

DOI

УДК 630*182.59+547.45(470)

ДИНАМИКА БАЛАНСА УГЛЕРОДА В ЛЕСАХ ФЕДЕРАЛЬНЫХ ОКРУГОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

© 2018 г. Д.Г. Замолодчиков^{1,2}, В.И. Грабовский¹, О.В. Честных^{1,2}

¹Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН

Россия, 117997 Москва, ул. Профсоюзная, 84/32, стр. 14

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, биологический
факультет

Россия, 119192 Москва, ул. Ленинские Горы, 1, стр. 12

E-mail: dzamolod@mail.ru

Поступила в редакцию 04.09.2018 г.

По данным Государственного лесного реестра и архивным материалам государственных учетов лесного фонда проведены расчеты бюджета углерода лесов федеральных округов (ФО) России за 1988-2015 гг. Суммарные запасы углерода на покрытых лесом землях России по состоянию на 01.01.2015 г. составляли 123.77 ± 18.93 Гт С. По вкладу в национальный запас углерода лесов лидировали Сибирский (36.4%) и Дальневосточный (35.2%) ФО, далее следовали Северо-Западный (11.3%), Уральский (9.3%), Приволжский (4.4%), Центральный (2.8%), Северо-Кавказский (0.3%) и Южный (0.2%) ФО. Вклад в национальный лесной сток углерода (206.10 ± 66.86 Мт С год⁻¹) составляет по округам: Сибирскому 39.3%, Дальневосточному 15.1%, Северо-Западному 12.4%, Приволжскому 12.1%, Уральскому 11.0%, Центральному 8.8%. По средней величине стока углерода в лесах можно выделить две группы округов: 1) с величиной $0.64-0.85$ т С га⁻¹ год⁻¹ (Центральный, Южный, Северо-Кавказский, Приволжский), 2) с величиной $0.11-0.33$ т С га⁻¹ год⁻¹ (Северо-Западный, Уральский, Сибирский, Дальневосточный). Величины стока углерода в леса ФО были минимальны в 1988-1993 гг. Снижение потерь при рубках в 1993-2000 гг. привело к повышению стока углерода подавляющей части федеральных округов. По уровню этого увеличения леса ФО могут быть подразделены на 2 группы: 1) со значительным увеличением стока углерода (на 86% и выше), а именно Северо-Западный, Уральский, Сибирский, Дальневосточный; 2) с умеренным ростом стока углерода (на 4-46%) в составе Центрального, Южного, Северо-Кавказского и Приволжского ФО.

Ключевые слова: федеральные округа, леса, запас углерода, поглощение углерода, баланс углерода, фитомасса, мертвая древесина, подстилка, почва, лесные пожары, рубки

Оценка углеродного цикла лесов России на разных пространственных уровнях стала крайне популярным направлением исследований за последние 2 десятилетия. В научной литературе имеется множество публикаций с результатами экспериментально-полевых, информационно-аналитических, геоинформационных, дистанционных и модельных работ. При этом для обобщений национального уровня до сих пор характерен высокий уровень

неопределенности и малая степень согласия (Замолодчиков и др., 2013, 2017; Федоров и др., 2011; Филипчук и др., 2016, 2017; Швиденко и др., 2014; Dolman et al., 2013 и др.). Такая ситуация после принятия Парижского соглашения привела к активизации дискуссии о роли лесов в формировании национального бюджета парниковых газов в связи с целесообразностью сокращения выбросов парниковых газов в промышленных отраслях экономики. Одна из позиций дискутирующих сторон заключается в том, что сокращать выбросы в экономике России не следует, поскольку поглощение углерода лесами России превышает промышленные эмиссии. Необходимо лишь признание этого факта на переговорных площадках Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК ООН) с возможным подключением механизмов выплаты международных компенсаций за сток углерода на территории России. Согласно второй позиции, антропогенные эмиссии России выше поглощения углерода лесами, поэтому нужно совершенствовать как энергоэффективность для сокращения выбросов, так и управление национальными лесами для повышения стока углерода. Обе точки зрения находят свое подтверждение в имеющемся массиве научных публикаций.

Первая точка зрения упускает их виду аспект, связанный с необходимостью соблюдения ряда требований при формировании национальной отчетности по бюджету парниковых газов. Эти требования изложены в руководствах Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) (Руководящие указания..., 2003). В частности, там отмечается, что оценки баланса углерода в управляемых лесах формируются на основе данных официальной инвентаризации лесов с применением вполне конкретного набора уравнений, коэффициенты которых могут быть определены по имеющимся национальным данным. Значительная часть региональных и национальных оценок для лесов России (Бобкова и др., 2015; Ваганов и др., 2005; Ведрова, 2011; Dolman et al., 2013 в отношении обобщения данных eddy covariance и др.) представляет собой распространение ограниченного числа натурных определений на большие площади, что не соответствует подходу МГЭИК.

В полной мере рекомендациям МГЭИК следует разработанная авторами настоящей в статье (Замолодчиков и др., 2011, 2013) система РОБУЛ (региональная оценка бюджета углерода лесов). Эта расчетная система интегрирует результаты 20-летнего развития лесоуглеродной тематики в Центре по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, стартовавшего по инициативе академика А.С. Исаева (Исаев и др., 1993, 1995; Замолодчиков и др., 2003, 2005; Замолодчиков, 2009; Честных и др., 1999, 2004, 2007; Уткин и др., 2001 и др.). С 2010 г. РОБУЛ используется в Национальном кадастре парниковых газов для формирования отчетности по сектору лесного хозяйства (Национальный доклад..., 2017 и

более ранние). В составе Национального кадастра система РОБУЛ подвергается регулярным проверкам экспертов РКИК ООН. Успешное прохождение этих проверок подтверждает корректность системы и ее соответствие подходам МГЭИК.

Предшествующие публикации результатов, полученных на основе РОБУЛ, охватывали либо территорию России в целом (Замолодчиков и др., 2011, 2013а, 2013б, 2017) либо субъектов РФ и более мелких территориальных объектов (Замолодчиков, Иванов, 2016; Замолодчиков и др., 2018). Целью настоящей работы является характеристика пространственной изменчивости углеродного бюджета лесов на уровне федеральных округов (ФО). Этот уровень, с одной стороны, достаточен для выявления региональной специфики углеродного цикла лесов, определяемой как природными условиями, так и особенностями ведения лесного хозяйства. С другой стороны, результаты, полученные для ФО, могут быть с достаточной детальностью представлены для научных обобщений, в отличие от более развернутого уровня для субъектов РФ.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Система РОБУЛ ориентирована на использование в качестве исходных данных материалов Государственного лесного реестра (ГЛР). ГЛР был введен Лесным кодексом РФ (Лесной кодекс, 2007), сменив предшествующую систему Государственного учета лесного фонда (ГУЛФ). К счастью, методологии формирования ГЛР и ГУЛФ мало различаются, что дает возможность восстановить согласованные ряды данных, необходимых для оценки динамики бюджета углерода в лесах. Детальные описания процедур формирования рядов данных, специфики представления учетной информации в связи с изменениями полномочий по управлению лесами и динамики учетных категорий лесного фонда приведены в нашей работе (Замолодчиков и др., 2011). В настоящей работе были использованы базы данных ГУЛФ по состоянию на 1 января 1988, 1993, 1998-2006 гг. и базы данных ГЛР по состоянию на 1 января 2007-2015 гг. Из этих баз данных выбраны сведения по площадям и запасам древесины в дифференциации по группам возраста доминирующих пород для каждого субъекта РФ. Кроме того, при проведении расчетов используются сведения по площадям вырубок, гарей и погибших насаждений в составе каждого субъекта РФ. Оценки, приводимые в настоящей работе, относятся к покрытой лесом площади 785.58 млн. га, которая складывается из 770.09 млн. га лесов на землях лесного фонда (по состоянию на 01.01.2015) с добавлением 15.49 млн. га лесов на землях ООПТ. С 2004 г. леса на землях ООПТ не включаются в базы данных ГУЛФ и ГЛР, поэтому их оценка ведется по информации на 01.01.2003.

В полном виде совокупность уравнений и параметров РОБУЛ приведена в работах (Замолодчиков и др., 2011, 2013б), поэтому здесь мы ограничимся кратким изложением подхода. Начальная часть расчетов состоит в оценке запасов углерода для возрастных групп лесных насаждений в дифференциации по преобладающим породам. Расчет запасов углерода в пулах фитомассы и мертвой древесины проводится на основе данных по объемным запасам стволовой древесины из материалов ГЛР либо ГУЛФ с применением наборов конверсионных коэффициентов из работ (Замолодчиков и др., 2003; Замолодчиков, 2009). Расчет запасов углерода в пулах подстилки и почвы осуществляется на основании сведений о площадях насаждений лесообразующих пород из ГЛР либо ГУЛФ с применением типовых средних значений из работ (Честных и др., 2004, 2007). Получение оценок запасов углерода в разрезе групп возраста насаждений обеспечивает возможность расчета приростов по всем углеродным пулам с использованием информации о продолжительности возрастных групп.

Применение сведений о годовых площадях деструктивных нарушений (рубки, лесные пожары, прочие причины гибели лесных насаждений) к найденным запасам углерода в различных категориях лесных насаждений дает оценку годовых потерь углерода. Годовые масштабы деструктивных нарушений можно оценить двумя способами (Замолодчиков и др., 2011, 2013б): 1) по площадям гарей и вырубок с учетом времени их зарастания; 2) по текущим величинам пройденной огнем площади и масштабам рубок. В первом варианте для проведения расчетов достаточно лишь материалов ГЛР либо ГУЛФ, при этом формируются сглаженные (выровненные) оценки потерь углерода от рубок и пожаров. Во втором варианте необходимо привлечение дополнительных сведений, а именно, данных по площадям сплошных рубок и пройденных огнем покрытых лесом земель за каждый год оцениваемого периода. Получаемые при этом оценки потерь обладают большой межгодовой вариабельностью, связанной с варьированием площадей лесных пожаров. Оценки, приводимые в настоящей работе, базируются на первом, «сглаженном» варианте расчета потерь углерода.

Неопределенности оценок рассчитываются на основе стандартных ошибок параметров уравнений, то есть конверсионных коэффициентов и типовых значений запасов углерода в подстилке и почве. Ошибки значений площадей и запасов древесины, выбранные из баз данных ГУЛФ и ГЛР, приняты равными нулю. При вычислении ошибок расчетных величин используются стандартные правила преобразования погрешностей.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Система федеральных округов была введена в России в 2000 г. и испытала некоторые модификации, к примеру, выделение Северо-Кавказского ФО из Южного ФО в 2010 г., образование в 2014 г. и упразднение в 2016 г. Крымского ФО. В настоящем разделе деление на федеральные округа используется и для периода ранее 2000 г., отнесение субъектов РФ к тому или иному ФО осуществляется на основании их состава в 2018 г. Леса п-ова Крым не рассматриваются в настоящей статье по причине отсутствия информации в подавляющей части баз данных ГУЛФ и ГЛР.

Федеральные округа существенно отличаются как по общей площади (максимальна у Дальневосточного ФО – 616.9 млн. га, минимальна у Северокавказского ФО – 17.0 млн. га), так и по лесистости (максимальна в Сибирском ФО – 53.4%, минимальная в Южном ФО – 3.5%). Вполне очевидно, что вклад федеральных округов в запасы и баланс углерода будет в значительной степени зависеть от общей площади покрытых лесом земель. По площади лесов в 2015 г. лидировал Дальневосточный ФО (292.67 млн. га), наименьшая площадь имела в Южном ФО (1.58 млн. га).

Во всех ФО отмечался рост покрытых лесом площадей с 1988 по 2015 гг. в диапазоне от 1.1 (Сибирский ФО) до 5.7% (Северо-Западный ФО). Указанный рост связан со снижением в составе лесного фонда временно не покрытых лесом площадей, в первую очередь вырубок, что, в свою очередь, определяется более чем двукратным снижением объемов лесозаготовок в период социально-экономических реформ начала 1990-х годов (Замолодчиков и др., 2011, 2013б). Уровень заготовки древесины и ныне примерно в 2 раза ниже по сравнению с концом 1980-х годов. Малое увеличение покрытых лесом площадей в Сибирском ФО отражает тяжелую ситуацию с лесными пожарами в этом округе.

Суммарные запасы углерода на покрытых лесом землях России по состоянию на 01.01.2015 г. составляли 123.77 ± 18.93 Гт С (млрд. т С). По вкладу в национальный запас углерода лесов лидировали Сибирский (36.4%) и Дальневосточный (35.2%) ФО, в сумме сохраняя 71.6% национального запаса углерода лесов (табл. 1). Эта ситуация логично объясняется огромными площадями лесов, покрывающих земли указанных округов. Минимальна доля запасов углерода лесов в Южном (0.2%) и Северо-Кавказском (0.3%) ФО.

По среднему на единицу площади запасу углерода в фитомассе лидирует Северо-Кавказский ФО (85.05 ± 9.66 т С га⁻¹), минимальна эта величина в Дальневосточном ФО (31.26 ± 2.93 т С га⁻¹) (рис. 1). Таким образом, средний запас углерода фитомассы между округами варьирует почти в 3 раза, что связано в первую очередь с различиями в природных условиях. В Северо-Кавказском ФО около 70% площади лесов представлены горными насаждениями твердолиственных пород с высокими запасами древесины. Кроме того,

твердолиственные породы обладают высокой плотностью древесины и, соответственно, более углеродоемки при одинаковых объемных запасах насаждений в сравнении с другими группами пород.

Таблица 1. Запасы углерода на покрытых лесом землях федеральных округов по состоянию на 01.01.2015

Федеральный округ	Площадь, 10 ⁶ га	Запас углерода, Гт С				
		фитомасса	мертвая древесина	подстилка	слой почвы 0-30 см	итого
Центральный	21.36	1.45±0.11	0.31±0.03	0.16±0.03	1.60±0.29	3.51±0.45
Северо-Западный	87.64	3.79±0.25	0.91±0.07	1.25±0.21	8.07±1.24	14.02±1.77
Южный	1.58	0.11±0.01	0.02±0.00	0.01±0.00	0.10±0.02	0.24±0.03
Северо-Кавказский	2.56	0.22±0.02	0.03±0.00	0.01±0.00	0.15±0.02	0.41±0.05
Приволжский	36.77	2.09±0.16	0.47±0.04	0.35±0.06	2.51±0.48	5.42±0.74
Уральский	68.51	2.92±0.18	0.63±0.05	0.85±0.17	7.10±1.64	11.50±2.05
Сибирский	274.51	12.30±0.96	2.29±0.19	1.70±0.37	28.76±6.13	45.05±7.64
Дальневосточный	292.67	9.15±0.86	1.56±0.13	1.60±0.26	31.30±4.96	43.61±6.20
Российская Федерация	785.58	32.03±2.54	6.23±0.51	5.93±1.10	79.58±14.78	123.77±18.93

Максимальные и минимальные средние экосистемные запасы углерода лесов отмечены в Уральском (167.92±29.92 т С га⁻¹) и Дальневосточном (149.00±21.19 т С га⁻¹) ФО, приведенные значения различаются всего на 13%. Таким образом, запасы углерода в почве и других пулах мертвого органического вещества сглаживают вариации углерода фитомассы между округами.

Перед изложением результатов, связанных с оценкой баланса углерода, уточним используемую терминологию. Под поглощением углерода мы понимаем его годичные приросты во всех пулах лесной экосистемы (фитомассы, мертвой древесины, подстилки, почвы). Эти приросты формируются как разность естественных потоков пополнения и вывода углерода из каждого пула. Например, для пула фитомассы это разность между чистой первичной продукцией (*NPP*) и потоками опада и отпада, переводящими углерод в пулы мертвой древесины и подстилки соответственно. Для мертвой древесины это разность отпада (пополнение) с потоками эмиссии от разложения мертвой древесины и перехода в пул почвы (вывод). Подчеркнем, что программное обеспечение РОБУЛ в современном варианте не предоставляет возможности оценки всей совокупности углеродных потоков, ограничиваясь расчетом приростов углеродных пулов. Недеструктивные нарушения лесного покрова (низовые пожары слабой интенсивности, рубки ухода, выборочные рубки) приводят к

некоторому снижению объемных запасов насаждений, при этом нарушенные территории остаются в составе покрытых лесом земель. Потому влияние недеструктивных нарушений сказывается на величине средних объемных запасов насаждений в том или ином лесном регионе, тем самым они учитываются в оценке величины поглощения углерода по РОБУЛ.

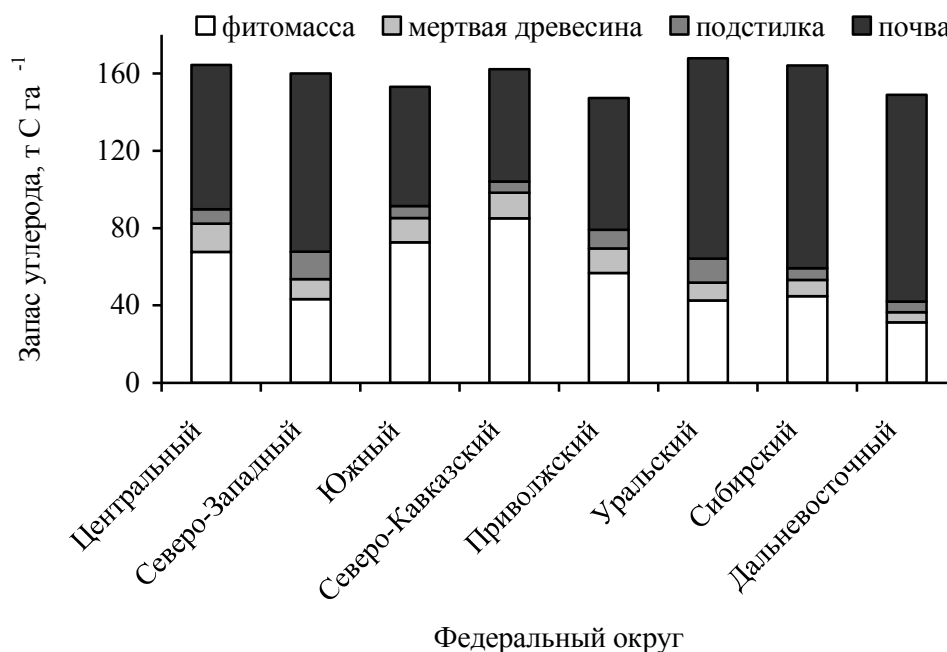


Рисунок 1. Средние запасы углерода на покрытых лесом землях федеральных округов по состоянию на 01.01.2015

Деструктивные нарушения (сплошные рубки, верховые пожары и низовые пожары высокой интенсивности, ветровалы и т. д.) выводят пострадавшие площади из состава покрытых лесом земель. Углеродные пулы на нарушенных землях, как правило, значительно уменьшают свои значения за счет вывоза заготовленной древесины, прямых пожарных эмиссий, отмирания пораженных деревьев и усиления послепожарных эмиссий и так далее. Эти потоки не учитываются при расчете величины поглощения (приростов углерода) на покрытых лесом землях, и потому должны быть вычтены из нее при определении баланса углерода. Итоговая величина баланса может быть как положительной (поглощение превышает потери), так и отрицательной (поглощение меньше, чем потери). Для первой ситуации используется термин «сток», для второй – «источник» углерода.

Если распределение суммарных запасов углерода лесов по округам в значительной степени соответствует площадям покрытых лесом земель, то в распределении величин стока углерода имеются заметные изменения (табл. 2). Суммарный вклад Сибирского и Дальневосточного ФО в национальный лесной сток углерода (206.10 ± 66.86 Мт С год⁻¹) составляет 54.5%, что заметно меньше, чем 71.6% вклада в запас углерода. В то же время

вклады западных ФО в лесной сток углерода повышаются, составляя 12.1% в Приволжском и 8.8% в Центральном, что заметно больше, чем их вклады по запасу углерода (4.4% и 2.8%).

Таблица 2. Баланс углерода покрытых лесом земель федеральных округов по состоянию на 01.01.2015

Федеральный округ	Площадь, 10 ⁶ га	Баланс углерода, Мт С год ⁻¹				
		фитомасса	мертвая древесина	подстилка	слой почвы 0-30 см	итого
Центральный	21.36	13.78±2.69	3.57±0.46	0.23±0.11	0.67±0.33	18.24±3.59
Северо-Западный	87.64	20.40±4.61	1.84±1.03	1.10±0.52	2.15±1.05	25.50±7.21
Южный	1.58	0.86±0.11	0.15±0.02	0.00±0.00	0.03±0.00	1.04±0.13
Северо-Кавказский	2.56	1.42±0.35	0.23±0.04	0.00±0.01	-0.03±0.03	1.63±0.42
Приволжский	36.77	19.03±3.76	3.71±0.70	0.62±0.27	1.52±0.68	24.88±5.41
Уральский	68.51	17.66±2.64	1.93±0.61	0.73±0.37	2.24±1.16	22.57±4.77
Сибирский	274.51	56.30±11.98	4.67±1.89	2.59±1.40	17.53±6.53	81.09±21.80
Дальневосточный	292.67	21.17±12.91	2.33±1.70	1.02±1.31	6.64±7.60	31.16±23.53
Российская Федерация	785.58	150.62±39.04	18.44±6.45	6.29±3.99	30.75±17.38	206.10±66.86

Средние на единицу площади величины стока углерода в леса варьируют почти в 9 раз (рис. 2): от 0.11±0.08 т С га⁻¹ год⁻¹ (Дальневосточный ФО) до 0.85±0.17 т С га⁻¹ год⁻¹ (Центральный ФО). По средней величине стока углерода в леса можно выделить две группы округов: 1) с величиной стока 0.64-0.85 т С га⁻¹ год⁻¹ (Центральный, Южный, Северо-Кавказский, Приволжский), 2) с величиной стока 0.11-0.33 т С га⁻¹ год⁻¹ (Северо-Западный, Уральский, Сибирский, Дальневосточный). Отличия между этими группами объясняются рядом причин. Во-первых, в более южных округах благоприятны климатические условия и высока скорость роста молодых лесов, что способствует поглощению углерода. Во-вторых, в южных ФО леса более антропогенно нарушены, в результате в возрастной структуре повышена доля молодых насаждений с большими величинами годовых приростов углерода. В-третьих, в ФО Азиатской части России в сравнении с европейскими округами на порядки сильнее воздействие лесных пожаров в силу особенностей национальной организации охраны лесов от пожаров (Лупян и др., 2017). Именно пожары являются главной причиной высоких потерь углерода лесами Сибирского и Дальневосточного ФО, для которых характерны наименьшие величины стока углерода.

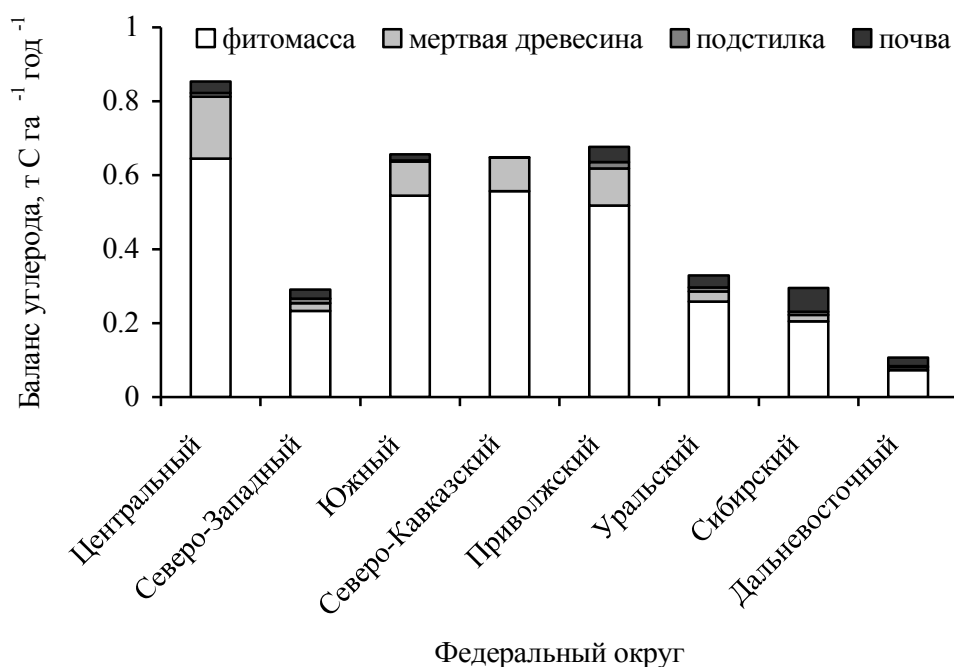


Рисунок 2. Средние значения стока углерода на покрытых лесом землях федеральных округов по состоянию на 01.01.2015

При рассмотрении динамики потоков углерода за 1988-2015 гг. обнаруживается, что для всех округов характерно относительное постоянство величин поглощения за рассматриваемый период: разность между максимальным и минимальным значением поглощения от 5.9% (Приволжский ФО) до 20% (Сибирский ФО) (рис. 3). При этом в 5 ФО (Северо-Западный, Южный, Уральский, Сибирский, Дальневосточный) поглощение углерода увеличилось от 1988 к 2015 г. на 11.8-17.0%, в то время как в 3 ФО (Центральный, Северо-Кавказский, Приволжский) снизилось на 0.5-9.3%. Изменения поглощения определяются, с одной стороны, увеличением площади покрытых лесом земель, с другой – изменением возрастной структуры лесов, связанным с увеличением доли более возрастных насаждений. В 1988-2000 гг. преобладает первая тенденция (увеличение площади покрытых лесом земель), потому что максимальные значения поглощения в большинстве округов приходятся на 2002-2008 гг., для России в целом – на 2003 г. После 2008 г. преобладает тенденция к уменьшению поглощения, вызванная изменением возрастной структуры лесов. Отметим, что неопределенности оценок (они не приведены на рис. 3 и последующих для упрощения восприятия рисунков) составляют 10-13% от оцениваемой величины, потому что подавляющая часть межгодовых изменений поглощения углерода лесами округов не может рассматриваться как статистически значимая.

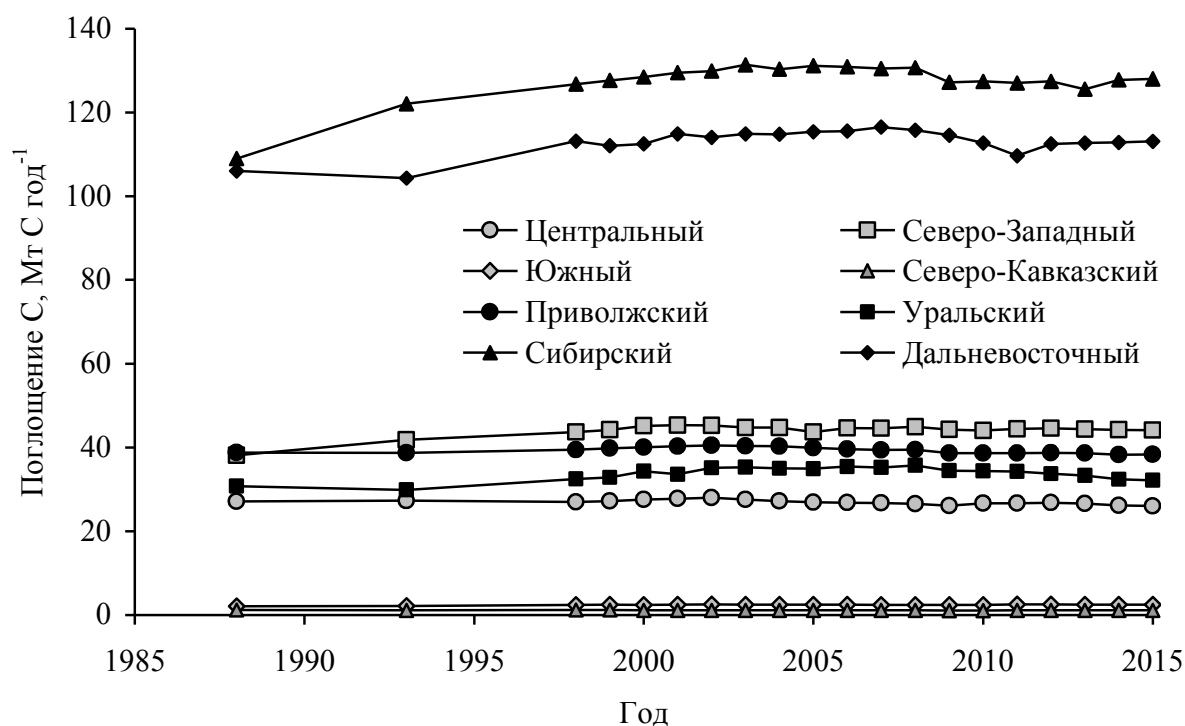


Рисунок 3. Динамика поглощения углерода покрытыми лесом землями федеральных округов

Изменения величин потерь углерода за 1988-2015 гг. более выражены, чем поглощения. Для всех ФО характерно снижение потерь углерода от сплошных рубок в период 1993-2000 гг. (рис. 4А). Это снижение вызвано резким уменьшением объема лесозаготовок в период социально-экономических реформ начала 1990-х годов. Связь этой тенденции с увеличением стока углерода в леса России неоднократно обсуждалась нами в предшествующих работах (Замолодчиков и др., 2011, 2013а, 2013б, 2017). Освоение отдаленных лесов требует существенных затрат на строительство лесовозных дорог и транспортировку древесины. В условиях вне рыночной экономики Советского Союза эти затраты финансировались из государственного бюджета. Переход к рыночной экономике привел к необходимости сопоставления затрат и прибылей, что сделало невыгодным развитие заготовки древесины на значительной части площади эксплуатационных лесов.

Оценка потерь углерода при рубках в данной работе ведется по величинам площадей вырубок с учетом времени их зарастания. Информация по объемам заготовок древесины имеет важное хозяйственное значение и собирается при статистических обследованиях лесного хозяйства. Подчеркнем, что указание площади вырубок в материалах ГЛР и объема заготовленной древесины в государственных статистических формах представляют собой независимые линии информации, потому сведения об объемах заготовки могут быть использованы для качественной проверки значений потерь углерода с рубками,

формируемыми в РОБУЛ. Рис. 5 представляет динамику объемов заготовленной древесины в лесах, ныне находящихся на территории соответствующих ФО, составленную по формам статистического обследования лесного хозяйства из информационных архивов ЦЭПЛ РАН. Для всех округов от 1988 г. к 1998 г. характерно снижение объема лесозаготовок в 2-4 раза,

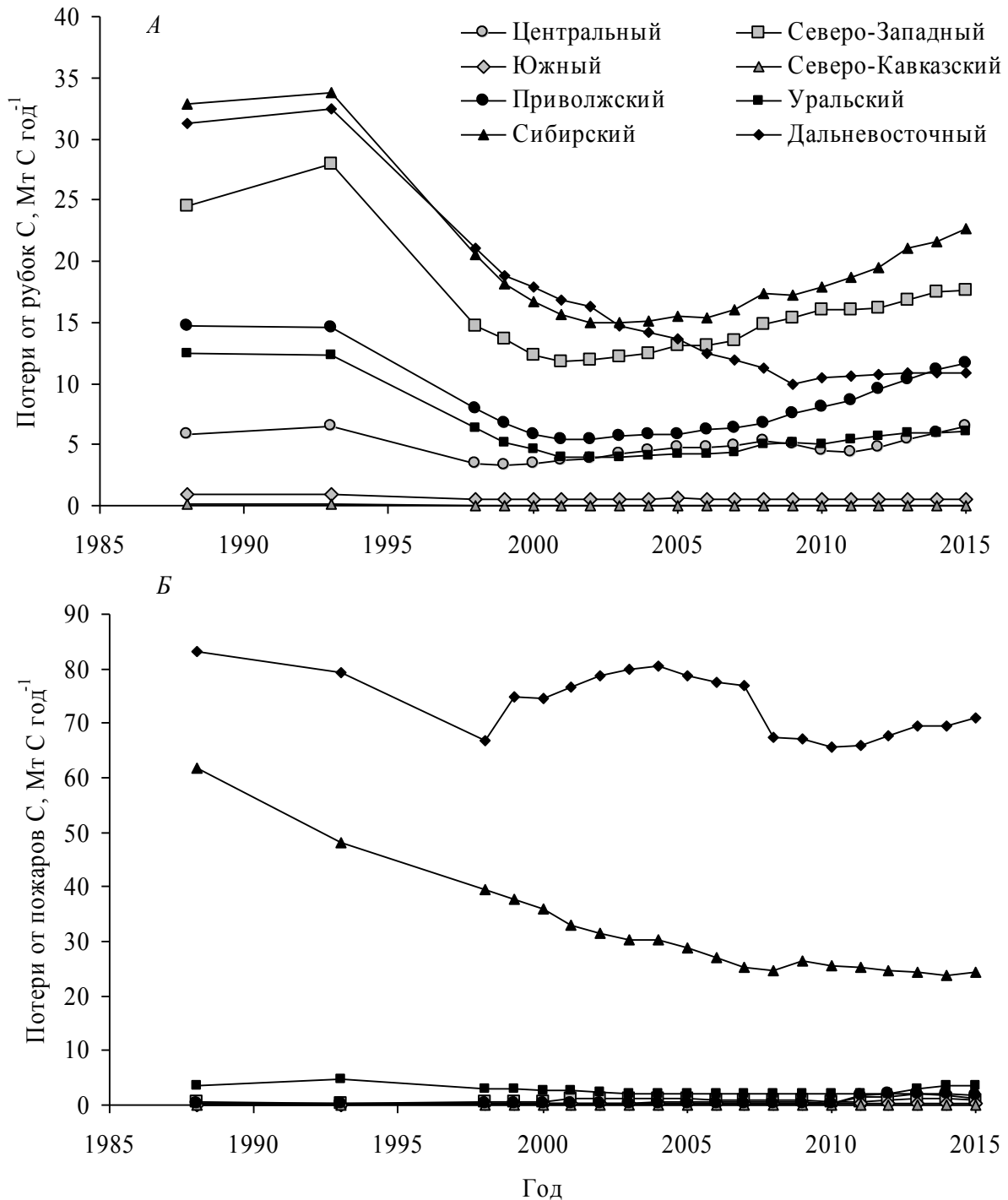


Рисунок 4. Динамика потерь углерода на покрытых лесом землях федеральных округов при сплошных рубках (А) и деструктивных лесных пожарах (Б)

для России в целом примерно в 3 раза. Можно отметить задержку примерно на 3 года в динамике потерь углерода при рубках (рис. 4А) в сравнении с объемом заготовленной древесины (рис. 5). Эта задержка вполне понятна, поскольку требуется определенное время для внесения изменений в региональные формы ГЛР с дальнейшим отражением этой ситуации на национальном уровне.

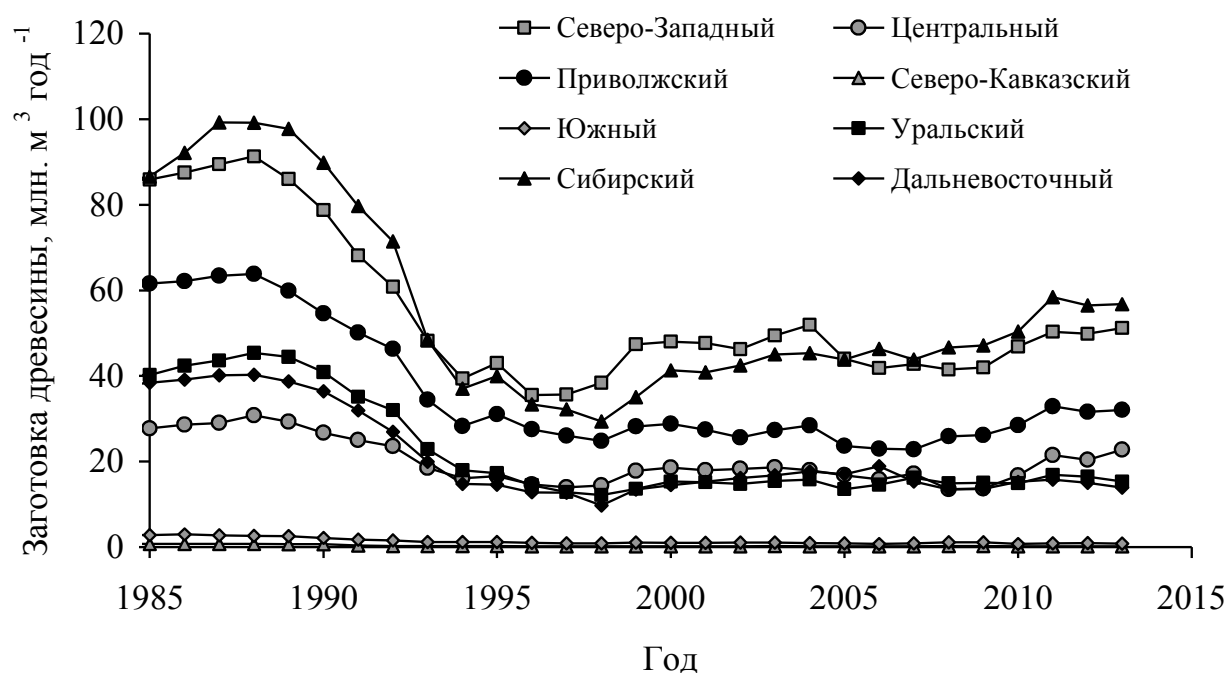


Рисунок 5. Динамика объема заготовленной древесины на землях лесного фонда России согласно статистическим обследованиям лесного хозяйства

Соотношения между округами по объемам заготовок и оценками потерь углерода от рубок сходны, эти величины максимальны в Сибирском ФО, минимальны в Южном и Северо-Кавказском. Однако имеется одно исключение. Потери углерода при рубках в Дальневосточном ФО согласно оценке РОБУЛ в 1988-2003 гг. близки к Сибирскому ФО (рис. 4А), в то время как объем лесозаготовок находится между Приволжским и Центральным округом (рис. 5). Возможно, времена зарастания вырубок в Дальневосточном ФО переоценены в РОБУЛ, что ведет к завышению потерь при рубках. Так же, в связи с большими площадями малодоступных лесов в Дальневосточном ФО, актуализация сведений о площадях вырубок и восстановлении на них лесного покрова может проводиться недостаточно оперативно, что ведет к завышению площадей вырубок в ГЛР.

Потери от пожаров велики в двух округах – Сибирском и Дальневосточном, в 2.0-2.5 раза превышая потери от рубок в этих ФО (рис. 4Б). В остальных округах потери углерода от пожаров малы в сравнении с потерями от рубок. Как уже отмечалось выше, такая ситуация

связана с национальными особенностями организации охраны лесов от пожаров. В Сибирском ФО потери от пожаров не проявляют выраженной временной изменчивости, в то время как в Дальневосточном ФО отмечается снижение этих потерь примерно в 2 раза от 1988 г. к 2005 г. К сожалению, эти тенденции трудно сравнить с фактическими данными по горимости лесов. Официальная статистика по лесным пожарам доступна с середины 1950-х годов, но она не охватывает значительную часть лесных территорий. В советские времена эти территории называли «неохраняемая часть лесного фонда», ныне «зоны контроля лесных пожаров» (Приказ..., 2015). Развитие дистанционных методов мониторинга лесных пожаров выявило многократные расхождения между статистическими сведениями и независимыми оценками пройденной огнем лесной площади (Лупян и др., 2017; Швиденко, Щепашенко, 2013; Soja et al., 2004 и др.). Собственно спутниковые оценки лесных в основном охватывают период с начала 2000-х годов, что в условиях высокой временной и пространственной изменчивости лесных пожаров не вполне достаточно для анализа долгосрочных региональных трендов, определяемых изменениями в организации охраны лесов и климатическими вариациями.

Леса большей части округов были стоком атмосферного углерода в течение всего рассматриваемого временного периода (рис. 6). Леса Дальневосточного округа оказались источником углерода для атмосферы с уровнем 7-8 Мт С в 1988 и 1993 г. Такая ситуация возникает в тех случаях, когда приросты не компенсируют потери. В данном случае имеется вероятность расчетного завышения потерь углерода при рубках, о котором говорилось выше. Снижение потерь при рубках в 1990-х годах привело к повышению стока углерода подавляющей части федеральных округов. По характеру изменения стока углерода в леса ФО могут быть подразделены на 2 группы. К первой относятся округа со значительным увеличением стока углерода (на 86% и выше). Такими округами являются Северо-Западный, Уральский, Сибирский, а также Дальневосточный, в котором произошло изменение знака баланса. Всем этим округам свойственна высокая лесистость при относительно низкой плотности населения. В силу этого сокращение лесозаготовок и сопутствующий рост стока углерода были весьма значительными. Ко второй группе относятся округа с умеренным ростом стока углерода (на 4-46%). Сюда входят Центральный, Южный, Северо-Кавказский и Приволжский ФО. В этих округах достаточно высокая плотность населения, более густая дорожная сеть, что позволяет без значительных затрат осваивать любые массивы лесов. Потому потери углерода при рубках уменьшились не столь значительно, как в первой группе ФО.

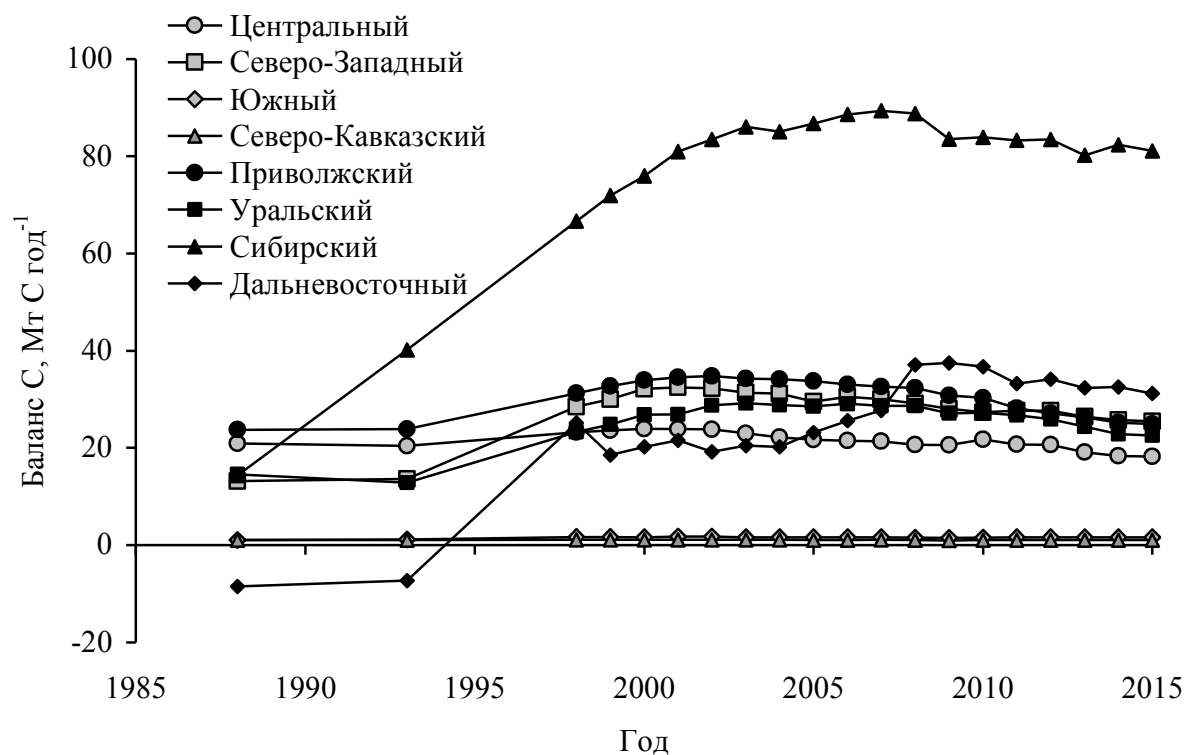


Рисунок 6. Динамика баланса углерода на покрытых лесом землях федеральных округов

С начала 1990-х годов опубликовано большое число отечественных работ, посвященных рассмотрению статей углеродного бюджета лесных территорий. Наиболее популярными рассматриваемыми пространственными уровнями являются леса субъектов РФ (Замолодчиков и др., 2018; Сопига, Богословская, 2011; Сафонов и др., 2016; Тулохонов и др., 2006; Усольцев и др., 2008 и др.) и России в целом (Замолодчиков и др., 2013б, 2017; Федоров и др., 2011; Филипчук и др., 2016, 2017; Швиденко и др., 2015 и др.). Промежуточный пространственный уровень федеральных округов в значительной степени упущен из рассмотрения, что вполне логично объясняется относительно малым воздействием административных структур этого уровня на лесное хозяйство в сравнении с федеральными и региональными властями. Исключение представляет серия работ по углероду лесов Уральского ФО, опубликованных авторским коллективом под руководством В.А. Усольцева (Усольцев и др., 2005, 2006, 2008). Согласно этим работам, запас углерода в фитомассе лесов Уральского ФО составляет 2.68 Гт С для площади 62.29 млн. га (43.0 т С га^{-1}). Наша оценка равна $2.92 \pm 0.18 \text{ Гт С}$ для площади 68.51 млн. га ($42.6 \pm 2.7 \text{ т С га}^{-1}$). Средние на единицу площади значения углерода фитомассы количественно близки и подтверждают сформировавшуюся с середины 1990-х годов тенденцию сходимости оценок запасов углерода лесов, полученных разными авторскими коллективами. К сожалению, провести сравнение оценок потоков углерода с указанной серией работ невозможно. Под «годовым

депонированием углерода в фитомассе» В.А. Усольцев с соавторами понимают чистую первичную продукцию (*NPP*), которая оценена в $164.8 \text{ Мт С год}^{-1}$. Полученные в настоящей работе в настоящей работе оценки поглощения ($32.2 \pm 3.9 \text{ Мт С год}^{-1}$) и баланса ($22.6 \pm 4.8 \text{ Мт С год}^{-1}$) углерода в лесах Уральского ФО аналогичны терминам «чистая экосистемная продукция» (*NEP*) и «чистая биомная продукция» (*NBP*) соответственно.

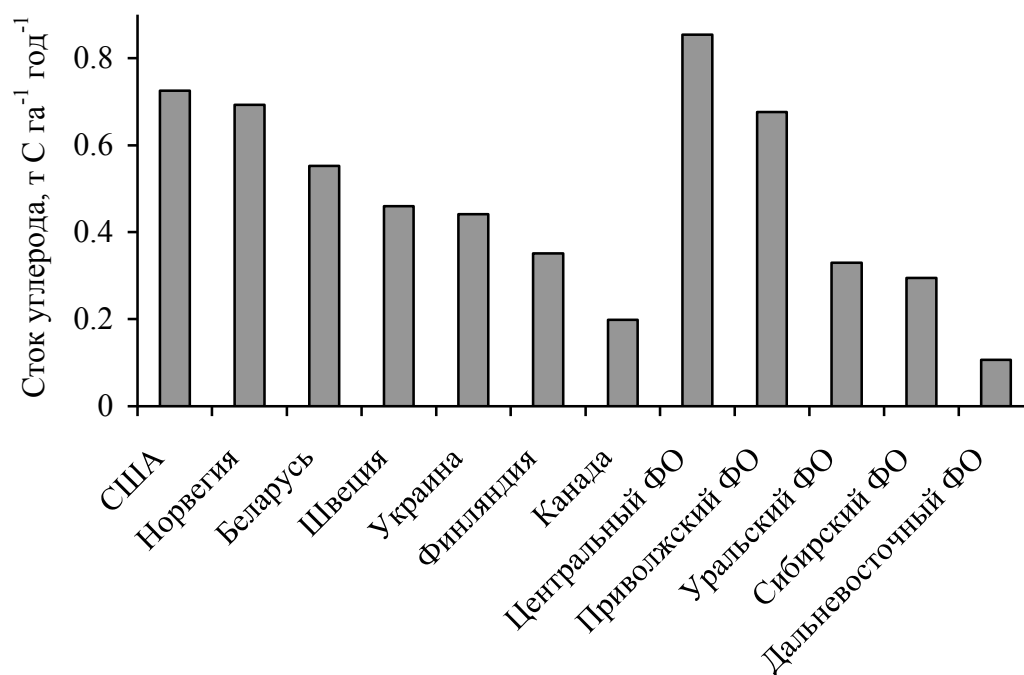


Рисунок 7. Сравнение средних величин стока углерода в леса ряда развитых стран согласно отчетности перед РКИК ООН и некоторых федеральных округов России

Во введении мы уже упоминали национальную дискуссию, связанную с учетом поглотительной способностью лесов в Парижском соглашении. Некоторые публикации в средствах массовой информации отмечали, что принятая в Национальном кадастре методика (то есть РОБУЛ) приводит к недооценке поглощения углерода лесами России, в итоге российские леса поглощают углерода меньше, чем зарубежные (Тихомирова, 2017). Однако, как показывают материалы настоящей статьи, российские леса разнообразны по параметрам углеродного цикла, что с очевидностью проявляется на уровне ФО. Сравним (рис. 7) средние на единицу площади величины стока углерода в леса ФО России и ряда развитых стран согласно их отчетности, предоставляемой в органы РКИК ООН (National Inventory Submissions, 2017). Среди всех сравниваемых территорий средний сток углерода максимален в лесах Центрального ФО ($0.85 \text{ т С га}^{-1} \text{ год}^{-1}$), далее примерно на одном уровне находятся леса США, Норвегии и Приволжского ФО ($0.68\text{-}0.72 \text{ т С га}^{-1} \text{ год}^{-1}$), затем Швеция, Украина и Беларусь ($0.44\text{-}0.55 \text{ т С га}^{-1} \text{ год}^{-1}$), Финляндия, Уральский и Сибирский ФО ($0.30\text{-}0.35 \text{ т С га}^{-1} \text{ год}^{-1}$), Канада и Дальневосточный ФО ($0.11\text{-}0.20 \text{ т С га}^{-1} \text{ год}^{-1}$). Приведенное сравнение

показывает, что основания для заключений о каком-либо занижении поглотительной способности российских лесов в сравнении с другими странами отсутствуют, а имеющиеся различия между зарубежными странами и федеральными округами России вполне объяснимы, если принять во внимание природные условия и историю управления лесами сравниваемых территорий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Леса федеральных округов Российской Федерации отличаются по способности к поглощению атмосферного углерода, что связано с природно-климатическими характеристиками (на севере леса растут медленнее и меньше поглощают углерода), особенностями защиты лесов от пожаров (в Азиатской части России пожарная охрана менее эффективна, потому больше потери углерода от пожаров) и биологическими свойствами древесных пород. Учет этих факторов необходим для достижения оптимального баланса между использованием лесов как поставщиков ценного сырья – древесины, и их применением в качестве поглотителя парниковых газов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 16–17–00123 “Научные основы учета и прогноза бюджета углерода лесов России в системе международных обязательств по охране атмосферы и климата” (разработка методического обеспечения) и темы госзадания ЦЭПЛ РАН № 0110-2014-0002 «Климатогенные и антропогенные модификации биосферных функций бореальных лесов и арктических экосистем России» (анализ данных).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бобкова К.С., Галенко Э.П., Тужилкина В.В., Осипов А.Ф., Кузнецов М.А. Роль бореальных лесов Европейского Севера России в регулировании углеродного баланса северного полушария // Управленческие аспекты развития северных территорий России. Материалы Всероссийской научной конференции (с международным участием). Сыктывкар: ГОУ ВО КРАГСиУ, 2015. Ч. 3. С. 36-41.

Ваганов Е.А., Ведрова Э.Ф., Верховец С.В., Ефремов С.П., Ефремова Т.Т., Круглов В.Б., Онучин А.А., Сухинин А.И., Шибистова О.Б. Леса и болота Сибири в глобальном цикле углерода // Сибирский экологический журнал. 2005. Т. 12. № 4. С. 631-650.

Ведрова Э.Ф. Биогенные потоки углерода в бореальных лесах Центральной Сибири // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. 2011. № 1. С. 77-89.

Замолодчиков Д.Г. Оценка пула углерода крупных древесных остатков в лесах России с учетом влияния пожаров и рубок // Лесоведение. 2009. № 4. С. 3-15.

Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Коровин Г.Н., Гитарский М.Л., Блинов В.Г., Дмитриев В.В., Курц В.А. Бюджет углерода управляемых лесов Российской Федерации в 1990-2050 гг.: ретроспективная оценка и прогноз // Метеорология и гидрология. 2013а. № 10. С. 73-92.

Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Краев Г.Н. Динамика бюджета углерода лесов России за два последних десятилетия // Лесоведение. 2011. № 6. С. 16-28.

Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Шуляк П.П., Честных О.В. Влияние пожаров и заготовок древесины на углеродный баланс лесов России // Лесоведение. 2013б. № 5. С. 36-49.

Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Шуляк П.П., Честных О.В. Современное сокращение стока углерода в леса России // Доклады Академии наук. 2017. Т. 476. № 6. С. 719-721.

Замолодчиков Д.Г., Иванов А.В. Запасы и потоки углерода в лесах Уссурийского лесничества согласно оценке по системе РОБУЛ // Аграрный вестник Приморья. 2016. № 1. С. 12-15.

Замолодчиков Д.Г., Иванов А.В., Мудрак В.П. Запасы и потоки углерода на землях лесного фонда Приморского края при оценке по системе РОБУЛ // Аграрный вестник Приморья. 2018. № 2. С. 46-51.

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.

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.

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. М.: Центр экологической политики, 1995. 156 с.

Исаев А.С., Коровин Г.Н., Уткин А.И., Пряжников А.А., Замолодчиков Д.Г. Оценка запасов и годичного депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России // Лесоведение. 1993. № 5. С. 3-10.

Лесной кодекс Российской Федерации. М.: Эксмо, 2007. 92 с.

Луян Е.А., Барталев С.А., Балашов И.В., Егоров В.А., Ершов Д.В., Кобец Д.А., Сенько К.С., Стыценко Ф.В., Сычугов И.Г. Спутниковый мониторинг лесных пожаров в 21 веке на

территории Российской Федерации (цифры и факты по данным детектирования активного горения) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 6. С. 158-175.

Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов не регулируемых Монреальским протоколом за 1990 – 2016 гг. Часть 1. Москва, 2018. 470 с.

Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 8 октября 2015 г. № 426 «О внесении изменений в Правила тушения лесных пожаров, утвержденные приказом Минприроды России от 8 июля 2014 г. № 313».

Руководящие указания по эффективной практике для землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства. Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов. МГЭИК, 2003.

Сафонов Г.В., Стеценко А.В., Шишин М. Ю. Лес и изменение климата: региональная стратегия адаптации (на примере Алтая). М.: ТЕИС, 2016. 68 с.

Сопига В.А., Богословская О.А. Депонирование углерода в фитомассе лесного покрова Республики Коми // Актуальные проблемы современной науки. 2011. № 2(58). С. 176-178.

Тихомирова Я. Чем российские леса хуже зарубежных // Газета.ru. 08.08.2017
URL:https://www.gazeta.ru/science/2017/08/07_a_10822279.shtml (дата обращения 31.08.18).

Тулохонов А.К., Пунцукова С.Д., Скулкина Н.А., Кузнецов Ю.А. Вклад лесов Бурятии в баланс стока и эмиссии углерода // География и природные ресурсы. 2006. № 2. С. 41-48.

Усольцев В.А., Барановских Е.В., Малеев К.И. Депонирование углерода в фитомассе лесного покрова Пермского края // Актуальные проблемы лесного комплекса. Вып. 21. Брянск: БГИТА, 2008. С. 336-139.

Усольцев В.А., Залесов С.В. Депонирование углерода в насаждениях некоторых экотонных и на лесопокрытых площадях Уральского федерального округа. Екатеринбург: УГЛТУ, 2005. 223 с.

Усольцев В.А., Терехов Г.Г., Канунникова О.В. Депонирование углерода лесами Уральского федерального округа // Сибирский экологический журнал. 2008. Т. 15. № 3. С. 371-380.

Усольцев, В.А., Сопига В.А., Залесов С.В., Богословская О.А. Определение и картирование годичного депонирования углерода на лесопокрытых площадях Уральского федерального округа // Леса Урала и хозяйство в них. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т. 2006. Вып. 27. С. 230-257.

Уткин А.И., Замолодчиков Д.Г., Честных О.В., Коровин Г.Н., Зукерт Н.В. Леса России как резервуар органического углерода биосферы // Лесоведение. 2001. № 5. С. 8-23.

Федоров Б.Г., Моисеев Б.Н., Синяк Ю.В. Поглощающая способность лесов России и выбросы углекислого газа энергетическими объектами // Проблемы прогнозирования. 2011. № 3. С. 127-142.

Филипчук А.Н., Моисеев Б.Н., Мальшева Н.В. Новые аспекты оценки поглощения парниковых газов лесами России в контексте Парижского соглашения об изменении климата // Лесохозяйственная информация. 2017. № 1. С. 88-98.

Филипчук А.Н., Мальшева Н.В., Моисеев Б.Н., Страхов В.В. Аналитический обзор методик учёта выбросов и поглощения лесами парниковых газов из атмосферы // Лесохозяйственная информация. 2016. № 3. С. 36-85.

Честных О.В., Замолотчиков Д.Г., Уткин А.И., Коровин Г.Н. Распределение запасов органического углерода в почвах лесов России // Лесоведение. 1999. № 2. С. 13-21.

Честных О.В., Замолотчиков Д.Г., Уткин А.И. Общие запасы биологического углерода и азота в почвах лесного фонда России // Лесоведение. 2004. № 4. С. 30-42.

Честных О.В., Лыжин В.А., Кокишарова А.В. Запасы углерода в подстилках лесов России // Лесоведение. 2007. № 6. С. 114-121.

Швиденко А.З., Щепаченко Д.Г. Климатические изменения и лесные пожары в России // Лесоведение. 2013. № 5. С. 50-61.

Швиденко А.З., Щепаченко Д.Г. Углеродный бюджет лесов России // Сибирский лесной журнал. 2014. № 1. С. 69-92.

Dolman A.J., Shvidenko A., Schepaschenko D., Ciais P., Tchepakova N., Chen T., van der Molen M. K., Beletti Marchesini L., Maximov T.C., Maksyutov S., Schulze E.-D. An estimate of the terrestrial carbon budget of Russia using inventory-based, eddy covariance and inversion method // Biogeosciences. 2012. V. 9. P. 5323–5340.

National Inventory Submissions 2017 URL: <https://unfccc.int/process/transparency-and-reporting/reporting-and-review-under-the-convention/greenhouse-gas-inventories-annex-i-parties/submissions/national-inventory-submissions-2017> (дата обращения 31.08.18).

Soja A.J., Sukhinin A., Cahoon Jr. D.R., Shugart H.H., Stackhous Jr. P.W. AVHRR-derived fire frequency, distribution, and area burned in Siberia // International Journal of Remote Sensing. 2004. Vol. 25. P. 1939-1951.

REFERENCES

Bobkova K.S., Galenko E.P., Tuzhilina V.V., Osipov A.F., Kuznetsov M.A. Rol' boreal'nykh lesov Evropeiskogo Severa Rossii v regulirovanii uglerodnogo balansa severnogo polushariya (Significance of the boreal forests of the European North of Russia in regulation of carbon balance of the northern hemisphere), *Administrative aspects of development of northern*

territories of Russia. Proceedings of the All-Russian scientific conference (with the international participation). Syktyvkar: GOU VO KRAGSiU, 2015, part 3, pp. 36-41.

Chestnykh O.V., Zamolodchikov D.G., Utkin A.I., Korovin G.N. Raspredelenie zapasov organicheskogo ugleroda v pochvakh lesov Rossii (Distribution of reserves of organic carbon in soils of the forests of Russia), *Lesovedenie*, 1999, No 2, pp. 13-21.

Chestnykh O.V., Zamolodchikov D.G., Utkin A.I. Obshchie zapasy biologicheskogo ugleroda i azota v pochvakh lesnogo fonda Rossii (The general reserves of biological carbon and nitrogen in soils of forest fund of Russia), *Lesovedenie*, 2004, No 4, pp. 30-42.

Chestnykh O.V., Lyzhin V.A., Koksharova A.V. Zapasy ugleroda v podstilkakh lesov Rossii (Carbon reserves in litter of the woods of Russia), *Lesovedenie*, 2007, No 6, pp. 114-121.

Dolman A.J., Shvidenko A., Schepaschenko D., Ciais P., Tchebakova N., Chen T., van der Molen M. K., Belelli Marchesini L., Maximov T.C., Maksyutov S., Schulze E.-D. An estimate of the terrestrial carbon budget of Russia using inventory-based, eddy covariance and inversion method, *Biogeosciences*. 2012. V. 9. P. 5323–5340.

Fedorov B.G., Moiseev B.N., Sinyak Yu.V. Pogloshchayushchaya sposobnost' lesov Rossii i vybrosy uglekislogo gaza energeticheskimi ob"ektami (The absorbing ability of the forests of Russia and emissions of carbon dioxide by power objects), *Problemy prognozirovaniya*, 2011, No 3, pp. 127-142.

Filipchuk A.N., Moiseev B.N., Malysheva N.V. Novye aspekty otsenki pogloshcheniya parnikovykh gazov lesami Rossii v kontekste Parizhskogo soglasheniya ob izmenenii klimata (New aspects of assessment of absorption of greenhouse gases the Russian forests in the context of the Paris agreement on climate change), *Lesokhozyaistvennaya informatsiya*, 2017, No 1, pp. 88-98.

Filipchuk A.N., Malysheva N.V., Moiseev B.N., Strakhov V.V. Analiticheskii obzor metodik ucheta vybrosov i pogloshcheniya lesami parnikovykh gazov iz atmosfery (The analytical review of techniques of accounting of emissions and absorption by the forests of greenhouse gases from the atmosphere), *Lesokhozyaistvennaya informatsiya*, 2016, No 3, pp. 36-85.

Isaev A.S., Korovin G.N., Sukhikh V.I., Titov S.P., Utkin A.I., Golub A.A., Zamolodchikov D.G., Pryazhnikov A.A. *Ekologicheskie problemy pogloshcheniya uglekislogo gaza posredstvom lesovosstanovleniya i lesorazvedeniya v Rossii* (Ecological problems of absorption of carbon dioxide by means of reforestation and afforestation in Russia.), M.: Tsentr ekologicheskoi politiki, 1995, 156 p.

Isaev A.S., Korovin G.N., Utkin A.I., Pryazhnikov A.A., Zamolodchikov D.G. Otsenka zapasov i godichnogo deponirovaniya ugleroda v fitomasse lesnykh ekosistem Rossii (Estimation of stocks and annual sequestration of carbon in the phytomass of forest ecosystems of Russia), *Lesovedenie*, 1993, No 5, pp. 3-10.

Lesnoi kodeks Rossiiskoi Federatsii (Forest code of the Russian Federation), M.: Eksmo, 2007, 92 p.

Lupyan E.A., Bartalev S.A., Balashov I.V., Egorov V.A., Ershov D.V., Kobets D.A., Sen'ko K.S., Stytsenko F.V., Sychugov I.G. Sputnikovyi monitoring lesnykh pozharov v 21 veke na territorii Rossiiskoi Federatsii (tsifry i fakty po dannym detektirovaniya aktivnogo goreniya) . Satellite monitoring of wildfires in the 21st century in the territory of the Russian Federation (figures and the facts according to detecting of active burning), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2017, Vol. 14, No 6, pp. 158-175.

National Inventory Submissions 2017, available at: <https://unfccc.int/process/transparency-and-reporting/reporting-and-review-under-the-convention/greenhouse-gas-inventories-annex-i-parties/submissions/national-inventory-submissions-2017>, (2018, 31 August).

Natsional'nyi doklad o kadastre antropogennykh vybrosov iz istochnikov i absorptsii poglotitelyami parnikovyykh gazov ne reguliruemyykh Monreal'skim protokolom za 1990 – 2016 gg (The national report on the inventory of anthropogenic emissions from sources and absorption by sinks of the greenhouse gases which aren't regulated by the Montreal protocol for 1990 – 2016). Part 1, Moscow, 2018, 470 p.

Prikaz Ministerstva prirodnyykh resursov i ekologii RF ot 8 oktyabrya 2015 g. No 426 «O vnesenii izmenenii v Pravila tusheniya lesnykh pozharov, utverzhdennyye prikazom Minprirody Rossii ot 8 iyulya 2014 g. No 313». The order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation of October 8, 2015 No. 426 "About modification of the Rules of suppression of wildfires approved by the order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation of July 8, 2014 No. 313.

Rukovodyashchie ukazaniya po effektivnoi praktike dlya zemlepol'zovaniya, izmenenii v zemlepol'zovanii i lesnogo khozyaistva (Good practice Guidance for land use, land use change and forestry, Programma MGEIK po natsional'nykh kadastram parnikovyykh gazov. MGEIK, 2003.

Safonov G.V., Stetsenko A.V., Shishin M. Yu. *Les i izmenenie klimata: regional'naya strategiya adaptatsii (na primere Altaya)* (Forest and climate change: the regional strategy of adaptation (on the example of Altai)). M.: TEIS, 2016, 68 p.

Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G. Klimaticheskie izmeneniya i lesnye pozhary v Rossii (Climatic changes and forest fires in Russia), *Lesovedenie*, 2013, No 5, pp. 50-61.

Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G. Uglerodnyi byudzhets lesov Rossii (Carbon budget of the woods of Russia), *Sibirskii lesnoi zhurnal*, 2014, No 1, pp. 69-92.

Soja A.J., Sukhinin A., Cahoon Jr. D.R., Shugart H.H., Stackhous Jr. P.W. AVHRR-derived fire frequency, distribution, and area burned in Siberia, *International Journal of Remote Sensing*. 2004. V. 25. P. 1939-1951.

Sopiga V.A., Bogoslovskaya O.A. Deponirovanie ugleroda v fitomasse lesnogo pokrova Respubliki Komi (Carbon deposition in the phytomass of a forest cover of the Komi Republic), *Aktual'nye problemy sovremennoi nauki*, 2011, No 2 (58), pp. 176-178.

Tikhomirova Ya. Chem rossiiskie lesa khuzhe zarubezhnykh (Than the Russian forests is worse foreign), *Gazeta.ru*, 08.08.2017, available at: https://www.gazeta.ru/science/2017/08/07_a_10822279.shtml (2018, 31 August).

Tulokhonov A.K., Puntsukova S.D., Skulkina N.A., Kuznetsov Yu.A. Vklad lesov Buryatii v balans stoka i emissii ugleroda (Input of the forests of Buryatia in balance of a sink and emission of carbon), *Geografiya i prirodnye resursy*, 2006, No 2, pp. 41-48.

Usol'tsev V.A., Baranovskikh E.V., Maleev K.I. Deponirovanie ugleroda v fitomasse lesnogo pokrova Permskogo kraja (Carbon deposition in the phytomass of a forest cover of Perm Krai), *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*, Vol. 21, Bryansk: BGITA, 2008, pp. 336-139.

Usol'tsev V.A., Zalesov S.V. *Deponirovanie ugleroda v nasazhdeniyakh nekotorykh ekotonov i na lesopokrytykh ploshchadyakh Ural'skogo federal'nogo okruga* (Carbon deposition in stands of some ecotones and on the forested areas of the Ural Federal District.), Ekaterinburg: UGLTU, 2005, 223 p.

Usol'tsev V.A., Terekhov G.G., Kanunnikova O.V. Deponirovanie ugleroda lesami Ural'skogo federal'nogo okruga (Carbon deponition by the forests of the Ural Federal District), *Sibirskii ekologicheskii zhurnal*, 2008, Vol. 15, No 3, pp. 371-380.

Usol'tsev, V.A., Sopiga V.A., Zalesov S.V., Bogoslovskaya O.A. Opredelenie i kartirovanie godichnogo deponirovaniya ugleroda na lesopokrytykh ploshchadyakh Ural'skogo federal'nogo okruga (Determination and mapping of annual carbon deposition on the forested areas of the Ural Federal District), *Lesa Urala i khozyaistvo v nikh*, Ekaterinburg: Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2006, Vol. 27, pp. 230-257.

Utkin A.I., Zamolodchikov D.G., Chestnykh O.V., Korovin G.N., Zukert N.V. Lesa Rossii kak rezervuar organicheskogo ugleroda biosfery (Forests of Russia as reservoir of organic carbon of the biosphere), *Lesovedenie*, 2001, No 5, pp. 8-23.

Vaganov E.A., Vedrova E.F., Verkhovets S.V., Efremov S.P., Efremova T.T., Kruglov V.B., Onuchin A.A., Sukhinin A.I., Shibistova O.B. Lesa i bolota Sibiri v global'nom tsikle ugleroda (The forests and swamps of Siberia in a global cycle of carbon), *Sibirskii ekologicheskii zhurnal*, 2005, Vol. 12, No 4, pp. 631-650.

Vedrova E.F. Biogennye potoki ugleroda v boreal'nykh lesakh Tsentral'noi Sibiri (Biognig fluxes of carbon in the boreal forests of the Central Siberia), *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya biologicheskaya*, 2011, No 1, pp. 77-89.

Zamolodchikov D.G. Otsenka pula ugleroda krupnykh drevesnykh ostatkov v lesakh Rossii s uchetom vliyaniya pozharov i rubok (Assessment of a pool of carbon of the coarse woody debris in the forests of Russia taking into account influence of the fires and fellings), *Lesovedenie*, 2009, No 4, pp. 3-15.

Zamolodchikov D.G., Grabovskii V.I., Korovin G.N., Gitarskii M.L., Blinov V.G., Dmitriev V.V., Kurts V.A. Byudzheta ugleroda upravlyaemykh lesov Rossiiskoi Federatsii v 1990-2050 gg.: retrospektivnaya otsenka i prognoz (The budget of carbon of the managed forests of the Russian Federation in 1990-2050: retrospective assessment and projection), *Meteorologiya i gidrologiya*, 2013a, No 10, pp. 73-92.

Zamolodchikov D.G., Grabovskii V.I., Kraev G.N. Dinamika byudzheta ugleroda lesov Rossii za dva poslednykh desyatiletiiya (Dynamics of the carbon budget of the forests of Russia in two last decades), *Lesovedenie*, 2011, No 6, pp. 16-28.

Zamolodchikov D.G., Grabovskii V.I., Shulyak P.P., Chestnykh O.V. Vliyanie pozharov i zagotovok drevesiny na uglerodnyi balans lesov Rossii (Influence of the fires and fellings on carbon balance of the forests of Russia), *Lesovedenie*, 2013b, No 5, pp. 36-49.

Zamolodchikov D.G., Grabovskii V.I., Shulyak P.P., Chestnykh O.V. Sovremennoe sokrashchenie stoka ugleroda v lesa Rossii (Modern reduction of carbon sink to Russian forests), *Doklady Akademii nauk*, 2017, Vol. 476, No 6, pp. 719-721.

Zamolodchikov D.G., Ivanov A.V. Zapasy i potoki ugleroda v lesakh Ussuriiskogo lesnichestva soglasno otsenke po sisteme ROBUL (Stocks and flows of carbon in the forests of the Ussuriysk forest unit according to assessment on the ROBUL system), *Agrarnyi vestnik Primor'ya*, 2016, No 1, pp. 12-15.

Zamolodchikov D.G., Ivanov A.V., Mudrak V.P. Zapasy i potoki ugleroda na zemlyakh lesnogo fonda Primorskogo kraja pri otsenke po sisteme ROBUL (Stocks and flows of carbon on lands of forest fund of Primorsky Krai at assessment on the ROBUL system), *Agrarnyi vestnik Primor'ya*, 2018, No 2, pp. 46-51.

Zamolodchikov D.G., Korovin G.N., Utkin A.I., Chestnykh O.V., Songen B. *Uglerod v lesnom fonde i sel'skokhozyaistvennykh ugod'yakh Rossii* (Carbon in forest fund and agricultural lands of Russia), Moscow: KMK, 2005, 200 p.

Zamolodchikov D.G., Utkin A.I., Chestnykh O.V. Koeffitsienty konversii zapasov nasazhdenii v fitomassu osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod Rossii (Coefficients of conversion of growing stocks in the phytomass of the main tree species of Russia), *Lesnaya taksatsiya i lesoustroistvo*, 2003, Issue 1(32), pp. 119-127.

Dynamics of the carbon budget of forests of federal districts of Russian Federation

D.G. Zamolodchikov^{1,2}, V.I. Grabowsky¹, O.V. Chestnykh^{1,2}

¹Center for Forest Ecology and Productivity of the RAS

Profsoyuznaya st. 84/32 bldg. 14, Moscow, 117997, Russia

Lomonosov Moscow State University

Leninskie Gory 1 bldg. 12, Moscow, 119991, Russia

Received 04 September 2018

The calculations of forest carbon budget of federal districts (FD) of Russia is performed using data of State forest registry and archive materials of state forest fund accounts. Total carbon reserves on forested lands of Russia at 01.01.2015 were 123.77 ± 18.93 Gt C. The input to national forest carbon reserves were maximal in Siberian (36.4%) and Far East (35.2) FD. The next were North-West (11.3%), Ural (9.3%), Volga (4.4%), Central (2.8%), North-Caucasian (0.3%) and South (0.2%) FD. Inputs to national forest carbon sink (206.10 ± 66.86 Mt C year⁻¹) were by FD: Siberian 39.3%, Far East 15.1%, North-West 12.4%, Volga 12.1%, Ural 11.0%, Central 8.8%. Two groups of FD can be selected based on average carbon sink value: 1) with range 0.64-0.85 t C ha⁻¹ year⁻¹ (Central, South, North-Caucasian, Volga), 2) with range 0.11-0.33 t C ha⁻¹ year⁻¹ (North-West, Ural, Siberian, Far East). Carbon sink to forest of all FD was minimal in 1988-1993. The decrease of carbon losses with felling in 1993-2000 led to increase of carbon sink in majority of FD. FD can be subdivided by value of carbon sink increase on 2 groups: 1) with considerable increase (more then 86%) including North-West, Ural, Siberian, Far East; 2) with moderate increase (4-46%) including Central, South, North-Caucasian, Volga.

Key words: *Federal districts, forests, carbon pool, carbon absorption, carbon balance, phytomass, dead wood, litter, soil, forest fires, felling*

Рецензент: д.г.н. профессор Алексеев А.С.