

ЛЕСА РОССИИ КАК РЕЗЕРВУАР ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА БИОСФЕРЫ*

© 2001 г. А. И. Уткин^{1,2}, Д. Г. Замолотчиков², О. В. Честных², Г. Н. Коровин², Н. В. Зукерт²

¹ Институт лесоведения РАН

143030 Успенское, Одинцовский р-н, Московская обл. E-mail: autkin@cepl.rssi.ru

² Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН

117418, Москва, ул. Новочеремушкинская, 69. E-mail: korovin@cepl.rssi.ru

Поступила в редакцию 12.03.2001 г.

Приводятся оценки запасов углерода в фитомассе и почвах в следующих аспектах: географическом (по макрорегионам и зональным полосам-“подзонам”); для разных категорий земель лесного фонда; по группам возраста; группам лесообразующих пород; для 5 наиболее распространенных древесных пород. Уточнены величины конверсионных отношений, используемых при определении фитомассы фракций древостоев разных пород по запасам древесины. Обсуждается место лесов России как хранилища органического углерода биосферы в Северной Евразии.

Углерод фитомассы, $C_{\text{phytomass}}$, почвы, C_{soil} , земли лесного фонда, леса, группы лесообразующих пород, группы возраста насаждений, конверсионные отношения.

На рубеже XXI в. человечество столкнулось с проблемой начала глобального потепления климата, объясняемого тепловым эффектом из-за увеличения в атмосфере парниковых газов. Считается, что последнее обязано сжиганию в прогрессирующих масштабах углеводородного топлива и увеличению объемов производства цемента. Среди парниковых газов первостепенная роль отводится диоксиду углерода (CO_2), который ассимилируется зелеными растениями при фотосинтезе с поглощением солнечной энергии и образованием комплекса сложных органических соединений при компенсаторном выделении кислорода в атмосферу. До недавнего времени потоки углерода в системе атмосфера-биосферных связей беспрепятственно регулировались растительным покровом. Тем более что реальный фотосинтез во многих природных зонах протекал и сейчас протекает при температурах и содержании CO_2 , находящихся на уровнях ниже оптимальных. Но трансформация близкой к природной структуры растительного покрова из-за пожаров, рубок леса, эрозионных процессов на пастбищах и пахотных землях, а также отчуждение естественных земель под разные виды строительства ослабили механизмы регулирования потоков углерода в биосфере и размеры секвестра атмосферного CO_2 биотой.

В поисках путей снижения концентраций парниковых газов в атмосфере внимание было обращено на функциональную роль растительности.

В первую очередь на леса, отличающиеся высокой организованностью, возобновляемостью, сравнительно длительными периодами удержания углерода как в телах самих деревьев, так и в сравнительно медленно разлагающемся детрите (валеж, лесная подстилка, почвенный гумус). В еще большей мере консервация углерода отмерших растений свойственна болотам, которые в Северной Евразии тесно связаны с лесными ландшафтами. По сравнению с лесами на болотах период сохранности углерода в детритной форме на три-пять порядков больше, поскольку почти вся торфяная толща болотных массивов, как правило, постоянно находится в затопленном состоянии при вялотекущих процессах разложения растительных остатков в анаэробных условиях.

Рамочная Конвенция ООН по глобальным изменениям климата в 1992 г. [12] и Протокол Киото (1997 г.) [40] потребовали нового отношения к лесам планеты. Их функциональная роль в биосфере из сугубо экологического направления получила высокий общественный рейтинг, стала предметом внимания при обсуждениях ряда экономических проблем и решении некоторых политических вопросов. Приоритетное значение в аспекте углеродного цикла закрепилось за таежными (бореальными) лесами [35], основные площади которых сосредоточены в России и Канаде (соответственно 60 и 30% от общей площади тайги Евразии и Северной Америки [36]).

Следуя Протоколу Киото [40], многие малолесные государства определили на национальном уровне как запасы углерода в лесах, так и размеры годичного секвестра ими CO_2 из атмосферы.

* Исследование поддерживалось ФЦНТПР № 16: подпрограмма “Глобальные изменения природной среды и климата”, грантами РФФИ (97-04-48005, 00-04-48036).

Секвестрация CO_2 , противопоставляемая оценке годичных выбросов парниковых газов промышленностью и транспортом, дает основание ранжировать государства по их вкладу в защиту климата. В отличие от динамики антропогенной эмиссии парниковых газов [1] аргументированные определения секвестра атмосферного CO_2 лесами России пока что отсутствуют. Экспертные же оценки [37], на наш взгляд, занижают вклад лесного покрова, как и других наземных экосистем Российской Федерации, в глобальный сток углерода. Последнее нашло отражение и в материалах ФАО [36].

Углеродный цикл лесов России заслуживает поэтому самостоятельного и детального обсуждения, причем отнюдь не в общем пакете с другими, не относящимися к государственному лесному фонду (ГЛФ) категориями земель и типами угодий, как, например, в [33]. Первоочередными задачами для России представляется получение корректных оценок продуктивности их лесов в понятиях “чистой первичной продукции” (*NPP*), “чистой экосистемной продукции” (*NEP*), “чистой биомной продукции” (*NBP*). К тому же по возможности на основе уже имеющихся определений запасов фитомассы (углерода). Впрочем, заслуживают дополнительного обсуждения и запасы отдельных пулов углерода (фитомассы и детрита или некромассы с дальнейшей их классификацией) в ГЛФ, как и методы их получения. Количественные оценки отдельных элементов продуктивности, представленных макропотоками углерода в качестве балансовых статей важны, но недостаточны. Например, такие макропотоки, как годичная продукция, годичное отмирание фитомассы и ряд других требуют раскрытия путей их формирования, с разделением их на более мелкие, связанные с автономными процессами (опад, отпад, выщелачивание и др.) потоки.

Сложность проблемы углеродного цикла лесного покрова российской Евразии обусловлена многими факторами: 1) размещением лесов на площадях, сильно дифференцированных по климату, рельефу, почвам, динамике геоморфологических процессов и т. д.; 2) значительным распространением болот в лесной зоне (около 12% от общей площади земель ГЛФ), что определяет разнообразие гидрологического цикла и обособление отложений торфа как особого, отличного от других наземных экосистем пула углерода; 3) формированием лесного покрова большим числом видов деревьев и кустарников из числа доминантов растительных сообществ (около 60 ботанических видов и частично родов, из которых более 25 в ГЛФ относятся к основным); 4) абсолютным преобладанием естественных лесов, отличающихся многообразием форм по составу и возрастной структуре, типам сукцессий, преимущественно антропогенных (лесные пожары, рубки; в историческое время – сведение и расчистка участков леса под пашню и пастбища); 5) большой долей (42% по площади и 54% по запасу древесины) насаждений в возрасте 80–100 лет и старше, которым свойственны ослаблен-

ные продукционные процессы; 6) неодинаковыми требованиями к сбору исходной информации при инвентаризации и устройстве лесов в районах, различающихся по экономическим условиям; 7) отсутствием для большей части районов России среднemasштабных карт лесов, растительности и почв; 8) фактическим игнорированием до недавнего времени бывшим Рослесхозом вопросов инвентаризации фитомассы (биомассы растений) и углерода на территории ГЛФ, хотя такая информация ныне стала включаться в отчетность ФАО [36].

Углеродный цикл в системе атмосферно-биосферных связей – многоаспектное научное направление может разрабатываться и анализироваться различными специалистами для решения конкретных задач и по самостоятельным целевым программам. Для лесов и других наземных биомов России обнародовано более 25 оценок запасов углерода в фитомассе ($C_{\text{phytomass}}$), около десятка оценок запасов почвенного углерода (C_{soil}), примерно столько же определений годичной продукции (*NPP* и *NEP*). Все эти оценки получены, как правило, разными методами и нуждаются в критическом рассмотрении и сравнительном анализе, желательно на рабочем совещании исполнителей работ и других заинтересованных лиц.

Цель предлагаемой статьи: 1) изложить хотя бы в тезисной форме, во-первых, концепцию углеродного бюджета лесов и других категорий земель лесного фонда с лесоинвентаризационных позиций, руководствуясь материалами государственного учета лесного фонда (ГУЛФ); 2) оценить лесной фонд РФ по запасам углерода с разделением на пулы фитомассы ($C_{\text{phytomass}}$), почв (C_{soil}) и обоих пулов вместе (C_{total}); 3) показать по материалам ГУЛФ географическую изменчивость пулов углерода как в провинциальном представлении (с запада на восток), так и более подробно в зональном разрезе (меридиональном направлении) – по трем ландшафтными полосам; последние условно названы нами “подзонами”, хотя одна из них (“южная”) по содержанию намного шире; 4) предложить ряд характеристик (конверсионные отношения, плотность углеродных пулов и др.), отвечающих требованиям нормативов; 5) высказать некоторые соображения по количественному определению макропотоков углерода в лесах на основе ГУЛФ и имеющихся нормативов лесной таксации.

ИСХОДНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования углеродного цикла лесов по своему содержанию относятся к фундаментальным, но предназначены и для решения конкретных прикладных задач. Последнее не только накладывает определенные требования на программу исследований, но и выстраивает свой ряд приоритетов, определяющих концепцию целевого углеродного

бюджета лесов. Составными частями концепции мы склонны считать следующие положения.

1. основополагающей исходной для всех последующих расчетов базой необходимо признать материалы ГУЛФ – информационный продукт официальной отчетности на национальном и межгосударственном уровнях. Несмотря на несовершенство с экологических позиций ряда положений как в инструкциях по сбору информации, так и интеграции исходных материалов для справочников ГУЛФ, публикуемые в последних сведения должны быть абсолютно защищены от любых ревизий, волонтеристских и конъюнктурных попыток исправления, оставаясь вместе с тем открытыми для критики, направленной на улучшение системы инвентаризации лесов.

2. В настоящее время и, очевидно, еще долго материалы ГУЛФ для углеродного цикла лесов России будут оставаться и безальтернативными, ибо только они обеспечивают в масштабе страны и ее крупных регионов получение результатов достаточной прозрачности. Альтернативные же расчеты запасов и потоков углерода с использованием других методов (картографического, ГИС-технологий, включения в структуру ГЛФ результатов точечных экофизиологических исследований и т.д.) нужно считать сравнительными и дополнительными. Крупномасштабное использование альтернативных методик адекватно не обеспечено на уровне ГЛФ исходной информацией о биопродуктивности многих типов лесных экосистем России. Применение для этих целей дистанционных методов пока вряд ли возможно. Разработки этого направления во всем мире находятся на стадии поиска и, очевидно, еще длительное время будут ограничиваться ключевыми участками и сочетаться с большим объемом наземных работ.

3. Расчеты статей углеродного бюджета лесов РФ на первом этапе целесообразно вести дискретно, руководствуясь принятым в материалах ГУЛФ делением территории страны. При ступенчатой структуре территориального разделения ГЛФ (часть страны – экономический район – субъект федерации) оптимальным для наших целей будет четырехконтурная схема: для европейской России – 1. Европейско-Уральская часть полностью, для азиатской части по трем экономическим районам – 2. Западно-Сибирскому, 3. Восточно-Сибирскому, 4. Дальневосточному. Площадь лесных земель в этих макрорегионах варьирует в пределах $95\text{--}350 \times 10^6$ га, общая площадь земель лесного фонда – $151\text{--}504 \times 10^6$ га [14]. Они довольно хорошо вписываются в границы ботанико-географических провинций, если не считать равнинных центральных и западных районов Саха (Якутия), которые по природным условиям приближаются с Восточно-Сибирским макрорегионом.

4. Анализ зональных закономерностей углеродного цикла и прогноз его изменения при глобальном изменении климата требуют параллельных расчетов и для единиц зональной серии расчленения территории ГЛФ в пределах макрорегионов. Руководствуясь разработками А.Г. Исаченко [11,13], мы разделили земли ГЛФ на три ландшафтные полосы (“подзоны”): 1. Северную (включает лесотундру, северные редколесья и северную тайгу); 2. Среднюю (соответствует подзоне средней тайги); 3. Южную (включает южнотаежную подзону, хвойно-широколиственные и широколиственные леса, искусственные насаждения в аридных зонах). Проведению

границ между подзонами предшествовало разделение ГЛФ азиатской части на 59 экорегионов и совмещение их границ с границами лесохозяйственных предприятий. В Европейско-Уральском макрорегионе для расчетов использовали материалы ГУЛФ отдельно для всех 56 субъектов федерации; в спорных случаях леса республики или области полностью относили к той или иной подзоне по наибольшему долевному участию площадей в лесном фонде.

5. Материалы ГУЛФ обеспечивают определение пула $C_{\text{phytomass}}$ всех категорий земель. Причем для покрытых лесом земель расчеты конверсионным методом осуществляются с привлечением данных о площадях и запасах по лесобразующим породам и группам возраста их насаждений. Для не покрытых лесом и нелесных земель расчеты обычно ведутся площадным методом по средним значениям плотности $C_{\text{phytomass}}$. Аналогичный подход используется и для $C_{\text{phytomass}}$ нижних ярусов лесных насаждений, поскольку масса подполовых растений обычно слабо связана с запасами древостоев и больше зависит от сомкнутости полога.

6. Площадной метод на основе материалов ГУЛФ, на наш взгляд, более перспективен по сравнению с картографическим для определения пула C_{soil} всех без исключения категорий земель лесного фонда, ибо исключается предварительное вычисление площадей после сканирования контуров разных типов почв. Но для этого необходимы ориентированные на ГУЛФ базы данных по плотности C_{soil} для всех категорий земель, в том числе и насаждений по преобладающим породам [31, 32, 46].

7. В настоящее время представляется не реальным проведение широкомасштабных исследований по определению для главных типов лесных экосистем таких макропотоков углерода как *NPP*, *NEP*, *NBP*, отпад и опад. Получение характеристик этих макропотоков (опять-таки в системе материалов ГУЛФ) должно быть зависимым от определений запасов фитомассы по фракциям и пула $C_{\text{phytomass}}$ в целом. При поисках связей годичных макропотоков углерода с запасами фитомассы в первую очередь следует ориентироваться на привлечение нормативов лесной таксации (таблицы хода роста и др.). Информация о прямых определениях *NPP* и *NEP* очень малочисленна, *NPP* древостоев большей частью получена методом среднего модельного дерева, который систематически занижает результаты.

Исходными материалами для определения запасов $C_{\text{phytomass}}$ и C_{soil} служили три базы данных. Одна из них официальная, представленная обновляющимися через каждые 5 лет материалами ГУЛФ; последние бывают обнародованы в печатной форме до уровня субъектов РФ [14, 15] и, кроме того, существуют в компьютерном варианте, где доведены до уровня лесохозяйственных предприятий. Две другие базы данных – это созданные по литературным источникам и собственным исследованиям пакеты информационных материалов. Они касаются биологической продуктивности лесных экосистем с общей численностью почти 1500 участков [23] и запасов органического углерода почв для более чем 1000 разрезов [31]. Кроме того, привлекались сведения еще одной базы данных – по климату [7].

Материалы ГУЛФ изначально были ориентированы на ресурсно-лесозаготовительный комплекс и его экономическое обоснование. Информация, прямо относящаяся к лесоводству и экологии, либо оседала на самых низших уровнях интеграции (например, типы условий местопроизрастания и др.), либо вообще игнорировалась (классификация вырубок и гарей по запасам крупных древесных остатков – “coarse wood debris” (CWD) и “возрасту”, т.е. давности рубок и пожаров, количественные сведения о структуре зарослей кустарников и пр.).

Принятое в материалах ГУЛФ распределение площадей и запасов насаждений по группам возраста, продолжительность которых задается возрастом рубки, создает значительные трудности при описании и моделировании динамических процессов древостоев в масштабе физического и календарного времени. Распределение насаждений по классам возраста имеет ряд преимуществ по сравнению с распределением по группам возраста и при изучении углеродного цикла [28]. Отсутствие в пределах хотя бы групп возраста насаждений подчиненных им распределений площадей и древесных запасов по группам состава древостоев, классам бонитета и полноте – главный, пожалуй, среди прочих недостаток материалов ГУЛФ, привлекаемых для решения экологических задач [18]. Если класс бонитета и полнота в значительной мере сочетаются с запасами дре-

востоев, то все смешенные насаждения на конечной стадии интеграции материалов ГУЛФ трансформируются в чистые по составу какой-либо из основных лесообразующих пород. (В справочнике ФАО [35] появляется, правда, категория “смешанных лесов” для РФ).

В материалах ГУЛФ наиболее полно представлена информация о лесах, находившихся в подчинении бывшего Рослесхоза, для которых во многих публикациях часто и оценивались запасы $C_{\text{phytomass}}$ как общие для всех лесов РФ. Такой не совсем корректный подход нуждается в указаниях на площадь учета для конкретных результатов.

В составе ГЛФ помимо лесов бывшего Рослесхоза представлены и другие лесофондодержатели, часть лесов вообще находится вне ГЛФ. Оценки, получаемые для ГЛФ Рослесхоза, должны признаваться базовыми и для всех других лесов, при допущении общности распределения разных категорий земель и состава насаждений. В настоящей работе все первичные расчеты для лесов Рослесхоза выполнены по состоянию на 01.01.1993 г. [14] и признаются “нулевым вариантом”, т.е. равным 1.0. По отношению к этим данным, исходя из соотношения площади лесов на 01.01.1998 г. [16], получены следующие множители для корректировки на конечном этапе оценок $C_{\text{phytomass}}$ и C_{soil} по макрорегионам:

Категория земель	Регионы РФ в целом	Европейско-Уральская часть	Западная Сибирь	Восточная Сибирь	Дальний Восток
<i>Покрытая лесом площадь</i>					
Все леса	1.08	1.20	1.13	1.05	1.02
Весь ГЛФ	1.07	1.18	1.13	1.04	1.02
<i>Не покрытая лесом площадь</i>					
Все леса	1.03	1.17	1.16	1.03	1.01
Весь ГЛФ	1.02	1.13	1.15	1.02	1.01
<i>Нелесные земли</i>					
Все леса	1.07	1.06	1.02	1.08	1.01
Весь ГЛФ	1.07	1.04	1.02	1.07	1.01

Близкие величины аналогичных отношений свойственны и запасам древесины. Судя по корректировочным коэффициентам, наибольшего внимания при уточнении результатов заслуживают два макрорегиона – Европейско-Уральская часть и Западная Сибирь.

Иногда для получения конверсионных коэффициентов используется двухступенчатая схема расчетов [19]: для стволов – как обычно от объема (Ph/M , где Ph – фитомасса в $кг\ гa^{-1}$, M – запас стволовой древесины, $м^3\ гa^{-1}$), тогда как для ветвей, корней и ливствы – по отношениям их фитомассы к предварительно рассчитанной фитомассе

стволов. Усложнение расчетов здесь вряд ли целесообразно из-за трудностей сопоставления полученных коэффициентов с данными других авторов, включая нормативы ФАО [36].

Не привносят, на наш взгляд, ничего позитивного для уточнения конверсионных отношений попытки выразить запас многофакторными регрессиями от возраста, класса бонитета и полноты насаждений [20, 21, 33]. Два последних показателя представляют собой “видовую высоту”, тесно коррелируемую с запасами; возраст же древостоев как базовый признак агрегации материалов ГУЛФ учитывается либо с группами возраста, либо с за-

Таблица 1. Конверсионные отношения запаса углерода к запасу стволовой древесины для основных лесообразующих пород России и кедрового стланика (среднее значение \pm стандартная ошибка (SE) среднего)

Порода	Подзона	Конверсионные отношения, т С м ⁻³				Плотность углерода нижних ярусов, т С га ⁻¹
		молодняки	средне-возрастные	приспевающие	спелые и перестойные	
Сосна	Северная	0.460 \pm 0.057	0.345 \pm 0.012	0.367 \pm 0.023	0.330 \pm 0.012	3.33 \pm 0.50
	Средняя	0.393 \pm 0.039	0.321 \pm 0.009	0.356 \pm 0.026	0.322 \pm 0.014	4.46 \pm 0.26
	Южная	0.428 \pm 0.022	0.350 \pm 0.013	0.328 \pm 0.010	0.362 \pm 0.013	2.19 \pm 0.16
Ель	Северная	0.459 \pm 0.033	0.382 \pm 0.019	0.377 \pm 0.019	0.373 \pm 0.019	5.05 \pm 0.37
	Средняя	0.459 \pm 0.033	0.366 \pm 0.019	0.341 \pm 0.013	0.339 \pm 0.015	2.06 \pm 0.21
	Южная	0.601 \pm 0.114	0.366 \pm 0.037	0.349 \pm 0.019	0.355 \pm 0.011	1.73 \pm 0.25
Пихта		0.413 \pm 0.055	0.305 \pm 0.020	0.281 \pm 0.017	0.268 \pm 0.018	1.65 \pm 0.33
Лиственница	Северная	0.521 \pm 0.031	0.421 \pm 0.023	0.449 \pm 0.023	0.477 \pm 0.022	5.01 \pm 0.76
	Средняя	0.404 \pm 0.082	0.417 \pm 0.062	0.432 \pm 0.080	0.403 \pm 0.048	4.46 \pm 0.96
	Южная	0.390 \pm 0.043	0.370 \pm 0.056	0.397 \pm 0.056	0.397 \pm 0.049	2.46 \pm 0.58
Кедр		0.388 \pm 0.037	0.340 \pm 0.028	0.317 \pm 0.027	0.447 \pm 0.040	2.78 \pm 0.59
Дуб высокоствольный		0.613 \pm 0.068	0.489 \pm 0.030	0.418 \pm 0.040	0.477 \pm 0.060	3.94 \pm 0.64
Дуб низкоствольный		0.785 \pm 0.051	0.540 \pm 0.066	0.562 \pm 0.089	0.636 \pm 0.176	1.32 \pm 0.30
Прочие твердолиственные		0.621 \pm 0.099	0.476 \pm 0.029	0.387 \pm 0.039	0.436 \pm 0.030	0.87 \pm 0.25
Береза	Северная	0.456 \pm 0.079	0.408 \pm 0.059	0.406 \pm 0.052	0.420 \pm 0.044	3.63 \pm 0.57
	Средняя	0.456 \pm 0.079	0.434 \pm 0.037	0.381 \pm 0.026	0.368 \pm 0.022	2.05 \pm 0.39
	Южная	0.433 \pm 0.023	0.395 \pm 0.012	0.366 \pm 0.017	0.366 \pm 0.022	2.33 \pm 0.30
Осина, тополь		0.353 \pm 0.054	0.362 \pm 0.044	0.334 \pm 0.057	0.365 \pm 0.056	1.46 \pm 0.15
Прочие мягколиственные		0.380 \pm 0.038	0.336 \pm 0.023	0.333 \pm 0.026	0.337 \pm 0.016	3.76 \pm 1.54
Кедровый стланик		0.691 \pm 0.149	0.757 \pm 0.161	0.824 \pm 0.173	0.990 \pm 0.203	Нет данных

висимыми от него конверсионными отношениями [5]. Более полезным было бы уточнение числителя конверсионных отношений, т.е. массы древесных органов, из-за географической и возрастной изменчивости условной плотности древесины.

Пока лесной фонд в материалах ГУЛФ не будет агрегирован по ступеням: группа (класс) возраста – класс бонитета – группа полноты, многофакторные регрессии вряд ли станут востребованными при инвентаризации $S_{\text{phytomass}}$. Не имеет отношения к обсуждаемой проблеме и мнение [16], согласно которому при использовании конверсионных отношений фитомасса/запас фактическая оценка пула $S_{\text{phytomass}}$ должна быть меньше из-за систематического занижения древесных запасов в материалах ГУЛФ. Последние являются официальным источником и не допускают каких-либо коррекций. Скорее в случае уменьшения запасов стоит ожидать даже некоторого завышения результатов пула $S_{\text{phytomass}}$, поскольку экологическая информация обычно собиралась не репрезентативно, а в наиболее сформированных насаждениях.

Конверсионные отношения и плотность углерода нижних ярусов (табл. 1) рассчитаны по мате-

риалам базы данных “Биологическая продуктивность лесных экосистем” [23]. Лишь для кедрового стланика использовали автономно полученные коэффициенты [29, 30]. Конверсионные отношения основных древесных пород из числа наиболее представленных в лесном фонде России были дифференцированы нами до подзон. Имеются и пробелы, например, экосистемы каменной березы на Дальнем Востоке продолжают оставаться не изученными в биопродукционном отношении. Малочисленны сведения и для кедра сибирского и особенно корейского.

В отличие от использовавшихся нами ранее конверсионных отношений [39, табл. 1] при расчетах $S_{\text{phytomass}}$ в лесах Рослесхоза в целом [10, 39] и с учетом макрорегионов [9] представляемые сейчас отношения не только были сгруппированы по подзонам, но и подверглись для некоторых пород небольшой корректировке. Конверсионные отношения применимы не только к чистым по составу насаждениям, но и к смешанным с преобладанием конкретной лесообразующей породы. Судя по доверительным интервалам изменчивости множителей, при конверсии запасов ство-

ловой древесины в фитомассу (углерод), следует рекомендовать использование конверсионных отношений для достаточно больших площадей лесного фонда – от 3–5 тыс. га. Для площадей меньших размеров эффективнее будет реласкопическая таксация и использование уравнений связи между фитомассой и таксационными показателями насаждений [26], а при наличии перечетов древостоев на пробных площадях – по аллометрическим уравнениям для деревьев отдельных пород [25].

Материалы табл. 1 следует использовать для расчетов $C_{\text{phytomass}}$ насаждений, находящихся в облиственном состоянии. Коэффициенты для определения с учетом групп возраста насаждений фитомассы листьев и хвои (а также площади поверх-

ности ассимиляционного аппарата основных пород лесобразователей России) имеются в работе [24]. В припевающих насаждениях первые варьируют в пределах 0.023–0.040 для хвойных пород и 0.010–0.016 т м⁻³ для лиственных.

В справочниках ФАО [36] конверсионные отношения для общей надземной биомассы древесных органов (без хвои и листьев) приняты равными 0.54 т м⁻³ для всех хвойных пород России и 0.51 для всех лиственных; для фитомассы пней и корней – единый множитель (0.21 т м⁻³). Последний коэффициент кажется нам завышенным¹.

По нашим расчетам, конверсионные отношения углерод фракций/объем стволов выражаются следующими средними (\pm SE) величинами т С м⁻³:

	Стволы	Ветви	Пни и корни	Листья, хвоя	Надземная древесная	Общая древесная
Хвойные породы	0.254 \pm 0.012	0.032 \pm 0.003	0.078 \pm 0.015	0.014 \pm 0.002	0.285 \pm 0.015	0.363 \pm 0.015
Лиственные породы	0.267 \pm 0.016	0.041 \pm 0.008	0.083 \pm 0.014	0.010 \pm 0.002	0.308 \pm 0.025	0.391 \pm 0.020
Все породы вместе	0.256 \pm 0.012	0.038 \pm 0.004	0.079 \pm 0.015	0.015 \pm 0.002	0.290 \pm 0.016	0.369 \pm 0.015

Примечание. SE – стандартная ошибка среднего.

После удвоения полученных коэффициентов получаем, что по сравнению с коэффициентами ФАО наши показатели для древесной биомассы выше на 35% по хвойным и на 53% по лиственным породам, для пней и корней, напротив, на 25% ниже.

Компьютерная база данных “Биологическая продуктивность лесных экосистем” [23] создана по литературным источникам (около 750 наименований). Она объединяет информацию о почти 1500 лесных экосистем бывшего СССР, других государств Северной Евразии и отчасти Северной Америки, поскольку коэффициенты аллометрических регрессий для фитомассы деревьев одинаковых родов из Евразии и Северной Америки не имеют значительных различий [27, 38]. База данных представлена несколькими блоками: 1) местонахождение и природные условия; 2) структура древостоя и растительных сообществ; 3) фитомасса древостоя и подпологовых ярусов; 4) годичная продукция; 5) лесная подстилка и гумус почвенного слоя. Но не каждая экосистема охарактеризована в базе полностью по всем блокам. Основное предназначение базы данных – статистическое выявление связей между запасами древостоев, другими их таксационными показателями и фитомассой отдельных фракций, а также между запасами и первичной годичной продукцией [4], привлечение дополнительной информации о фитоценозах и почвах.

Компьютерная “База данных по органическому углероду почв” [31] сейчас объединяет сведения о более чем 1000 почвенных разрезах из 300 литературных источников. Она касается преимуще-

ственно лесных экосистем, в меньшей мере почв вырубок, гарей и нелесных земель ГЛФ. База данных использовалась для региональных расчетов по материалам ГУЛФ средних величин запасов C_{soil} на единицу площади [32]. Эти материалы хорошо согласуются со сведениями о плотности C_{soil} для лесов Канады [46] и Норвегии [48], где углерод определялся для органической и минеральной толщи профиля раздельно, а частично и по почвенным горизонтам.

Для характеристики биоклимата лесов России на зональной основе привлекались материалы компьютерной базы данных по климату, входящей как составная часть в эколого-климатическую информационную систему КРИС (Климат–Растительность–Информационная Система) [6, 7]. База содержит по 2930 метеорологическим станциям России средние многолетние метеоданные о температуре воздуха, осадках, составляющих радиационного баланса, режиме ФАР и некоторые другие параметры, выбранные из “Справочника по климату СССР”. Ее основное предназначение –

¹ Приводимым в работе [36; приложение 3В.1, с.165–166] значениям конверсионных отношений для лесов разных государств свойственны большие разбросы (например, 0.39; 0.52 и 0.09 для Бельгии, 0.68; 0.93 и 0.10 для США). Их трудно объяснить при однородных соответственно для хвойных, твердолиственных и мягколиственных пород значениях: плотности древесины, видовых высот, архитектуры крон, фракционного соотношения фитомассы. Между тем даже небольшие различия в величинах Rh/M существенно сказываются на интегральных оценках пула $C_{\text{phytomass}}$ и зависимых от него статей углеродного баланса, особенно для многолесных стран.

анализ пространственной изменчивости климатических условий на обширной территории России и влияние климата на распределение растительности и продукционные процессы лесных экосистем.

Методика работы сводилась к получению соответствующих множителей (предикторов) для определения $C_{\text{phytomass}}$ и C_{soil} в соответствии со структурой материалов ГУЛФ территорий отдельных экорегионов (59 шт.) в азиатской России и субъектов федерации (56 шт.) в Европейско-Уральской части. Компьютерные расчеты осуществлялись с использованием специально разработанного алгоритма [9]. На не покрытых лесом и нелесных землях расчеты $C_{\text{phytomass}}$ проводили по площади и средним значениям фитомассы. Такой же прием использован для $C_{\text{phytomass}}$ нижних ярусов лесных фитоценозов и для C_{soil} всех без исключения земель ГЛФ. На покрытых лесом землях для вычислений использовали из материалов ГУЛФ показатели как и площадей, так и запасов. Расчеты же вели по лесообразующим породам с дифференциацией на группы возраста насаждений, конвертируя объемные запасы древесины в фитомассу фракций по специальным множителям – *конверсионным отношениям*.

Последние представляют собой отношения массы фракций совокупности деревьев в древостое к объемному запасу стволовой древесины. Часто их называют отношениями фитомасса/запас (*Ph/M-ratio*) с размерностью плотности (кг м^{-3} или т м^{-3}). Но, строго говоря, в физическом смысле понятие “плотность” здесь корректно применимо лишь для фракций стволов, в том числе и отдельно для древесины и коры. Для всех же других фракций (ветви, корни, листья и хвоя) конверсионные отношения представляются как бы “переедресованными” на объем стволов категориями плотности.

В проблеме углеродного цикла лесов методика конверсионных отношений общепризнана и считается основной в государствах, площади и запасы насаждений которых приведены в известность и соответствующим образом классифицированы. В противном случае расчет ведется по площади лесных угодий. При всех других способах определения $C_{\text{phytomass}}$ лесов (например, картографическом, ГИС-технологий [33] и др.) метод *Ph/M-отношений* используется либо для предварительного определения средних для контуров значений плотности фитомассы (углерода), либо в качестве альтернативного для верификации результатов.

Средние статистические запасы C_{soil} (в т га^{-1}) для площадного способа учета всех категорий земель лесного фонда России, но без дифференциации насаждений по группам возраста опублико-

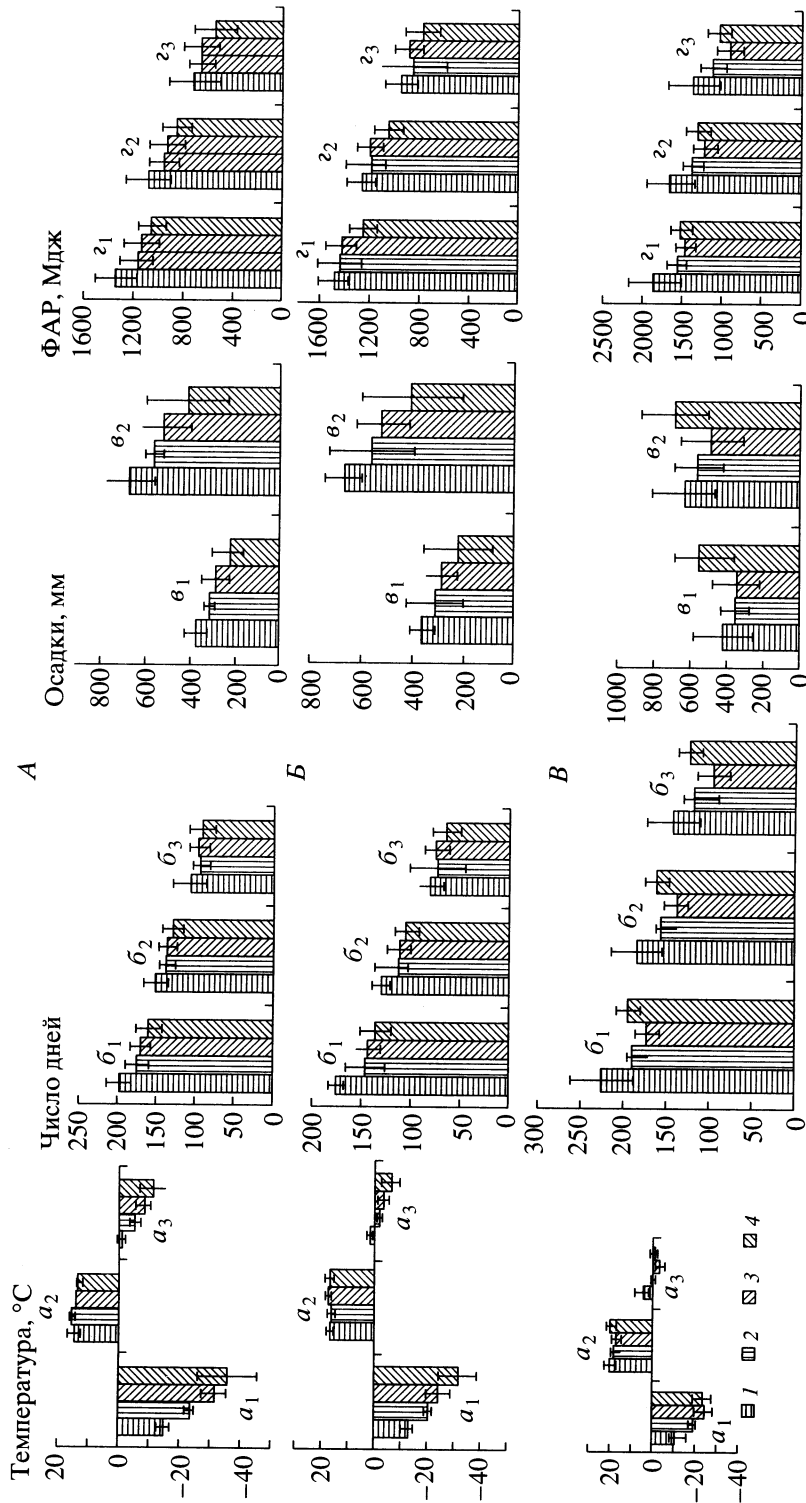
ваны в работе [32, табл.1], растений нижних ярусов – в настоящем сообщении (см. табл. 1).

Конверсия фитомассы в углерод осуществлялась нами по единым для всех пород-лесообразователей округленным множителям: 1 кг древесины и других древесных органов растений эквивалентен 0.50 кг С (согласно работам [17, табл. 4–6; 43]), листва и другие зеленые части деревьев, растения нижних ярусов и т. д. – 0.45 кг С. Но для древесины тех же пород из Республики Коми приводятся величины коэффициентов, меньшие на 10% [2]. Для органического вещества почв, включая лесную подстилку, 1 кг приравнялся к 0.57 кг С [32].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Макрорегионально-зональный аспект, принятый для характеристики пулов углерода, требует хотя бы краткого рассмотрения климатических условий области произрастания лесов России. В том числе и на фоне поверхностной плотности (т га^{-1}) $C_{\text{phytomass}}$, C_{soil} и C_{total} , что важно для прогнозирования возможных перестроек среды при глобальных изменениях климата.

Экологический потенциал климата. Для осреднения климатических параметров по площади для подзон в пределах макрорегионов использовалось различное число метеостанций (максимальное – более 700 для южной тайги Европейско-Уральского региона, минимальное – менее 20 для северной тайги Западной Сибири). Сравнение некоторых климатических показателей по макрорегионам и подзонам (рисунок) свидетельствует, что в бореальных лесах нет большой географической изменчивости между северной и средней подзонами ни по среднегодовым температурам, ни по продолжительности периодов с температурами 0, 5, 10°C. Европейско-Уральский макрорегион по сравнению с другими относится к более теплым и более влажным, преимущественно за счет зимних осадков. Южная подзона выделяется почти по всем показателям лучшей экологической ситуацией. Особенно это свойственно южной подзоне Дальневосточного региона, как по тепловому режиму, так и по осадкам при близких с Европейско-Уральской частью нормам поступления ФАР в периоды с разными температурами. В случае согласного с современной ситуацией изменения средних метеопоказателей по подзонам Европейско-Уральская часть и Западная Сибирь окажутся в условиях “сухого потепления”, тогда как более сухие макрорегионы (Восточная Сибирь и Дальний Восток) испытают “потепление” без особого изменения условий влажности. Потепление климата чревато увеличением слоя сезонного оттаивания мерзлоты, обсыхания болот и усиления горимости лесов. В Западной Сибири такие негативные последствия изменений климата будут



Некоторые климатические показатели северной (А), средней (Б), и южной (В) подзон по лесорастительным макрорегионам России. Средняя температура воздуха: a_1 – января, a_2 – июля, a_3 – за год; продолжительность периода с температурой: $b_1 - \geq 5^\circ\text{C}$, $b_2 - \geq 0^\circ\text{C}$, $b_3 - \geq 10^\circ\text{C}$; суммы осадков: $e_1 -$ за период с $t \geq 5^\circ\text{C}$, $e_2 -$ за год; суммы фотосинтетически активной радиации (ФАР) за периоды $e_1 - t \geq 0$, $e_2 - t \geq 5$, $e_3 - t \geq 10^\circ\text{C}$. Макрорегионы: 1 – Европейско-Уральская часть, 2 – Западная Сибирь, 3 – Восточная Сибирь, 4 – Дальний Восток.

Таблица 2. Запасы и плотность углерода в пулах $C_{\text{phytomass}}$, C_{soil} и их обоих (C_{total}) на не покрытых лесом и нелесных землях ГЛФ бывшего Рослесхоза для отдельных макрорегионов и подзон

Макро-регион	Подзона	Площадь, 10^6 га	Запас углерода, 10^6 т С			Плотность углерода, т С га ⁻¹		
			$C_{\text{phytomass}}$	C_{soil}	C_{total}	$C_{\text{phytomass}}$	C_{soil}	C_{total}
1	Северная	21.25	134 ± 20	3966 ± 437	4100 ± 457	6.3 ± 1.0	186.7 ± 20.6	193.0 ± 21.5
1	Средняя	8.54	39 ± 5	1322 ± 160	1362 ± 165	4.6 ± 0.5	154.8 ± 18.8	159.4 ± 19.3
1	Южная	10.94	56 ± 5	1509 ± 174	1565 ± 179	5.1 ± 0.4	138.0 ± 15.9	143.1 ± 16.4
1	Итого	40.73	230 ± 30	6797 ± 772	7027 ± 801	5.6 ± 0.7	166.9 ± 18.9	172.5 ± 19.7
2	Северная	16.07	104 ± 15	2940 ± 343	3045 ± 358	6.5 ± 0.9	183.0 ± 21.3	189.5 ± 22.3
2	Средняя	25.40	143 ± 17	4994 ± 563	5137 ± 580	5.6 ± 0.7	196.6 ± 22.2	202.3 ± 22.8
2	Южная	16.83	83 ± 7	3472 ± 388	3555 ± 395	4.9 ± 0.4	206.4 ± 23.1	211.3 ± 23.5
2	Итого	58.29	330 ± 39	11407 ± 1294	11737 ± 1333	5.7 ± 0.7	195.7 ± 22.2	201.3 ± 22.9
3	Северная	46.09	293 ± 41	8528 ± 1133	8821 ± 1174	6.4 ± 0.9	185.0 ± 24.6	191.4 ± 25.5
3	Средняя	21.34	109 ± 15	3556 ± 527	3665 ± 543	5.1 ± 0.7	166.6 ± 24.7	171.7 ± 25.4
3	Южная	12.42	57 ± 5	2182 ± 282	2239 ± 287	4.6 ± 0.4	175.7 ± 22.7	180.3 ± 23.1
3	Итого	79.85	458 ± 61	14266 ± 1943	14724 ± 2004	5.7 ± 0.8	178.7 ± 24.3	184.4 ± 25.1
4	Северная	168.96	819 ± 123	26241 ± 3212	27061 ± 3335	4.9 ± 0.7	155.3 ± 19.0	160.2 ± 19.7
4	Средняя	47.75	257 ± 38	7764 ± 1087	8021 ± 1125	5.4 ± 0.8	162.6 ± 22.8	168.0 ± 23.6
4	Южная	7.90	43 ± 3	1422 ± 181	1465 ± 184	5.4 ± 0.4	179.9 ± 22.9	185.3 ± 23.3
4	Итого	224.61	1119 ± 164	35428 ± 4481	36547 ± 4644	5.0 ± 0.7	157.7 ± 19.9	162.7 ± 20.7
1-4	Северная	252.36	1351 ± 199	41675 ± 5126	43026 ± 5325	5.4 ± 0.8	165.1 ± 20.3	170.5 ± 21.1
1-4	Средняя	103.03	548 ± 74	17637 ± 2338	18185 ± 2412	5.3 ± 0.7	171.2 ± 22.7	176.5 ± 23.4
1-4	Южная	48.09	238 ± 20	8585 ± 1026	8824 ± 1045	5.0 ± 0.4	178.5 ± 21.3	183.5 ± 21.7
1-4	Итого	403.48	2137 ± 293	67898 ± 8489	70035 ± 8782	5.3 ± 0.7	168.3 ± 21.0	173.6 ± 21.8

Примечание. Макрорегионы: 1 – Европейско-Уральский, 2 – Западная Сибирь, 3 – Восточная Сибирь, 4 – Дальний Восток, 1-4 – РФ. Для суммарных и средних значений приведены стандартные ошибки (\pm SE).

первоначально сдерживаться испарением больших масс воды с поверхности болот.

Результаты исследований целесообразнее рассмотреть по группам земель лесного фонда. В предыдущих наших работах оценки $C_{\text{phytomass}}$ приводились как в провинциальном [8, 39], так и в провинциально-зональном аспектах [9] в описательной форме, но с приложением картосхем географической изменчивости в ГУЛФ плотности $C_{\text{phytomass}}$ и годовичного депонирования углерода [16]. Информация о C_{soil} по подзонам опубликована лишь в тезисной форме [47]. Результаты совмещенного анализа $C_{\text{phytomass}}$ и C_{soil} были доложены на Международной научной конференции “Роль бореальных лесов и лесного хозяйства в глобальном бюджете углерода” в Эдмонтоне (Канада) в мае 2000 г. [47]. Текст доклада, возможно, будет опубликован в материалах этого совещания.

Настоящая статья является фактически первой сводной работой авторов о пулах органического углерода в лесах России по материалам ГУЛФ на 01.01.1993 г. Помимо уточнения конверсионных отношений для ряда древесных пород, исправления итогов некоторых ранних расчетов,

специально обращено внимание на статистическую обработку результатов. Полагаем, что многие из публикуемых здесь показателей (конверсионные отношения, величины плотности $C_{\text{phytomass}}$ и C_{soil}) имеют нормативный характер и достойны широкого вовлечения в научный оборот, в том числе и для прогностических целей.

$C_{\text{phytomass}}$ и C_{soil} не покрытых лесом и нелесных земель в настоящей работе мы оцениваем суммарно, поскольку доля не покрытых лесом земель существенно варьирует по макрорегионам. В целом для РФ на нее приходится 27% от общей с нелесными землями площади, с возрастанием от 12 и 7% в Европейско-Уральской части и в Западной Сибири до 27 и 34% в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. В двух последних в значительной мере за счет гарей: 25 и 68% от общей по стране площади, равной 28.32×10^6 га, тогда как в Европейско-Уральском макрорегионе в основном сосредоточены вырубki – 40% от их площади в целом по России (8.54×10^6 га). В лесном фонде Дальнего Востока помимо гарей и вырубok (31%) существенно распространены редины (34%), которых более всего в Восточной Сибири (64% от

Таблица 3. Запасы и плотность углерода в пулах $C_{\text{phytomass}}$, C_{soil} и их обоих (C_{total}) на покрытых лесом землях ГЛФ бывшего Рослесхоза для отдельных макрорегионов и подзон

Макро-регион	Подзона	Площадь, 10^6 га	Запас углерода, 10^6 т С			Плотность углерода, т С га ⁻¹		
			$C_{\text{phytomass}}$	C_{soil}	C_{total}	$C_{\text{phytomass}}$	C_{soil}	C_{total}
1	Северная	53.58	2162 ± 144	7921 ± 854	10083 ± 998	40.4 ± 2.7	147.8 ± 15.9	188.2 ± 18.6
	Средняя	24.82	1135 ± 73	2295 ± 602	3430 ± 675	45.7 ± 2.9	92.5 ± 24.3	138.2 ± 27.2
	Южная	58.55	3486 ± 249	6190 ± 893	9676 ± 1141	59.5 ± 4.2	105.7 ± 15.2	165.3 ± 19.5
	Итого	136.95	6783 ± 465	16406 ± 2349	23189 ± 2814	49.5 ± 3.4	119.8 ± 17.2	169.3 ± 20.5
2	Северная	17.04	571 ± 39	3046 ± 668	3617 ± 707	33.5 ± 2.3	178.7 ± 39.2	212.2 ± 41.5
	Средняя	30.68	1472 ± 109	4398 ± 779	5870 ± 889	48.0 ± 3.6	143.4 ± 25.4	191.4 ± 29.0
	Южная	31.04	1618 ± 117	4811 ± 640	6430 ± 757	52.1 ± 3.8	155.0 ± 20.6	207.1 ± 24.4
	Итого	78.76	3661 ± 266	12255 ± 2087	15917 ± 2353	46.5 ± 3.4	155.6 ± 26.5	202.1 ± 29.9
3	Северная	42.18	1263 ± 89	8694 ± 1754	9957 ± 1843	29.9 ± 2.1	206.1 ± 41.6	236.0 ± 43.7
	Средняя	93.86	4201 ± 596	13933 ± 2429	18135 ± 3025	44.8 ± 6.4	148.4 ± 25.9	193.2 ± 32.2
	Южная	81.52	5140 ± 428	12580 ± 1764	17720 ± 2192	63.1 ± 5.3	154.3 ± 21.6	217.4 ± 26.9
	Итого	217.57	10604 ± 1113	35207 ± 5946	45811 ± 7060	48.7 ± 5.1	161.8 ± 27.3	210.6 ± 32.4
4	Северная	104.43	2523 ± 315	16520 ± 2407	19043 ± 2722	24.2 ± 3.0	158.2 ± 23.0	182.3 ± 26.1
	Средняя	132.70	5476 ± 969	17063 ± 2008	22540 ± 2977	41.3 ± 7.3	128.6 ± 15.1	169.8 ± 22.4
	Южная	36.60	1865 ± 203	7084 ± 944	8948 ± 1147	51.0 ± 5.6	193.6 ± 25.8	244.5 ± 31.3
	Итого	273.73	9864 ± 1487	40667 ± 5359	50531 ± 6846	36.0 ± 5.4	148.6 ± 19.6	184.6 ± 25.0
1-4	Северная	217.23	6520 ± 587	36180 ± 5683	42700 ± 6270	30.0 ± 2.7	166.5 ± 26.2	196.6 ± 28.9
	Средняя	282.06	12285 ± 1748	37690 ± 5818	49975 ± 7566	43.6 ± 6.2	133.6 ± 20.6	177.2 ± 26.8
	Южная	207.71	12108 ± 997	30665 ± 4240	42774 ± 5237	58.3 ± 4.8	147.6 ± 20.4	205.9 ± 25.2
	Итого	707.00	30913 ± 3332	104535 ± 15741	135448 ± 19073	43.7 ± 4.7	147.9 ± 22.3	191.6 ± 27.0

Примечание. Условные обозначения те же, что в табл. 2.

общей площади в 27.41×10^6 га) и которые также представлены северными редколесьями из лиственницы, реже их каменной березы.

Отсутствие сведений о запасе древесины остатков на горях и вырубках позволяет оценить C_{soil} лесных, но не покрытых лесом площадей вместе с нелесными землями (табл. 2). В запасах C_{total} на долю C_{soil} приходится 97%, что связано с преобладанием холодных, биологически инертных почв Севера [45]. За счет таких почв и реализуется высокий потенциал длительного удержания углерода в детрите безлесных экосистем таежной зоны.

В абсолютном большинстве случаев отношения $C_{\text{soil}} : C_{\text{phytomass}}$ (причем и в макрорегионах, и в подзонах) равны 30–33. Небольшой размах отношений свойственен как пулам, так и значениям плотности углерода, которые мало меняются в направлениях запад–восток, север–юг. Общие запасы C_{soil} должны быть еще больше, поскольку глубина почвенных разрезов в базе данных ограничивалась обычно 1 м. Поэтому для многих торфяников с более мощным, чем 1 м, слоем торфа [3] C_{soil} оказался явно заниженным.

Плотность $C_{\text{phytomass}}$ не проявляет заметной географической изменчивости (средние величины ≈ 5.5 т га⁻¹). Для C_{soil} обнаруживается большее варьирование, но лишь в диапазоне 155–206 т га⁻¹, с минимумом и максимумом в южной подзоне соответственно Европейско-Уральской части РФ и Западной Сибири, т.е. для более биологически активных почв и в условиях сильной заболоченности.

Для $C_{\text{phytomass}}$ и C_{soil} *покрытых лесом площадей* (табл. 3) отчетливо проявляются общие географические закономерности. Плотность $C_{\text{phytomass}}$, как правило, увеличивается с севера на юг. Исключение свойственно Восточной Сибири и Дальнему Востоку. Здесь в южной подзоне плотность $C_{\text{phytomass}}$ меньше, чем в двух других подзонах. Последнее, несомненно, следует считать последствием часто повторяющихся низовых пожаров, снижающих продуктивность. Средняя для макрорегионов плотность $C_{\text{phytomass}}$ почти постоянна (46–49 т га⁻¹); только на Дальнем Востоке, где большой удельный вес в составе лесного фонда имеют заросли кедрового стланика, она уменьшается до 36 т га⁻¹.

Таблица 4. Запасы и плотность углерода в пулах $C_{\text{phytomass}}$, C_{soil} и их обоих (C_{total}) по группам возраста насаждений ГЛФ бывшего Рослесхоза для отдельных подзон

Подзона	Группа возраста	Площадь, 10^6 га	Запас углерода, 10^6 т С			Плотность углерода, т С га ⁻¹		
			$C_{\text{phytomass}}$	C_{soil}	C_{total}	$C_{\text{phytomass}}$	C_{soil}	C_{total}
Северная	Молодняки	34.54	331 ± 40	5038 ± 706	5369 ± 747	10 ± 1	146 ± 20	155 ± 22
	Средневозрастные	46.12	1024 ± 97	7297 ± 1301	8321 ± 1398	22 ± 2	158 ± 28	180 ± 30
	Приспевающие	16.21	529 ± 55	2916 ± 514	3445 ± 570	33 ± 3	180 ± 32	212 ± 35
	Спелые и перестойные	120.36	4636 ± 395	20929 ± 3162	25565 ± 3556	39 ± 3	174 ± 26	212 ± 30
Средняя	Молодняки	50.46	717 ± 129	6397 ± 1004	7113 ± 1132	14 ± 3	127 ± 20	141 ± 22
	Средневозрастные	76.73	3023 ± 624	11 142 ± 1892	14 165 ± 2516	39 ± 8	145 ± 25	185 ± 33
	Приспевающие	26.32	1439 ± 218	3572 ± 544	5010 ± 762	55 ± 8	136 ± 21	190 ± 29
	Спелые и перестойные	128.55	7106 ± 777	16 580 ± 2378	23 686 ± 3155	55 ± 6	129 ± 19	184 ± 25
Южная	Молодняки	40.05	886 ± 87	5469 ± 773	6355 ± 860	22 ± 2	137 ± 19	159 ± 21
	Средневозрастные	63.30	3564 ± 279	9390 ± 1395	12 954 ± 1674	56 ± 4	148 ± 22	205 ± 26
	Приспевающие	26.76	1775 ± 139	4012 ± 565	5787 ± 704	66 ± 5	150 ± 21	216 ± 26
	Спелые и перестойные	77.60	5883 ± 492	11 794 ± 1506	17 677 ± 1998	76 ± 6	152 ± 19	228 ± 26
Итого	Молодняки	125.04	1934 ± 255	16 903 ± 2484	18 837 ± 2739	15 ± 2	135 ± 20	151 ± 22
	Средневозрастные	186.15	7612 ± 1101	27 829 ± 4588	35 440 ± 5589	41 ± 5	149 ± 25	190 ± 30
	Приспевающие	69.29	3743 ± 412	10 500 ± 1623	14 243 ± 2035	54 ± 6	152 ± 23	206 ± 29
	Спелые и перестойные	326.51	17 625 ± 1664	49 303 ± 7046	66 928 ± 8710	54 ± 5	151 ± 22	205 ± 27

Плотность C_{soil} , напротив, снижается от севера к югу. Но в средней подзоне Восточной Сибири и Дальнего Востока плотность C_{soil} ниже, чем в южной, вследствие, как мы считаем, лесных пожаров. Отношение $C_{\text{soil}} : C_{\text{phytomass}}$ по макрорегионам и подзонам чаще всего находится в диапазоне 3.0–3.5, смещаясь в единичных случаях в ту или иную сторону. По сравнению с необлесенными землями плотность C_{soil} в лесах на 30–50 т га⁻¹ меньше. Но эта разность компенсируется превосходством $C_{\text{phytomass}}$ леса, в таком же примерно размере. В результате, если сравнивать разные категории земель по C_{total} , то и леса, и безлесные земли лесного фонда РФ по углеродной емкости оказываются равнозначными. Плотность C_{total} на уровне 190 т га⁻¹ можно поэтому принять общим для лесного фонда России показателем для экспресс-расчетов. Полученные нами для лесов России показатели плотности $C_{\text{phytomass}}$ и C_{soil} в 1.5 раза меньше, чем принимались группой экспертов по оценкам глобального накопления углерода [41].

Зональное распределение $C_{\text{phytomass}}$ и C_{soil} лесов по группам возраста насаждений (табл. 4) важно для выработки стратегии отношения к лесному фонду страны с позиций углеродного цикла. Половина площади лесов в России представлена спелыми и перестойными насаждениями, которые по отношению к углероду выполняют важные (как и болота) консервирующие функции, но слабо “работают” на секвестр CO_2 [29]. Углеродопродуци-

рующие функции в наибольшей мере свойственны молоднякам и средневозрастным насаждениям, за счет которых леса России и вносят свой вклад в секвестр CO_2 , судя по годичному депонированию углерода [8, 9]. Плотность $C_{\text{phytomass}}$ увеличивается от молодняков к возрасту спелости и в направлении север–юг. Территория южной подзоны является поэтому наиболее перспективной для лесоразведения и ускоренного лесовосстановления в целях увеличения секвестра атмосферного CO_2 . Для C_{soil} отмечается та же тенденция увеличения плотности углерода с возрастом, что и для $C_{\text{phytomass}}$.

Распределение запасов углерода по группам лесобразующих пород в пределах подзон (табл. 5) в отношении хвойных, мягколиственных пород и кустарников показывает ожидаемые результаты: понижение плотности $C_{\text{phytomass}}$ с севера на юг. Для плотности C_{soil} обнаруживаются более высокие результаты, обусловленные тем, что на севере многие экосистемы (кедровостланики, ерники, ольховники) тяготеют к влажным местам и высокогорьям, где лучшие условия консервации детрита.

Трудно представить положение экосистем твердолиственных пород, поскольку в ботанико-географическом отношении они должны принадлежать исключительно южной подзоне. Но включение в материалах ГУЛФ в состав твердолиственных пород насаждений каменной березы ломает представление об этой группе лесобразователей.

Таблица 5. Запасы и плотность углерода в пулах $C_{\text{phytomass}}$, C_{soil} и их обоих (C_{total}) по группам пород насаждений ГЛФ бывшего Рослесхоза для отдельных подзон

Подзона	Группа пород	Площадь, 10^6 га	Запас углерода, 10^6 т С			Плотность углерода, т С га ⁻¹		
			$C_{\text{phytomass}}$	C_{soil}	C_{total}	$C_{\text{phytomass}}$	C_{soil}	C_{total}
Северная	Хвойные	159.97	5073 ± 321	25307 ± 3490	30380 ± 3811	32 ± 2	158 ± 22	190 ± 24
	Твердолиственные	4.50	260 ± 70	1454 ± 157	1714 ± 226	58 ± 16	323 ± 35	381 ± 50
	Мягколиственные	16.25	494 ± 64	2176 ± 288	2670 ± 352	30 ± 4	134 ± 18	164 ± 22
	Прочие и кустарники	36.51	693 ± 133	7243 ± 1748	7936 ± 1881	19 ± 4	198 ± 48	217 ± 52
Средняя	Хвойные	222.03	10543 ± 1178	27529 ± 3906	38072 ± 5084	47 ± 5	124 ± 18	171 ± 23
	Твердолиственные	1.64	73 ± 19	526 ± 57	598 ± 76	44 ± 11	321 ± 35	365 ± 46
	Мягколиственные	29.96	1110 ± 106	4040 ± 497	5150 ± 603	37 ± 4	135 ± 17	172 ± 20
	Прочие и кустарники	28.43	559 ± 445	5595 ± 1359	6155 ± 1803	20 ± 16	197 ± 48	216 ± 63
Южная	Хвойные	126.70	8095 ± 605	19061 ± 2422	27156 ± 3027	64 ± 5	150 ± 19	214 ± 24
	Твердолиственные	11.14	729 ± 103	1543 ± 221	2272 ± 324	65 ± 9	138 ± 20	204 ± 29
	Мягколиственные	67.22	3228 ± 251	9582 ± 1475	12810 ± 1726	48 ± 4	143 ± 22	191 ± 26
	Прочие и кустарники	2.65	57 ± 37	478 ± 122	535 ± 159	21 ± 14	181 ± 46	202 ± 60
Итого	Хвойные	508.70	23711 ± 2105	71897 ± 9818	95608 ± 11922	47 ± 4	141 ± 19	188 ± 23
	Твердолиственные	17.29	1061 ± 192	3523 ± 434	4584 ± 626	61 ± 11	204 ± 25	265 ± 36
	Мягколиственные	113.43	4833 ± 420	15798 ± 2261	20630 ± 2681	43 ± 4	139 ± 20	182 ± 24
	Прочие и кустарники	67.59	1308 ± 615	13317 ± 3228	14626 ± 3843	19 ± 9	197 ± 48	216 ± 57

К тому же для каменноберезняков отсутствуют вообще какие-либо материалы о фитомассе.

Для C_{soil} каменноберезняков высокие значения плотности углерода можно еще как-то понять, поскольку в редкостойных насаждениях каменной березы формируются лугово-перегнойные почвы. Для $C_{\text{phytomass}}$ каменноберезняков, тем более в северных и средних подзонах, очень высокие накопления углерода невозможны. Из-за большой площади (8.6×10^6 га) и запасов (772.6×10^6 м³) этих лесов завышаются и общие оценки $C_{\text{phytomass}}$ твердолиственных пород в России. В настоящее время проверка данных для экосистем каменной березы невозможна из-за отсутствия материалов, необходимых для корректного определения конверсионных отношений. Изучение фитомассы и продуктивности каменноберезовых лесов Дальнего Востока становится поэтому очень актуальной задачей.

$C_{\text{phytomass}}$ и C_{soil} наиболее распространенных лесообразователей России (табл. 6). В составе ГЛФ РФ на долю насаждений пяти древесных пород приходится 75% общей покрытой лесом площади. Общие количества углерода в пулах $C_{\text{phytomass}}$ и C_{soil} всецело определяются площадью, занимаемой каждой из этих пород в подзонах. Разные древесные породы имеют близкие значения плотности $C_{\text{phytomass}}$. Более значительная плотность $C_{\text{phytomass}}$ насаждений кедра связана с высоким, как правило, возрастом кедра. В сосняках и лиственнични-

ках средней и южной подзон, плотность C_{soil} ниже, чем в северной подзоне, где пожары случаются гораздо реже. Если учесть возрастное отличие кедровников и большое аккумулятивное C_{soil} в ельниках, обычно приуроченных к влажным экотопам, можно констатировать однотипность стратегий у главных лесообразователей (в березняках проявление почти инвариантности) по отношению к C_{total} . Эти факты свидетельствуют о высоком уровне стабильности процессов углеродного цикла и для лесов России в целом.

Коррекция полученных оценок $C_{\text{phytomass}}$ и C_{soil} . По приведенным выше (с. 11) корректировочным коэффициентам оценки, полученные для лесного фонда бывшего Рослесхоза, были пересчитаны на все леса страны. $C_{\text{phytomass}}$ для макрорегионов 1–4 увеличилась соответственно до 8409, 4420, 11605 и 11191, в целом для лесов России до 35625×10^6 т С, т.е. на 2476×10^6 т С (на 7.5%). На долю $C_{\text{phytomass}}$ лесов приходится 95% этой прибавки. Для C_{soil} аналогичное увеличение по тем же макрорегионам 1–4 равнялись 58658, 29255, 46007, 48345, в целом для РФ 182265×10^6 т С, т.е. с увеличением по сравнению с лесным фондом бывшего Рослесхоза на 8832×10^6 т С или на 5%. Таким образом, **после корректировки на общую площадь лесов России пул $C_{\text{phytomass}}$ оценивается нами в 35625×10^6 т С, пул C_{soil} в 182265×10^6 т С, а общая углеродная емкость C_{total} в 217890×10^6 т С или в ~ 218 Г т С.**

Отсутствие показателей первичной продукции лесов и использование разнящихся сведений о пло-

Таблица 6. Запасы и плотность углерода в пулах $C_{\text{phytomass}}$, C_{soil} и их обоих (C_{total}) по доминирующим лесообразующим породам насаждений ГЛФ бывшего Рослесхоза для отдельных подзон

Подзона	Порода	Площадь, 10^6 га	Запас углерода, 10^6 т С			Плотность углерода, т С га ⁻¹		
			$C_{\text{phytomass}}$	C_{soil}	C_{total}	$C_{\text{phytomass}}$	C_{soil}	C_{total}
Северная	Сосна	22.29	733 ± 42	3152 ± 609	3885 ± 650	33 ± 2	141 ± 27	174 ± 29
	Ель	34.90	1583 ± 87	5979 ± 717	7563 ± 804	45 ± 2	171 ± 21	217 ± 23
	Лиственница	97.81	2552 ± 174	15178 ± 2010	17730 ± 2184	26 ± 2	155 ± 21	181 ± 22
	Сосна кедровая	4.78	199 ± 19	967 ± 150	1166 ± 169	42 ± 4	202 ± 31	244 ± 35
	Береза	14.27	408 ± 51	1910 ± 250	2318 ± 300	29 ± 4	134 ± 17	162 ± 21
Средняя	Сосна	47.31	1928 ± 93	5226 ± 1132	7155 ± 1225	41 ± 2	110 ± 24	151 ± 26
	Ель	18.29	935 ± 44	2754 ± 423	3690 ± 468	51 ± 2	151 ± 23	202 ± 26
	Лиственница	141.18	6585 ± 944	16540 ± 1899	23126 ± 2842	47 ± 7	117 ± 13	164 ± 20
	Сосна кедровая	13.37	1000 ± 91	2698 ± 421	3698 ± 511	75 ± 7	202 ± 31	277 ± 38
	Береза	24.96	880 ± 72	3284 ± 417	4165 ± 489	35 ± 3	132 ± 17	167 ± 20
Южная	Сосна	45.27	2790 ± 105	5016 ± 623	7806 ± 729	62 ± 2	111 ± 14	172 ± 16
	Ель	22.69	1430 ± 89	3622 ± 415	5052 ± 504	63 ± 4	160 ± 18	223 ± 22
	Лиственница	24.73	1602 ± 216	4085 ± 488	5687 ± 704	65 ± 9	165 ± 20	230 ± 28
	Сосна кедровая	21.72	1665 ± 150	4320 ± 689	5986 ± 840	77 ± 7	199 ± 32	276 ± 39
	Береза	48.72	2219 ± 113	6956 ± 1160	9175 ± 1273	46 ± 2	143 ± 24	188 ± 26
Итого	Сосна	114.87	5451 ± 240	13394 ± 2364	18845 ± 2604	47 ± 2	117 ± 21	164 ± 23
	Ель	75.88	3949 ± 220	12356 ± 1556	16305 ± 1776	52 ± 3	163 ± 21	215 ± 23
	Лиственница	263.71	10739 ± 1333	35804 ± 4396	46543 ± 5729	41 ± 5	136 ± 17	176 ± 22
	Сосна кедровая	39.86	2864 ± 260	7985 ± 1260	10849 ± 1520	72 ± 7	200 ± 32	272 ± 38
	Береза	87.96	3507 ± 236	12150 ± 1827	15657 ± 2063	40 ± 3	138 ± 21	178 ± 23

щадях лесов РФ в публикациях разных авторов позволяют признать, что более надежным будет сравнение результатов не по общим оценкам, а по плотности $C_{\text{phytomass}}$ и C_{soil} . Так, наши оценки $C_{\text{phytomass}}$ на всю площадь лесов России почти совпадают с данными А.З. Швиденко с соавторами [33]: для покрытой лесом площади в целом (33472×10^6 т С против 32429×10^6 т С) и по плотности (4.37 кг С м⁻² против 4.25 кг С м⁻²). Для постоянно и временно безлесных площадей сведения о $C_{\text{phytomass}}$ в работе [33] отсутствуют из-за выбора геоботанической классификации земель.

Того же порядка величины плотности $C_{\text{phytomass}}$ приводятся в справочнике ФАО [36]. Для лесов (с полнотой от 0.2) и других якобы с древесной растительностью земель плотность $C_{\text{phytomass}}$ древесных частей (без учета листвы и растительности нижних ярусов) ФАО определяется в 44.7 т С га⁻¹, из которых 34.27 т С га⁻¹ в надземной сфере и 10.43 т С га⁻¹ пней и корней. Для собственно лесов приводится плотность $C_{\text{phytomass}}$ для древесины лишь надземных древесных органов, равная почему-то только 27.9 т С га⁻¹. Такое уменьшение плотности $C_{\text{phytomass}}$ лесов по сравнению с лесами, редколесьями и другими лесными землями вместе представляется странным.

В состав “лесов” в [36] включены и многие категории не покрытых лесом земель: несомкнувшиеся культуры, вырубki, естественные редины, гари и погибшие древостои, питомники (всего около 56×10^6 га), тогда как к “прочим лесным землям” отнесено лишь 70×10^6 га кустарников. Поэтому в материалах ФАО средний запас насаждений РФ оценивается в 98 м³ га⁻¹ (даже при добавлении к категории “леса” 3.16×10^9 м³ мертвой древесины), тогда как по материалам ГУЛФ средний запас равен 106 м³ га⁻¹. Статистические сведения как в [36], так и в [14, 15] представлены, к стати, ВНИИЦлесресурсом.

Используя пофракционные общие конверсионные коэффициенты [36] и рассчитанные нами для фракций биомассы аналогичные коэффициенты (см. с. 13), мы сравнили определение запасов $C_{\text{phytomass}}$ для надземных и подземных фракций. Для этого использовали запасы древесины покрытой лесом площади бывшего Рослесхоза (73.03×10^9 м³) по трем группам лесообразующих пород: хвойные, твердолиственные и мягколиственные. Суммарные оценки по методике расчетов ФАО составили: 27.16×10^9 т С (надземная часть 21.63×10^9 , пни и корни 5.53×10^9 т С), тогда как по нашим предикторам почти столько же (27.00×10^9 т С) с разделением на надземную и

подземную как 21.00×10^9 т С и 4.00×10^9 т С. Как видно, интегральные оценки $C_{\text{phytomass}}$ древесины в лесах РФ различаются несущественно, но методика ФАО систематически завышает данные для пней и корней.

В работе [41] группой экспертов дана оценка запасов $C_{\text{phytomass}}$, C_{soil} и C_{total} по крупным экосистемам, типам землепользования и ландшафтными зонам. Рассчитанная нами по этим данным средняя плотность углерода в бореальных лесах составляет: для $C_{\text{phytomass}}$ 64.2 т С га⁻¹, C_{soil} 343 и C_{total} 408 т С га⁻¹, т. е. в полтора-два раза больше наших оценок плотности углерода в лесном фонде. Остается, правда, неясным: включены ли в пулы углерода оценки для не покрытых лесом и нелесных земель в [41].

Вклад лесов России в глобальный пул углерода наземных экосистем однозначно оценить трудно из-за противоречивости имеющихся данных. Особенно это касается пула C_{soil} , который для бореальных лесов зарубежными специалистами чаще всего оценивается по материалам базы данных для почв, созданной в 1986 г. специалистами из Ок Риджа, США (P.J. Zinke, A.G. Stangenberger, W.M. Post et al.; цит. по [46]). В последнее время накопилось много материалов, свидетельствующих, что оценки C_{soil} по этой базе данных получаются завышенными в полтора-два раза [46]. В лесах Норвегии плотность C_{soil} близка к нашим оценкам: чаще всего она варьирует в пределах 140 – 190 т С га⁻¹, включая 3 – 7 т С га⁻¹ в слое лесной подстилки [48]. Можно уверенно считать, что при оценке вклада лесов России в биосферные процессы нельзя руководствоваться только $C_{\text{phytomass}}$, хотя и она нуждается в перепроверке. Следует параллельно анализировать и запасы C_{soil} , а также протекающие в детритном пуле процессы накопления и деструкции, включая дестабилизирующую роль лесных пожаров [40].

Согласно работе [44] площадь таежных (бореальных) и умеренных лиственных лесов составляет 1.57×10^9 га с запасами $C_{\text{phytomass}}$ 170×10^9 т С. Отсюда на долю лесов России приходится 48% площади и 20% $C_{\text{phytomass}}$. По последним оценкам [41], общая площадь таежных и умеренных лесов мира составляет 2.41×10^9 га, $C_{\text{phytomass}}$ 147×10^9 т С и C_{soil} 571×10^9 т С. По отношению к ним леса России занимают соответственно 32, 23 и 20%. Если же расчеты по тем же данным [41] ограничить только бореальными лесами (1.37×10^9 га, 88×10^9 т С и 471×10^9 т С), то вклад российских лесов составит соответственно 56, 38 и 24%. Расхождение между занимаемой площадью и относительным представителем в бореальных лесах России пулов $C_{\text{phytomass}}$ и C_{soil} даст основание считать, что в глобальных оценках углеродного цикла биосферы имеет место недоучет C_{soil} не покрытых лесом и

нелесных земель вообще и лесного фонда РФ, в частности.

Сходная тенденция прослеживается и в отчетных материалах ФАО [36]. По отношению к лесным ресурсам Европы, СНГ и Северной Америки на долю лесов России приходится 47.5% лесной площади, около 50% $C_{\text{phytomass}}$ древесных фракций, из них 47% в надземной сфере и 63% углерода в подземной (пни и корни). Почти полуторное отставание по величинам накопленного углерода в стволах и ветвях от $C_{\text{phytomass}}$ пней и корней не подтверждается для лесов России имеющейся экологической и экофизиологической информацией.

Отмечаемая странность особенно проявляется в сравнении с близкими по природным условиям лесами Канады. Согласно работе [34], плотность $C_{\text{phytomass}}$ в целом для этой страны составляет 29.6 т С га⁻¹, в бореальных лесах от 19.5 т С га⁻¹ (на западе) до 26.9 т С га⁻¹ (на востоке), для C_{soil} в пределах 100 – 135 т С га⁻¹. По оценкам ФАО [36] плотность $C_{\text{phytomass}}$ древесных фракций для лесов и прочих лесных земель Канады составляет 28.5 т С га⁻¹, из которых 24.3 т С в надземной, 4.2 т С в подземной сферах; только для площади лесов плотность $C_{\text{phytomass}}$ древесных фракций в надземной толще равна 41.4 т С га⁻¹. Для России те же показатели плотности $C_{\text{phytomass}}$ определены соответственно в 44.7 (34.3 и 10.4), 27.9 т С га⁻¹ [36]. Обращает внимание очень значительное (более чем вдвое) различие в представительстве подземной древесной биомассы в лесах и прочих лесных землях Канады и России.

Если же взять отношение величин древесной плотности $C_{\text{phytomass}}$ РФ и Канады, то получаем следующие значения: общая древесная биомасса для лесов и прочих лесных земель в России больше в 1.57 раза, причем надземная в 1.41 и подземная (пни и корни) даже в 2.46 раз; по плотности же углерода надземной биомассы только в лесах показатель для России уступает Канаде почти вдвое (отношение 0.67). Разумеется, эти вопросы заслуживают отдельного обсуждения. Но несомненный факт некорректного использования конверсионных отношений, которые не имеют биологического обоснования, тем не менее дифференцированы на уровне отдельных государств.

Выводы. 1. Леса России накапливают (при бесспорном недоучете для болотных экосистем) около 218×10^9 т С, из которого 16% представлено $C_{\text{phytomass}}$ и 84% C_{soil} .

2. Запасаемые количества C_{total} в лесных экосистемах и на нелесных землях довольно близки для разных природных зон и групп лесообразующих пород. Лишь в лиственных и сосновых лесах континентальных районов Сибири прослеживается тенденция уменьшения плотности C_{soil} , скорее всего из-за частых низовых пожаров.

3. С позиций углеродного цикла лесов большего внимания заслуживают процессы, связанные с поведением органического вещества почв. Холодные, со слабым биологическим круговоротом почвы северной и средней подзон Северной Евразии должны играть роль источника атмосферного CO_2 . Вклад таежных и тундровых почв РФ в секвестр CO_2 текущего времени остается неизвестным.

4. Многие оценки вклада лесов России в углеродный цикл биосферы нуждаются в специальном обсуждении и ревизии.

5. Приводимые в настоящей работе конверсионные отношения фитомасса/запас древесины и показатели плотности $C_{\text{phytomass}}$ и C_{soil} могут использоваться в качестве нормативов при инвентаризации углерода в лесном фонде РФ.

* * *

Авторы благодарны директору ЦЭПЛ РАН акад. А.С. Исаеву, руководившему работой по теме исследований, а также проф. В.И. Сухих (Международный институт леса) за критический разбор рукописи и ценные замечания по ее улучшению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баишаков И.А. Укрепление российской экономики и политика в области изменения климата / Доклад на конференции. М.: Центр по эффективному использованию энергии, 1997. 21 с.
2. Бобкова К.С., Тужилкина В.В. Содержание углерода и калорийность органического вещества в лесных экосистемах Севера // Экология. 2001. № 1. С. 69–71.
3. Вомперский С.Э., Цыганова О.П., Ковалев А.Г. и др. Заболоченность территории России как фактор связывания атмосферного углерода // Круговорот углерода на территории России. НТП "Глобальные изменения природной среды и климата" / Под ред. Заварзина Г.А. М.: Миннаука РФ, 1999. С. 124–145.
4. Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И. Система конверсионных отношений для расчета чистой первичной продукции лесных экосистем по запасам насаждений // Лесоведение. 2000. № 6. С. 54–63.
5. Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И., Коровин Г.Н. Определение запасов углерода по зависимым от возраста насаждений конверсионно-объемным коэффициентам // Лесоведение. 1998. № 3. С. 84–93.
6. Зукерт Н.В. Возможные смещения границ растительных зон в Якутии при изменении климата // Проблемы региональной экологии. 2000. № 4. С. 74–81.
7. Зукерт Н.В., Рожкова С.В., Соколовская Н.Н. Роль гидротермического режима в распределении растительности в Якутии // Лесоведение. 1995. № 2. С. 42–50.
8. Исаев А.С., Коровин Г.Н. Углерод в лесах Северной Евразии // Круговорот углерода на территории России. НТП "Глобальные изменения природной среды и климата" / Под ред. Заварзина Г.А. М.: Миннаука РФ, 1999. С. 63–95.
9. Исаев А.С., Коровин Г.Н., Сухих В.И. и др. Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России. (Аналитический обзор). М.: Центр экологической политики России, 1995. 155 с.
10. Исаев А.С., Коровин Г.Н., Уткин А.И. и др. Оценка запасов и годичного депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России // Лесоведение. 1993. № 6. С. 3–10.
11. Исаченко А.Г., Шляпников А.А. Природа мира: Ландшафты. М.: Мысль, 1989. 504 с.
12. Конвенция по изменению климата. Geneva: UNEP/IUS, 1994. 28 с.
13. Ландшафтная карта СССР. Для высших учебных заведений. М. 1 : 4000000. / Под ред. Исаченко А.Г. М.: ГУГК СМ СССР, 1988.
14. Лесной фонд России. Справочник (по учету на 01.01.1993 г.). М.: Рослесхоз, ВНИИЦлесресурс, 1995. 280 с.
15. Лесной фонд России (по состоянию на 01.01.1998 г.). Справочник. М.: Рослесхоз, ВНИИЦлесресурс, 1999. 650 с.
16. Моисеев Б.Н., Алферов А.М., Страхов В.В. Об оценке запаса и прироста углерода в лесах России // Лесн. хоз-во. 2000. № 4. С. 18–20.
17. Никитин Н.И. Химия древесины и целлюлозы. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1962. 711 с.
18. Сухих В.И., Уткин А.И. О совершенствовании системы учета лесного фонда России // Лесн. хоз-во. 2000. № 2. С. 36–39.
19. Углерод в экосистемах лесов и болот России / Под ред. Алексеева В.А., Бердси Р.А. Красноярск: Ин-т леса СО РАН, Северо-Восточная лесн. эксперим. станция Лесной службы США, 1994. 170 с. + [54 с. приложений].
20. Усольцев В.А. Оценка предельных запасов углерода в фитомассе елово-пихтовых экосистем Северной Евразии // Экология. 1998. № 5. С. 366–375.
21. Усольцев В.А. Формирование банков данных о фитомассе лесов. Екатеринбург: Ин-т леса УрО РАН, 1998. 541 с.
22. Уткин А.И. Углеродный цикл и лесоводство // Лесоведение. 1995. № 5. С. 3–20.
23. Уткин А.И., Гульбе Я.И., Гульбе Т.А., Ермолова Л.С. Биологическая продуктивность лесных экосистем. Компьютерная база данных. М.: ИЛ РАН, ЦЭПЛ РАН, 1994.
24. Уткин А.И., Ермолова Л.С., Замолодчиков Д.Г. Конверсионные коэффициенты для определения площади листовой поверхности насаждений основных лесобразующих пород России // Лесоведение. 1997. № 3. С. 74–78.
25. Уткин А.И., Замолодчиков Д.Г., Гульбе Т.А., Гульбе Я.И. Аллометрические уравнения для фитомассы по данным деревьев сосны, ели, березы и осины в европейской части России // Лесоведение. 1996. № 6. С. 36–46.
26. Уткин А.И., Замолодчиков Д.Г., Гульбе Т.А. и др. Определение запасов углерода по таксационным показателям древостоев: перспективы метода поучастковой аллометрии // Лесоведение. 1998. № 2. С. 38–54.

27. Уткин А.И., Замолодчиков Д.Г., Коровин Г.Н. и др. Определение запаса углерода насаждений на пробных площадях: сравнение аллометрического и конверсионно-объемного методов // Лесоведение. 1997. № 5. С. 51–66.
28. Уткин А.И., Замолодчиков Д.Г., Сухих В.И. Влияние возрастного критерия лесных насаждений на точность региональных оценок запасов и депонирования углерода в фитомассе лесов // Экология. 1999. № 4. С. 243–250.
29. Уткин А.И., Пряжников А.А. Фитомасса и углерод экосистем кедрового стланика России (географический аспект) // География и природные ресурсы. 1999. № 1. С. 77–84.
30. Уткин А.И., Пряжников А.А., Карелин Д.В. Запасы углерода и его годовые потоки в экосистемах кедрового стланика // Лесоведение. 2001. № 4. С. 38–51.
31. Честных О.В. Компьютерная база данных органического углерода почв на землях ГЛФ. М.: ЦЭП РАН, 1998.
32. Честных О.В., Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И., Коровин Г.Н. Распределение запасов органического углерода в почвах лесов России // Лесоведение. 1999. № 2. С. 13–21.
33. Швиденко А.З., Нильсон С., Столбовой В.С. и др. Опыт агрегированной оценки основных показателей биопродукционного процесса и углеродного бюджета наземных экосистем России. 1. Запасы растительной органической массы // Экология. 2000. № 6. С. 403–410.
34. Apps M., Kurz W.A. The role of Canadian forest in the global carbon budget // Carbon balance of world's ecosystems: towards a global assessment. Proc. IPCC AFOS Workshop, May 11–15, 1992, Joensuu, Finland, Painatuskeskus Oy, Helsinki / Ed. Kanninen M. Publ. Acad. Finl. 3/93. 1994. P. 14–39.
35. Bonan G.B., Shugart H.H. Environmental factors and ecological processes in boreal forests // Annu. Rev. Ecol. Syst. 1989. V. 20. P. 1–28.
36. Forest resources of Europe, GIS, North America, Australia, Japan and New Zealand (industrialized temperate/boreal countries). UN-ECE/FAO Contribution to the Global Forest resources assessment 2000. New York, Geneva: United Nations, 2000. 445 p.
37. Goodal Ch. L. and NCEAS Carbon Working Group. A common framework of the forest carbon budget of Eurasia and North America // The Role of Boreal Forests and Forestry in the Global Carbon Budget: Abstracts of Intern. Sci. Conference. Edmonton, Alberta, Canada, 2000. P. 14.
38. Hamburg S.P., Zamolodchikov D.G., Korovin G.N. et al. Estimating the carbon content of Russian forests; a comparison of phytomass/volume and allometric projections // Mitigation and adaptation strategies for global change. 1997. V. 2. № 2–3. P. 247–265.
39. Isaev A., Korovin G., Zamolodchikov D. et al. Carbon stock and deposition in phytomass of the Russian forests // Water, Air and Soil Pollution. 1995. V. 82. № 1–2. P. 247–256.
40. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Kyoto: FCCC/CP, 1997. 24 p.
41. Land use, land-use change, and forestry. A special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Montreal: IPCC, 2000. 30 p.
42. Matthews G. The carbon content of trees // Forestry Com. Technical Paper 4. Edinburgh, UK, 1993. P. 21.
43. Melillo J.M., McGuire A.D., Kicklighter D.W. et al. Global climate change and terrestrial net primary production // Nature. 1993. V. 363. № 6426. P. 234–240.
44. Olson J.S., Watts J.A., Allison L.J. Carbon in live vegetation of major world ecosystems. Ok Ridge, Tennessee: Nat. Lab., 1983. 164 p.
45. Post W.M. III Organic carbon in soil and the global carbon cycle // The Global Carbon Cycle: NATO ASI Ser. 1993. V. 115. P. 277–302.
46. Siltanen R.M., Apps M.J., Zoltai S.C. et al. A soil profile and organic carbon data base for Canadian forest and tundra mineral soil. Edmonton: Canadian Forest Service, Northern Forestry Centre, 1997. 50 p.
47. Utkin A.I., Zamolodchikov D.G., Korovin G.N., Chestnykh O.V. Reserves and density of organic carbon in Russian forests // The role of boreal forests and forestry in the global carbon budget. Abstracts of International Conference (May 8–12, 2000, Edmonton, Alberta, Canada). Edmonton: Canadian Forest Service, 2000. P. 73.
48. Wit de H.A., Kvindesland S. Carbon stocks in Norwegian forest soils and effects on forest management on carbon storage // Rapport fra skogforskningen. 1999. Suppl. V. 14. 52 p.

Forests of Russia as a Reservoir-storage of Organic Carbon in the Biosphere

A. I. Utkin, D. G. Zamolodchikov, O. V. Chestnykh, G. N. Korovin, and N. V. Zukert

The statistical information (January 1, 1993) about the area, reserves, composition and age of Russian forests was used to determine the carbon pool in natural vegetation ($C_{\text{phytomass}}$) and the soil layer of 1 m deep (C_{soil}). The forested area in Russia was divided into four macro-regions and three subzones. The inventory was performed separately for forests and the altered forest areas (felled areas, burns, and others) and non-forest lands. The carbon reserves in forests at an area of 763.56×10^6 hectares were as follows: $C_{\text{phytomass}} - 33.47 \times 10^9$ t C; $C_{\text{soil}} - 119.98 \times 10^9$ t C; $C_{\text{total}} - 145.45 \times 10^9$ t C. $C_{\text{phytomass}}$ and C_{soil} in temporary and permanent woodless areas are 2.25×10^9 t C and 70.28×10^9 t C, respectively. The total carbon pool in Russian forests is about 218×10^9 t C (without carbon reserves in bogs and coarse wood debris).