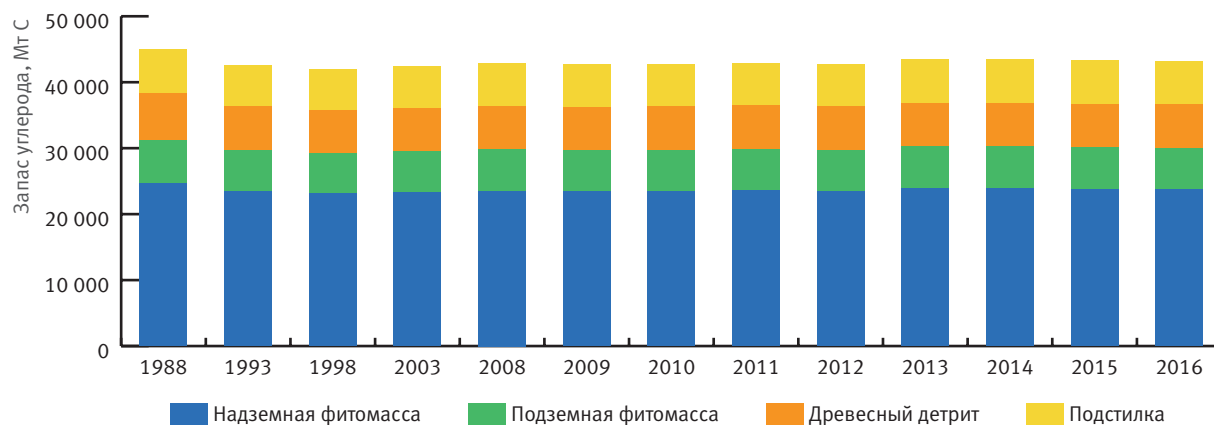


Рис. 8. Динамика запасов углерода в бореальных лесах по пулам биомассы с 1988 по 2016 г., Мт С

Пространственное распределение средних запасов углерода в биомассе бореальных лесов показано на рис. 9.

Бореальные леса и древесно-кустарниковая растительность на лесных землях ежегодно

абсорбировали в биомассе от 486 Мт С/год до 535,1 Мт С/год (рис. 10).

Среднее годовичное поглощение углерода биомассой лесов колеблется незначительно и составляет 0,95–0,99 т С/га/год (рис. 11).

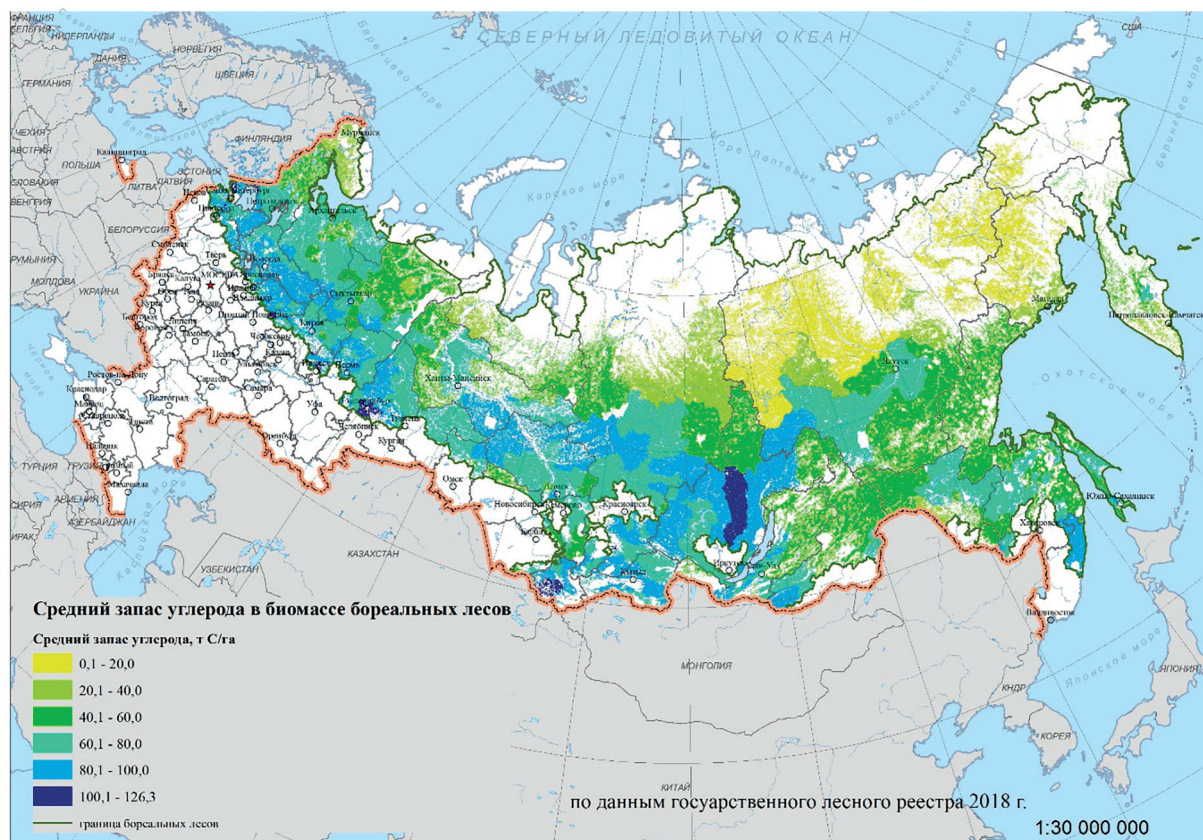


Рис. 9. Средние запасы углерода в биомассе бореальных лесов, по состоянию на 01.01.2018 г., т С/га

Динамика годичного поглощения углерода по пулам представлена на рис. 12.

В среднем для бореальных лесов 73% годичного поглощения углерода приходится на

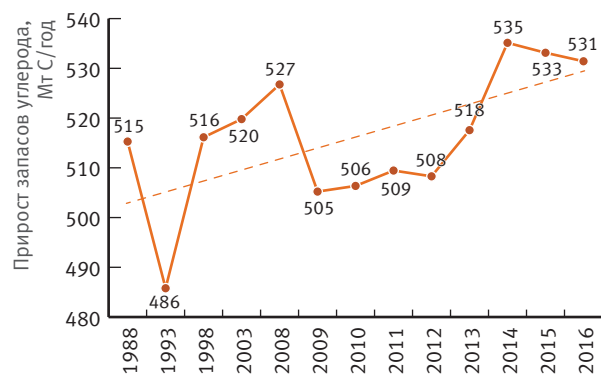


Рис. 10. Динамика общего годового поглощения углерода бореальными лесами с 1988 по 2016 г., Мт С/год

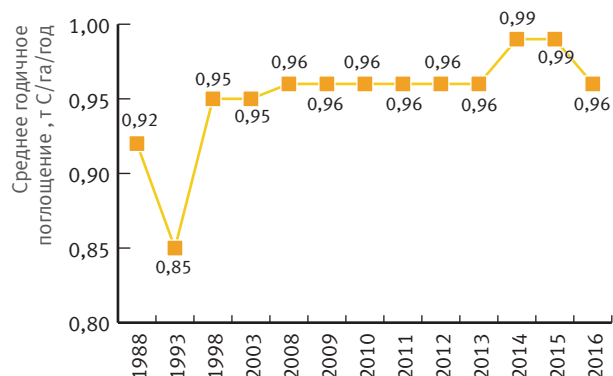


Рис. 11. Динамика среднего годового поглощения углерода бореальными лесами с 1988 по 2016 г., т С/га/год

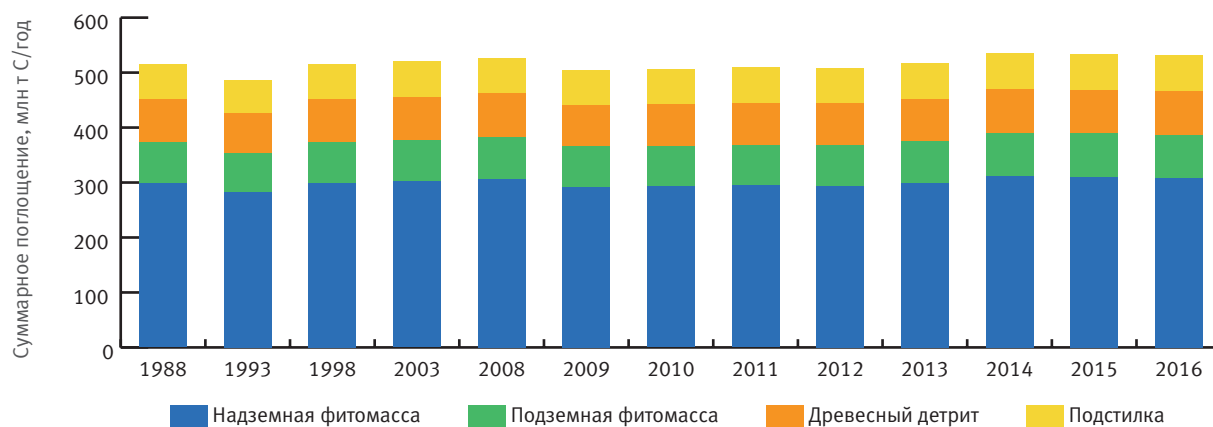


Рис. 12. Динамика поглощения (накопления) углерода бореальными лесами по пулам биомассы с 1988 по 2016 г., млн т С/год

фитомассу, из которой на надземную – 58% и 15% на подземную; 15% – на древесный детрит (сухостой, валежник) и 12% – на лесную подстилку (рис. 13).

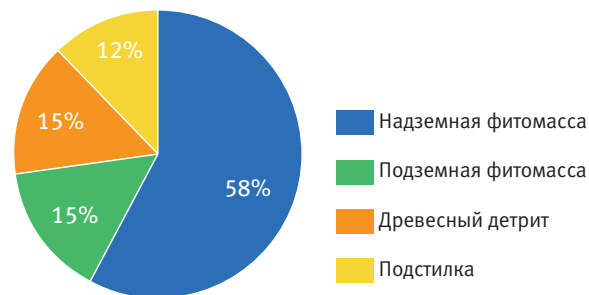


Рис. 13. Структура поглощения (накопления) углерода по пулам биомассы (в среднем)

Пространственное распределение суммарного годичного поглощения (абсорбции) углерода биомассой и среднего годичного поглощения углерода по территории бореальной зоны показано на рис.14 и 15.

Потери (эмиссии) углерода в биомассе лесов бореальной зоны

В исследовании к факторам, определяющим основные потери углерода в биомассе бореальных лесов, отнесены: изъятие древесины при лесозаготовках, верховые (деструктивные), низовые и подземные лесные пожары,



Рис. 14. Суммарное годовичное поглощение углерода биомассой бореальных лесов России, по состоянию на 01.01.2018 г., Мт С/год

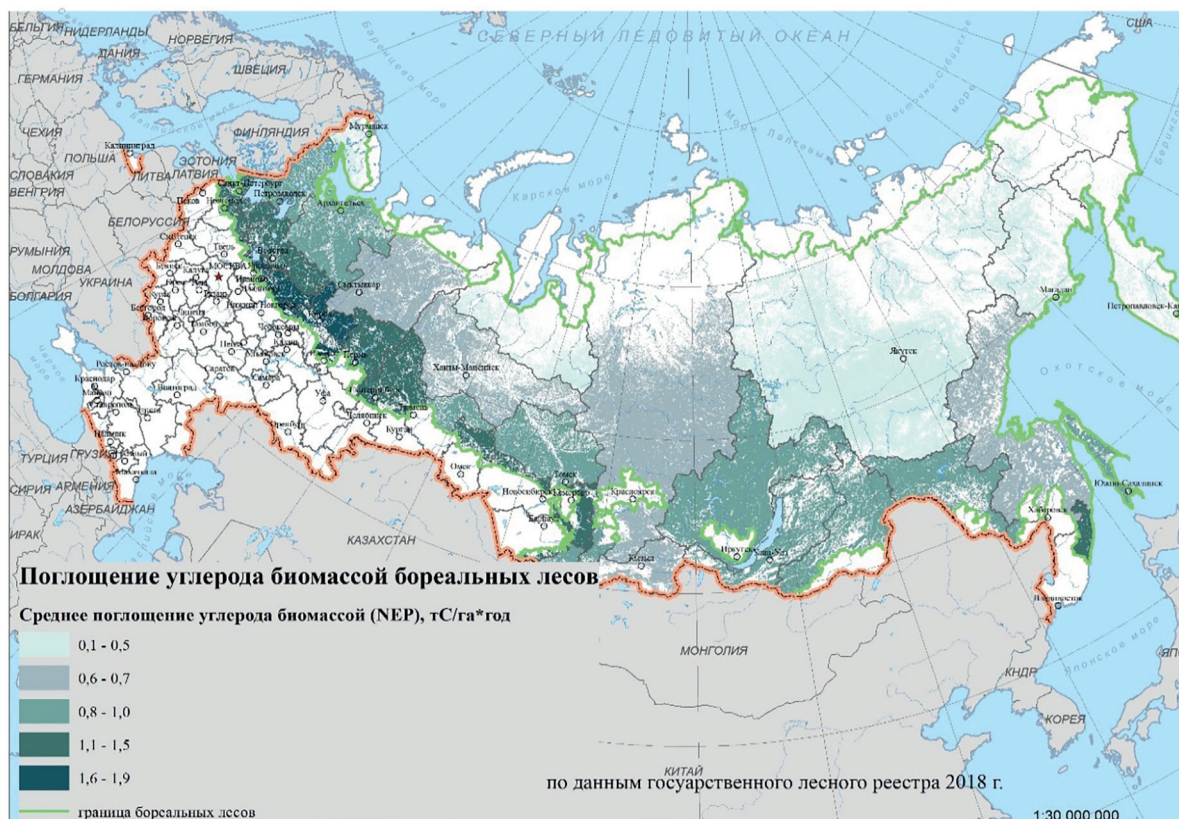


Рис. 15. Среднее годовичное поглощение углерода биомассой бореальных лесов России, по состоянию на 01.01.2018 г., т С/га/год

насекомые-вредители и болезни леса, ветровалы и прочие факторы, приводящие к гибели лесов.

В силу отсутствия преемственности статистической отчетности об объемах заготовки древесины и гибели лесов с 1988 по 2003 г. и изменения порядка ее подготовки после 2003 г., динамический ряд данных, характеризующих потери углерода, начинается с этого времени. Потери запасов углерода за рассматриваемый временной интервал – с 2003 по 2016 г. – варьировали по годам от 48,4 Мт С/год (2003 г.) до 90,9 Мт С/год (2015 г.). Динамика общих годовичных потерь углерода в биомассе представлена на рис. 16 и 17.

Из общего объема потерь углерода в биомассе, по среднемноголетним данным, на фитомассу приходится 63% потерь, на древесный детрит – 9% (сухостойную и валежную древесину) и на лесную подстилку – 28%.

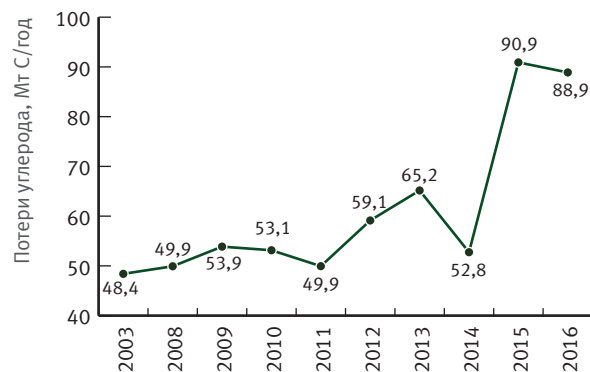


Рис. 16. Динамика ежегодных потерь углерода в биомассе бореальных лесов с 2003 по 2016 г., Мт С/год

Заготовка древесины и лесные пожары являются основными факторами, влияющими на потери углерода в бореальных лесах России. Доля факторов, связанных с изъятием древесины при рубках и гибелью насаждений от лесных пожаров,

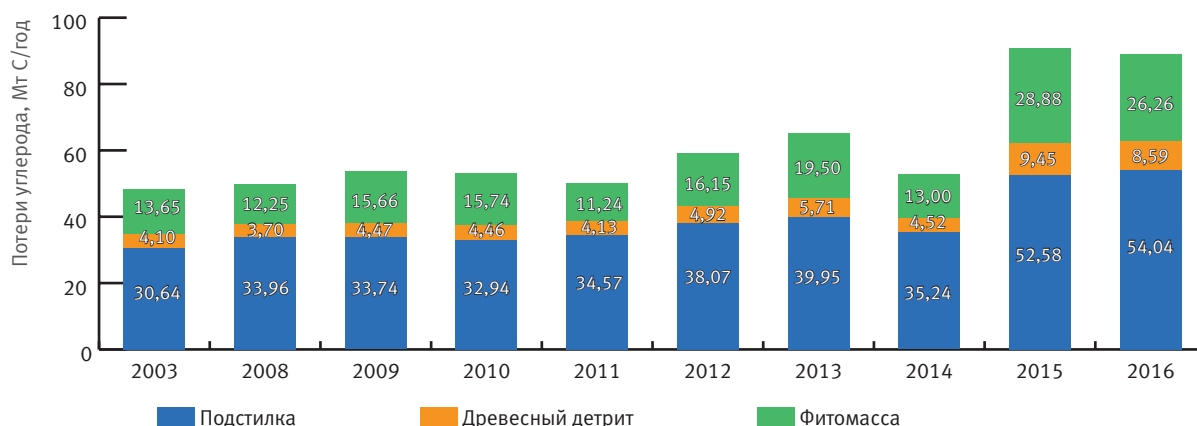


Рис. 17. Динамика потерь углерода по пулам биомассы в результате заготовки древесины, лесных пожаров и прочих факторов с 2003 по 2016 г., Мт С/год

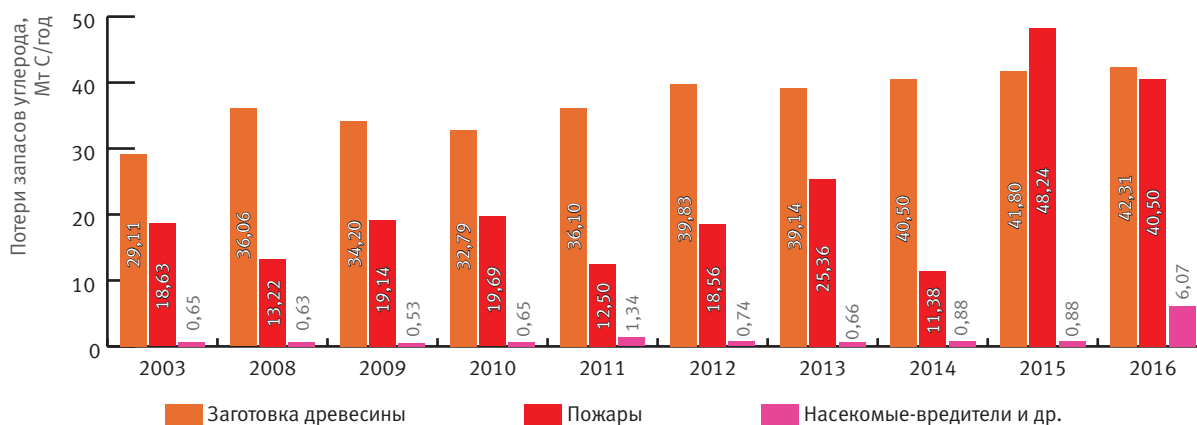


Рис. 18. Динамика потерь углерода с 2003 по 2016 г., Мт С/год

насекомых-вредителей лесов и др., в структуре потерь различна по годам (рис. 18).

С 2003 по 2016 г. в структуре потерь в среднем преобладают потери углерода в биомассе, изымаемой в результате заготовки и вывозки древесины (61%), вследствие гибели лесов от пожаров – 37% и 2% приходится на другие факторы: насекомые-вредители и болезни леса, ветровалы и пр. Пространственное распределение суммарной величины потерь углерода в биомассе проиллюстрировано на рис. 19, а удельных потерь – на рис. 20.

Баланс углерода в биомассе лесов бореальной зоны

За рассматриваемый период (2003–2016 гг.) поглощение углерода лесами бореальной зоны превышало эмиссии в результате рубки насаждений, лесных пожаров и других факторов, т.е. наблюдалось нетто-поглощение (сток) углерода и положительный баланс. Значения суммарного

нетто-поглощения варьировали в диапазоне от 482,4 Мт С/год (2014 г.) до 442,2 Мт С/год (2015 г.) (рис. 21). В среднем годовичное поглощение углерода биомассой бореальных лесов составляло 528,70 Мт С/год, потери – 61,21 Мт С/год и нетто-поглощение – 467,49 Мт С/год.

Пул фитомассы обеспечивал 73% общего объема нетто-поглощения, в среднем – 339,1 Мт С/год. На долю пула мертвой древесины и подстилки приходится 27% нетто-поглощения (пополнения), в среднем – 128,4 Мт С/год.

Пространственное распределение суммарной величины нетто-поглощения углерода биомассой (стока) проиллюстрировано на рис. 22, а средней величины стока углерода в биомассу – на рис. 23.

Обсуждение результатов

Результаты нашего исследования – экспериментальные расчеты и их территориально-пространственное представление на

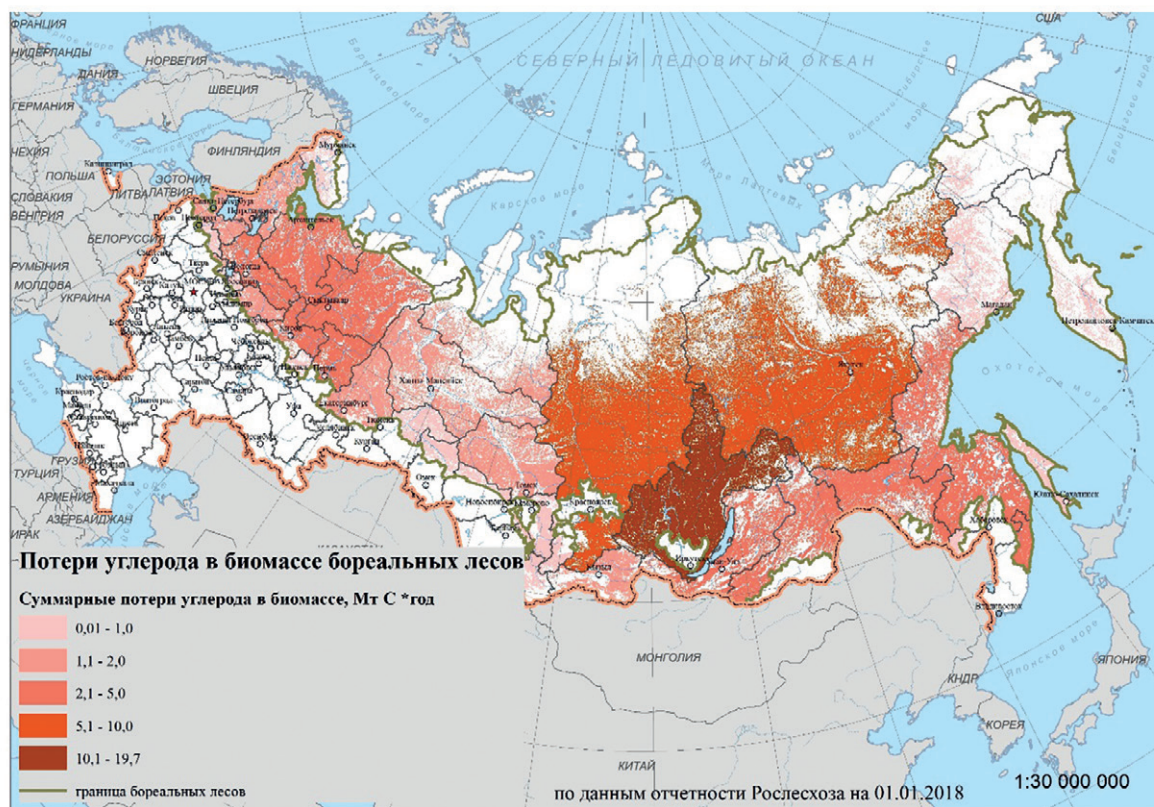


Рис. 19. ТЕРРИТОРИАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СУММАРНЫХ ПОТЕРЬ УГЛЕРОДА В БИОМАССЕ БОРЕАЛЬНЫХ ЛЕСОВ ПО СОСТОЯНИЮ НА 01.01.2018 г., Мт С/год

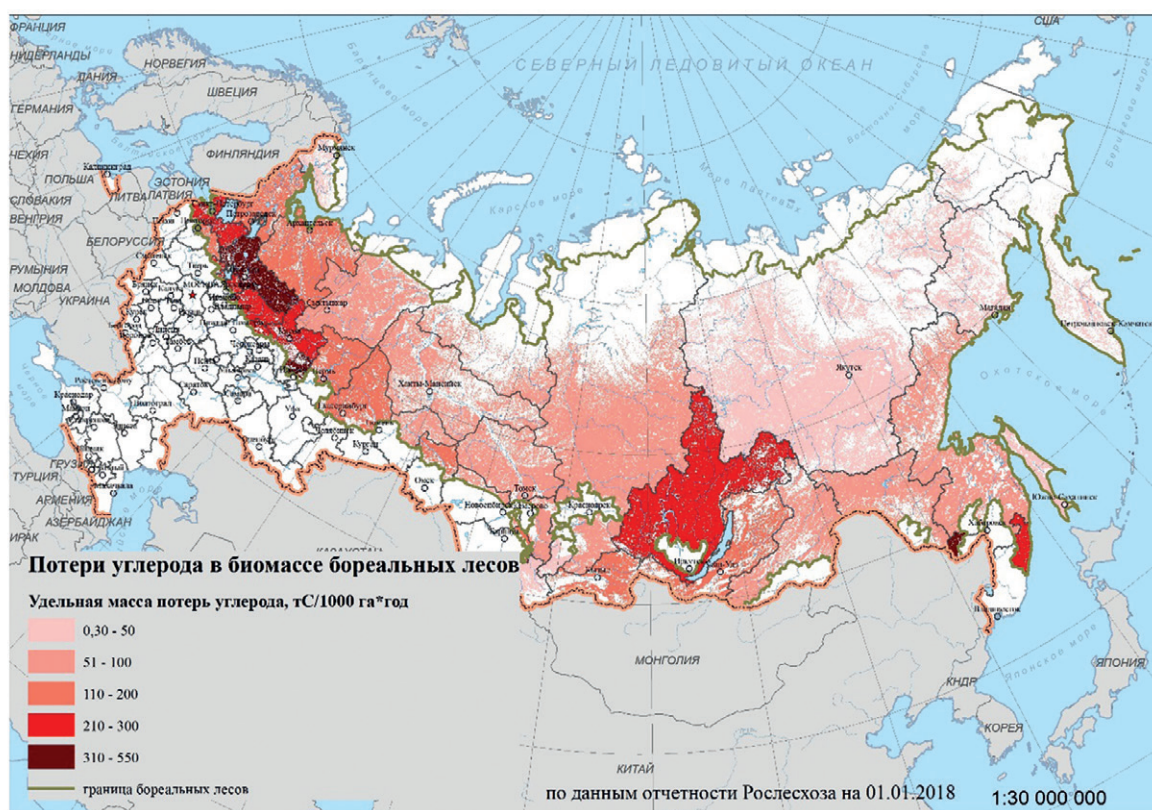


Рис. 20. Территориальное распределение удельных потерь углерода в биомассе бореальных лесов по состоянию на 01.01.2018 г., т С/тыс. га/год

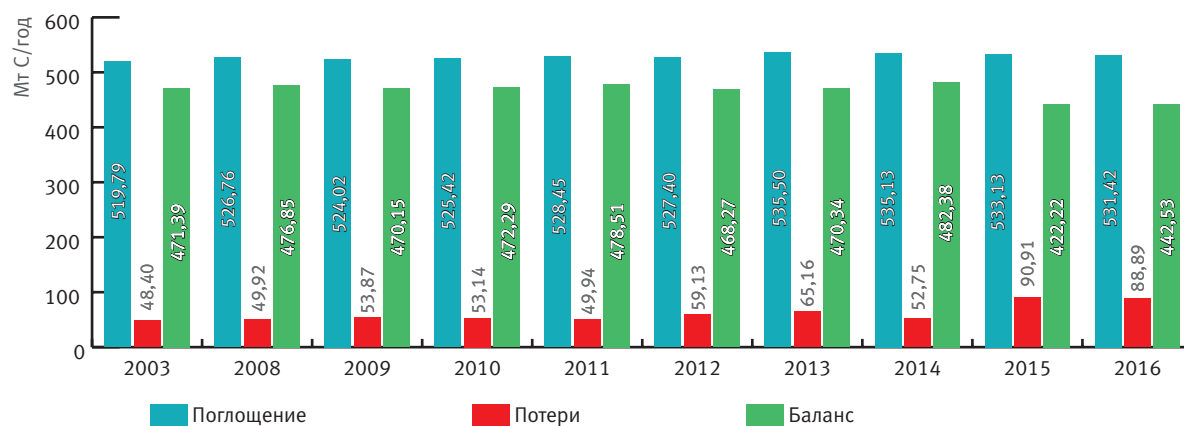


Рис. 21. Динамика поглощения, потерь и баланса углерода в бореальных лесах за 2003–2016 гг.

картах – показывают, что в динамике последних 15 лет поглощение углерода биомассой бореальных лесов России значительно превышает потери, связанные с рубкой леса, лесными пожарами и другими негативными явлениями, т.е. наблюдается нетто-поглощение (сток) углерода и положительный баланс. В среднем ежегодная

абсорбция углерода составляет 528,7 Мт С/год, а чистое поглощение (нетто-поглощение) за рассматриваемый период времени – 467,49 Мт С/год. Несмотря на то что пожары создают значительные риски снижения функций регулирования и смягчения изменения климата, выполняемых лесами, бореальные экосистемы сохраняют свою



Рис. 22. Чистое поглощение (нетто-поглощение) углерода биомассой бореальных лесов по состоянию на 01.01.2018, Мт С/год

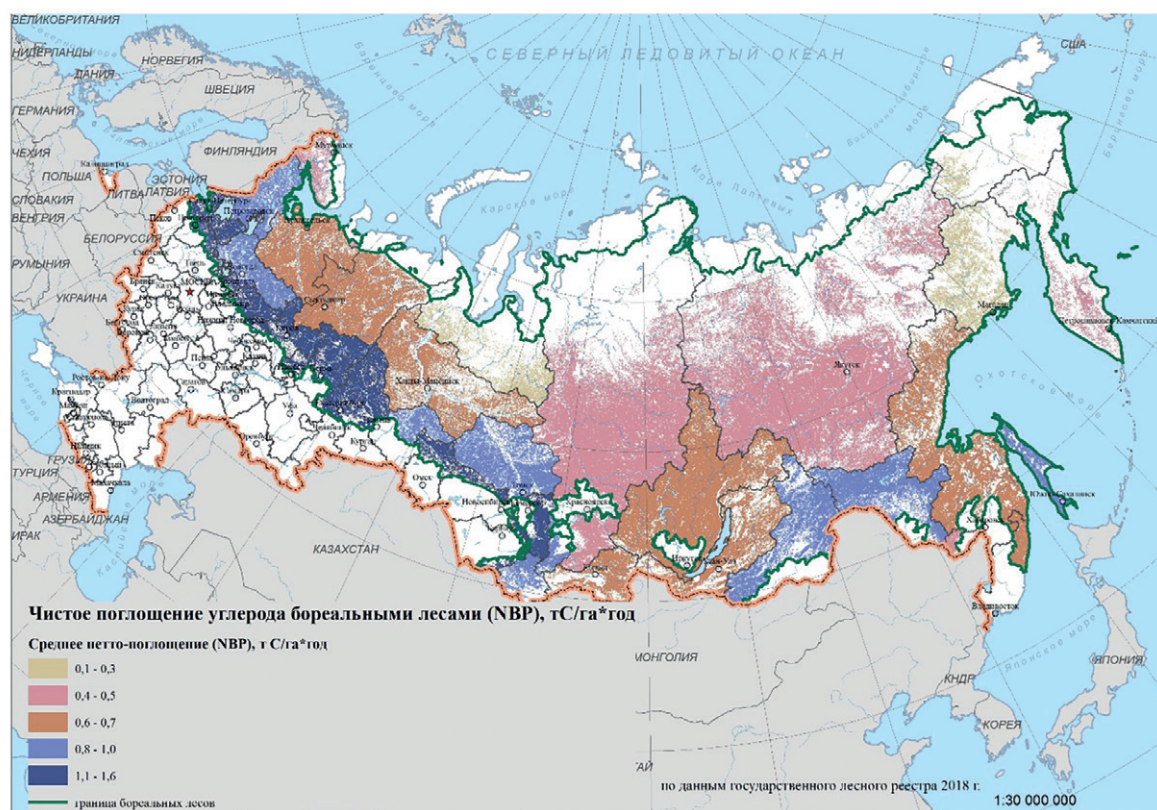


Рис. 23. Чистое среднее поглощение (нетто-поглощение) углерода биомассой бореальных лесов по состоянию на 01.01.2018, т С/га/год

устойчивость. Низкая интенсивность лесозаготовок и их убыточность в транспортно недоступных удаленных районах Восточной Сибири и Дальнего Востока позитивно сказывается на накоплении углерода в биомассе и положительном балансе в бореальных лесах. В этом плане интенсивность хозяйственного освоения бореальных лесов России сопоставима с практикой освоения бореальных лесов Канады [17].

Скандинавские страны при интенсивном ведении лесного хозяйства, долговременной эксплуатации и эффективной охране бореальных лесов от пожаров в международной отчетности по климатическим соглашениям сообщают о положительном балансе, но величина стока не сопоставима с вышеприведенной. Оценка нетто-поглощения для бореальных лесов Финляндии на 2017 г. составила 10,7 Мт С, или 39,3 Мт CO₂-экв. (биомасса и почва)², а для лесов Швеции – 11,8 Мт С, или 43,17 Мт CO₂-экв. (биомасса и почва)³. Если считать в относительных величинах, нетто-поглощение в бореальных лесах Скандинавских стран составит, с учетом несоизмеримых с российскими площадями лесных земель (Финляндия – 26 млн га, Швеция – 28 млн га), – 0,4 т С/га/год в Финляндии и столько же в Швеции. Наши исследования показали среднюю величину нетто-поглощения за рассматриваемый период в размере 0,95–0,99 т С/га. Эта величина за последние 15 лет остается стабильной и удерживается на одном уровне, несмотря на пожарные риски и цикличность появления очагов-вредителей и болезней леса. Приведенные статистические оценки дают основание утверждать, что бореальные леса России были и остаются экологическим донором планеты, способствующим смягчению климатических изменений и противодействующим разбалансированию климатической системы Земли.

Результаты наших исследований и адекватность методического подхода показывают закономерное увеличение средних годовых приростов фитомассы и среднего годовичного поглощения углерода (NEP) по территории бореальной

зоны России с севера на юг, от минимума в зоне северных лесов и редкостойной тайги (0,3 т С/га/год) до максимума в южно-таежной подзоне бореальной зоны (1,9–2,0 т С/га/год). Такое распределение отвечает закономерному увеличению производительности лесов и богатства условий местопроизрастания по меридиональному градиенту.

Существенные отличия в величине поглощения углерода биомассой бореальных лесов (NEP) и баланса углерода (NBP) выявлены нами между Европейско-Уральским регионом бореальной зоны России и азиатской частью бореальной зоны. Леса Европейско-Уральского региона занимают 15%, а азиатского – 85% общей площади лесов бореальной зоны Российской Федерации. Среднее годовичное поглощение (абсорбция) углерода лесами азиатской части (NEP) почти вдвое меньше среднего поглощения углерода лесами Европейско-Уральской части, 0,7 т С/га/год и 1,36 т С/га/год соответственно. Это объясняется лучшими лесорастительными условиями, большей производительностью и полнотой древостоев, произрастающих в европейской части России. Вместе с тем потери углерода в биомассе лесов вследствие изъятия древесины при лесозаготовках, гибели от лесных пожаров, насекомых-вредителей и прочих факторов в среднем в пересчете на единицу площади в обоих регионах сопоставимы. В итоге средние значения нетто-поглощения углерода биомассой (NBP) для лесов азиатской части бореальной зоны составили 0,53 т С/га/год, а для лесов Европейско-Уральского региона бореальной зоны – 0,9 т С/га/год. Для временного интервала в 2007–2009 г. А. З. Швиденко и Д. Г. Щепаченко приводят в известной публикации [7] такие численные оценки, которые суммированы нами по биоклиматическим зонам России: лесотундра, редкостойная тайга, северная, средняя и южная тайга. Чистый углеродный бюджет по этим биоклиматическим зонам рассчитан в размере 495,1 Мт С/год [7], что с учетом неопределенности совпадает с нашей оценкой для биомассы лесов бореальной

² <https://unfccc.int/documents/194637>

³ <https://unfccc.int/documents/194788>

зоны в 467,49 Мт С/год. Обобщенные нами по приведенным авторами расчетным данным [9] средние значения нетто-поглощения углерода биомассой составили для лесов упомянутых биоклиматических зон – 0,73 т С/га, из них для лесов европейской части – 1,38 т С/га и лесов азиатской части – 0,5 т С/га. Таким образом, результаты наших расчетов хорошо согласуются с оценками авторитетного научного коллектива IIASA.

Выводы

Бореальные леса (термин «лес» соответствует определению ФАО) по данным ГЛР на 01.01.2016 г. занимают 810,9 млн га, что составляет около 90% общей площади лесов России. Общий запас древесины в бореальных лесах – 69,42 млрд м³, средний – 98,12 м³/га, что на 5 м³/га меньше, чем в среднем по лесам страны. Варьирование площади бореальных лесов за рассматриваемый период от 823,7 млн га (1988 г.) до 810,9 млн га (2016 г.) объясняется изменением земельных категорий при оценке, которые по-разному учитываются в официальной лесной статистике. В соответствии с изменением площадей происходит и изменение общего запаса древесины в лесах бореальной зоны. Кроме того, свой вклад в динамику общего запаса вносят заготовка древесины, пожары, насекомые-вредители и болезни леса, а также воспроизводство лесов.

Общие запасы углерода в биомассе бореальных лесов по годам колеблются от 45 Гт С до 43 Гт С. Динамика общих запасов углерода в биомассе по своему характеру повторяет ход изменения общей площади бореальных лесов. Средний запас углерода в биомассе увеличился с 65,72 т С/га в 1988 г. до 71,25 т С/га в 2009 г. и в последующее время сохраняется стабильным – 70–71 т С/га. В среднем в надземной фитомассе бореальных лесов сосредоточено 55% общего запаса углерода биомассы и по 15% в остальных пулах: подземной фитомассы, древесного детрита (сухостойная и валежная древесина) и лесной подстилки. В среднем по многолетним данным

соотношение запаса углерода по пулам биомассы остается стабильным.

Бореальные леса ежегодно абсорбировали в биомассе от 485,8 (1993 г.) до 535,1 Мт С/год (2016 г.). Среднее годовичное поглощение углерода биомассой лесов (NEP) колеблется незначительно и удерживается практически на одном уровне 0,95–0,99 т С/год. Уменьшение поглощения углерода, отмеченное в 1993 г. по сравнению с 1988 г. (515,28 Мт С/год), может быть связано с недостатками проведения ГУЛФ. С начала 1990-х гг. объем заготовки древесины сократился в 3 раза, а площадь лесных пожаров не превышала среднемноголетние значения. Теоретически поглощение углерода биомассой лесов должно было увеличиться, но имеющиеся данные лесной статистики этого не показывают.

В целом тренд изменения суммарного поглощения углерода с 1988 по 2016 г. положительный. С большой долей вероятности можно предположить, что тенденция увеличения абсорбции углерода биомассой в бореальных лесах связана с позитивным откликом бореальных экосистем на потепление климата.

Наши исследования показывают закономерное увеличение средних годовичных приростов фитомассы и среднего годовичного поглощения углерода (NEP) по территории бореальной зоны России с севера на юг, от минимума в зоне притундровых лесов и редкостойной тайги (0,3 т С /год) до максимума в южно-таежной подзоне бореальной зоны (1,9–2,0 т С/год).

Основные потери углерода в биомассе бореальных лесов связаны с изъятием древесины при лесозаготовках, гибелью лесов, вызванной верховыми (деструктивными), низовыми и подземными лесными пожарами, насекомыми-вредителями и болезнями леса, ветровалами и прочими факторами. Потери запасов углерода за рассматриваемый временной интервал варьировали по годам от 48,4 Мт С/год (2003 г.) до 90,9 Мт С/год (2015 г.). Вклад отдельных факторов в общую величину потерь различен. В анализируемом временном интервале с 2003 по 2017 г. в структуре потерь в среднем преобладают потери биомассы, изымаемой в результате рубки насаждений

(61%). Потери, вызванные гибелью лесов от пожаров, составляют 37%. На долю других факторов нарушенности (насекомые-вредители и болезни леса, ветровалы и пр.) приходится 2%.

За рассматриваемый период (2003–2016 гг.) чистое поглощение углерода лесами бореальной зоны превышало эмиссии в результате рубки насаждений, лесных пожаров и других факторов, т.е. наблюдалось нетто-поглощение (сток) углерода и положительный баланс. Значения суммарного нетто-поглощения варьировали в диапазоне

от 482,4 Мт С/год (2014 г.) до 442,2 Мт С/год (2015 г.). В среднем годовичное поглощение углерода биомассой бореальных лесов составляло 528,70 Мт С/год, потери – 61,21 Мт С/год и нетто-поглощение – 467,49 Мт С/год.

Приведенные статистические оценки убедительно подтверждают, что бореальные леса России были и остаются экологическим донором планеты, способствующим смягчению климатических изменений и противодействующим разбалансированию климатической системы Земли.

Список использованных источников

1. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским процессом за 1990–2017 гг. – Ч. 1. – М. : Росгидромет, 2019. – 471 с. – Текст : электронный. – <https://unfccc.int/documents/194838>.
2. Carbon Budget 2018. – Текст: электронный. – <https://doi.org/10.5194/essd-11-1783-2019>
3. A large and persistent carbon sink in the world's forests / Y. Pan, R. A. Birdsey, J. Fang [et al.] // Science. – 2011. – V. 333 (6045). – P. 988–993. – Текст : электронный. – <https://doi.org/10.1126/science.1201609>
4. Национальный атлас России. – Т. 1. – М. : Роскартография, 2004. – 496 с.
5. Аналитический обзор методик учёта выбросов и поглощения лесами парниковых газов атмосферы / А. Н. Филипчук, Н. В. Малышева, Б. Н. Моисеев, В. В. Страхов. – Текст : электронный // Лесохоз. информ. – 2016. – № 3. – С. 36–84. – URL: <http://lhi.vniilm.ru/>
6. Full Carbon Account for Russia (Revised 18 December 2000) / S. Nilsson, A. Shvidenko, V. Stolbovoi, M. Gluck, M. Jonas and M. Obersteiner. – IIASA: Interim Report. – August, 2000.
7. Швиденко, А. З. Углеродный бюджет лесов России / А. З. Швиденко, Д. Г. Шепашенко // Сибирский лесной журнал. – 2014. – № 1. – С. 69–92.
8. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК. – 2006.
9. Russian Forests: A New Approach to the Assessment of Carbon Stocks and Sequestration Capacity / A. Filipchuk, B. Moiseev, N. Malysheva, V. Strakhov. – Текст : электронный // Environmental Development. – 2018. – V. 26. – P. 68–75. – <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211464517300787/pdf?md5=577b4409f275c685d99176e6e48aca61&pid=1-s2.0-S2211464517300787-main.pdf>
10. GIS contribution an objective assessment of carbon sink in the Russian forests N. Malysheva, T. Zolina, A. Filipchuk, B. Moiseev. – Текст : электронный // 7-th International Conference on Cartography & GIS Proceedings (18–23 June 2018). – Sofia, Bulgaria : Bulgarian Cartographic Association, 2018. – V. 1. – P. 122–130. – [https://iccgis2018.cartography-gis.com/7ICCGIS_Proceedings/7_ICCGIS_2018%20\(13\).pdf](https://iccgis2018.cartography-gis.com/7ICCGIS_Proceedings/7_ICCGIS_2018%20(13).pdf)
11. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации № 367 «Об утверждении перечня лесорастительных зон Российской Федерации и лесных районов Российской Федерации» от 18.08.2014, ред. № 83 от 21.03.2016.
12. Методика учёта поглощения CO₂ в лесах Российской Федерации / А. А. Мартынюк, А. Н. Филипчук, Б. Н. Моисеев, Н. В. Малышева, В. В. Страхов, Т. А. Золина, А. Н. Югов, М. М. Паленова. – Пушкино : ВНИИЛМ, 2017. – 82 с.
13. Филипчук, А. Н. Теоретические основы системы государственной инвентаризации лесов России : автореф. дисс. ... д-ра с.-х. наук / А. Н. Филипчук. – М., 1996. – 48 с.
14. Страхов, В. В. Устойчивое развитие лесного хозяйства России и стратегия лесосочетных работ / В. В. Страхов, А. Н. Филипчук, А. З. Швиденко // Лесн. хоз-во. – 2001. – № 1. – С. 7–10.
15. Швиденко, А. З. Что мы знаем о лесах России сегодня? / А. З. Швиденко, Д. Г. Щепашенко // Лесная таксация и лесоустройство. – 2011. – Вып. 1–2 (45–46).
16. Филипчук, А. Н. Сравнительная оценка статистических данных о запасах древостоев в лесах Российской Федерации / А. Н. Филипчук, Б. Н. Моисеев, А. Н. Югов. – Текст : электронный // Лесохоз. информ. – 2017. – № 2. – С. 16–25. – <http://lhi.vniilm.ru>.
17. Бореальные леса и глобальные изменения / С. Готье, П. Бернье, Т. Куувилайнен, А. Швиденко, Д. Щепашенко // Устойчивое лесопользование. – 2016. – № 2(46). – С. 2–7.

References

1. Nacional'nyj doklad o kadastre antropogennyh vybrosov iz istochnikov i absorbcii poglotitelyami parnikovyh gazov, ne reguliruemym Monreal'skim processom za 1990-2017 gg. – Ch. 1. – M. : Rosgidromet, 2019. – 471 s. – Tekst : elektronnyj. – <https://unfccc.int/documents/194838>.
2. Carbon Budget 2018. – Tekst: elektronnyj. – <https://doi.org/10.5194/essd-11-1783-2019-2019>
3. A large and persistent carbon sink in the world's forests / Y. Pan, R.A. Birdsey, J. Fang [et al.] // Science. – 2011. – V. 333 (6045). – R. 988-993. – Tekst : elektronnyj. – <https://doi.org/10.1126/science.1201609>
4. Nacional'nyj atlas Rossii. – T. 1. – M. : Roskartografiya, 2004. – 496 s.
5. Analiticheskij obzor metodik uchyota vybrosov i pogloshcheniya lesami parnikovyh gazov atmosfery / A.N. Filipchuk, N.V. Malysheva, B.N. Moiseev, V.V. Strahov. – Tekst : elektronnyj // Lesohoz. inform. – 2016. – № 3. – S. 36–84. – URL: <http://lhi.vniilm.ru/>
6. Full Carbon Account for Russia (Revised 18 December 2000) / S. Nilsson, A. Shvidenko, V. Stolbovoi, M. Gluck, M. Jonas and M. Obersteiner. – IIASA: Interim Report. – August, 2000.
7. Shvidenko, A.Z. Uglerodnyj byudzhnet lesov Rossii / A.Z. Shvidenko, D.G. Shepashchenko // Sibirskij lesnoj zhurnal. – 2014. – № 1. – S. 69–92.
8. Rukovodyashchie principy nacional'nyh inventarizacij parnikovyh gazov MGEIK. – 2006.
9. Russian Forests: A New Approach to the Assessment of Carbon Stocks and Sequestration Capacity / A. Filipchuk, V. Moiseev, N. Malysheva, V. Strakhov. – Tekst : elektronnyj // Environmental Development. – 2018. – V. 26. – P. 68–75. – <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211464517300787/pdfft?md5=577b4409f275c685d99176e6e48aca61&pid=1-s2.0-S2211464517300787-main.pdf>
10. GIS contribution an objective assessment of carbon sink in the Russian forests N. Malysheva, T. Zolina, A. Filipchuk, V. Moiseev. – Tekst : elektronnyj // 7-th International Conference on Cartography & GIS Proceedings (18–23 June 2018). – Sofia. Bulgaria : Bulgarian Cartographic Association, 2018. – V. 1. – P. 122–130. – [https://iccgis2018.cartography-gis.com/7ICCGIS_Proceedings/7_ICCGIS_2018%20\(13\).pdf](https://iccgis2018.cartography-gis.com/7ICCGIS_Proceedings/7_ICCGIS_2018%20(13).pdf)
11. Prikaz Ministerstva prirodnih resursov i ekologii Rossijskoj Federacii № 367 «Ob utverzhdenii perechnya lesorastitel'nyh zon Rossijskoj Federacii i lesnyh rajonov Rossijskoj Federacii» ot 18.08.2014, red. № 83 ot 21.03.2016
12. Metodika uchyota pogloshcheniya SO₂ v lesah Rossijskoj Federacii / A.A. Martynyuk, A.N. Filipchuk, B.N. Moiseev, N.V. Malysheva, V.V. Strahov, T.A. Zolina, A.N. Yugov, M.M. Palenova. – Pushkino : VNIILM, 2017. – 82 s.
13. Filipchuk, A.N. Teoreticheskie osnovy sistemy gosudarstvennoj inventarizacii lesov Rossii : avtoref. diss. ... d-ra s.-h. nauk / A.N. Filipchuk. – M., 1996. – 48 s.
14. Strahov, V.V. Ustoichivoe razvitie lesnogo hozyajstva Rossii i strategiya lesouchetnyh rabot / V.V. Strahov, A.N. Filipchuk, A.Z. Shvidenko // Lesn. hoz.-vo. – 2001. – № 1. – S. 7–10.
15. Shvidenko, A.Z. Chto my znaem o lesah Rossii segodnya? / A.Z. Shvidenko, D.G. Shchepashchenko // Lesnaya taksaciya i lesoustrojstvo. – 2011. – Vyp. 1–2 (45–46).
16. Filipchuk, A.N. Sravnitel'naya ocenka statisticheskikh dannyh o zapasah drevostoev v lesah Rossijskoj Federacii / A.N. Filipchuk, B.N. Moiseev, A.N. Yugov. – Tekst : elektronnyj // Lesohoz. inform. – 2017. – № 2. – S. 16–25. – <http://lhi.vniilm.ru/>
17. Boreal'nye lesa i global'nye izmeneniya / S. Got'e, P. Bern'e, T. Kuuvilajnen, A. Shvidenko, D. Shchepashchenko // Ustoichivoe lesopol'zovanie. – 2016. – № 2(46). – S. 2–7.

The Boreal Forest of Russia: Opportunities for the Effects of Climate Change Mitigation

A. Filipchuk

*Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry,
Deputy Director for Science, Doctor of Agricultural Sciences,
Pushkino, Moscow Region, Russian Federation, afilipchuk@yandex.ru*

N. Malysheva

*Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry,
Deputy head of Department, Candidate of Geographical Sciences,
Pushkino, Moscow region, Russian Federation, nat-malysheva@yandex.ru*

T. Zolina

*Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry,
Category 1 Engineer, Pushkino, Moscow Region, Russian Federation, tzolina@gmail.com*

A. Yugov

*Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry,
Section Head, Pushkino, Moscow Region, Russian Federation, ayugov@yandex.ru*

Keywords: boreal forests, carbon sequestration, carbon emission (loss), carbon balance (budget)

The article discusses the role of boreal forests in mitigating climate change. Taking into account knowledge about boreal forests in Russia and data of sectoral statistical reporting the estimation of carbon sequestration, emission and balance is made. The potential of boreal forests for climate change mitigation is much higher than previously thought. For the first time carbon sequestration, emission and balance in boreal forests of Russia are calculated and their dynamics for a long period of time are analyzed. The methods proposed by the authors to calculate the carbon balance in forests will improve the reliability of estimates for the sector, which includes forestry, in the reporting of the Russian Federation to the UN Framework Convention on Climate Change.