

---

---

МЕТОДИЧЕСКИЕ  
СТАТЬИ

---

---

УДК 630\*81.9

## ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ УГЛЕРОДА СУХОСТОЯ В ЛЕСАХ РОССИИ<sup>1</sup>

© 2011 г. Д.Г. Замолодчиков, Н. В. Зукерт, О. В. Честных

*Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН*

*117810 Москва, Профсоюзная ул., 84/32*

*E-mail: dzamolod@cepl.rssi.ru*

Поступила в редакцию 24.04.2011 г.

Составлена специализированная база данных по запасам сухостоя в лесах России. Получены наборы показателей углерода сухостоя, позволяющие рассчитывать его запасы на основе сведений о площадях и запасах лесных насаждений. Наборы включают типовые величины углерода сухостоя в дифференциации по преобладающим породам, группам возраста и географическому положению насаждений, а также коэффициенты конверсии объемного запаса насаждений в углерод сухостоя. На основе сведений Государственного лесного реестра по состоянию на 01.01.2008 г. и найденным наборам показателей рассчитаны запасы углерода сухостоя в лесах России. Для земель лесного фонда, покрытых насаждениями древесных пород (670.73 млн. га), оценка суммарного углерода сухостоя в зависимости от набора показателей варьирует в пределах 1.96-3.98 Гт С.

*Земли лесного фонда России, сухостой, крупные древесные остатки, пул углерода, лесообразующие породы, объемный запас древесины, различные способы оценки.*

Запасы органического вещества, сосредоточенные в крупных древесных остатках (КДО), представляют собой один из важных компонентов в цикле углерода. Большая часть углерода КДО, называемого также древесным дебрисом [12, 18], сосредоточена в сухостое и валеже. Запасы углерода в прикрепленном (сучья и отмершие ветви в кронах) и подземном древесном дебрисе лесов невелики в сравнении с сухостоем и валежом, однако значимость подземного дебриса возрастает для углеродного цикла на вырубках и гарях [14, 20]. Для ряда развитых стран оценка запасов КДО не актуальна, поскольку почти вся отмирающая древесина утилизируется в лесном хозяйстве. В России положение иное, огромные площади лесов и в среднем низкая интенсивность ведения лесного хозяйства приводят к наличию достаточно высоких запасов дебриса.

Рамочная конвенция ООН об изменении климата и последовавший за ней Киотский протокол сфокусировали внимание исследователей на проблемах инвентаризации углеродного бюджета

лесов. Ранние работы по крупномасштабной оценке пулов и потоков углерода в лесах России в основном касались фитомассы, в меньшей степени почвы [8, 9, 22]. Лишь с границы тысячелетий начинает возрастать число работ, посвященных крупнорегиональной оценке углерода КДО [13, 14, 20] и его роли в углеродном бюджете лесов [11, 27]. Выход в 2003 г. руководства Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) по проведению инвентаризации бюджета углерода в лесах [17] закрепил базовый подход к дифференциации пулов углерода лесов. "Пулами МГЭИК" стали фитомасса, мертвая древесина, подстилка и органическое вещество почвы.

Согласно руководству МГЭИК [17], отразившему преобладающие тенденции профильных научных исследований, оценка углеродного бюджета лесов ведется по информации о площадях и объемных запасах древесины лесных насаждений. Для пула фитомассы базовым подходом признается конверсия от объемных запасов. Для пулов подстилки и почвы оценка ведется через типовые значения запасов углерода на единице площади. Расчет пула мертвой древесины осуществляется через переводной коэффициент от углерода фито-

---

<sup>1</sup>Работа выполнена при поддержке ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" (Госконтракт П172) и РФФИ (11-04-01486-а).

массы, то есть, по сути, базируется на объемном запасе древесины.

Конверсия объемного запаса древесины в углерод фитомассы имеет четкое физическое обоснование: объем связан с массой через плотность. Конверсионный коэффициент имеет размерность плотности и позволяет оценить углерод ствольной древесины. Прочие фракции фитомассы (корни, ветви, листва) связаны со стволом аллометрическими отношениями и обладают существенно меньшими запасами углерода. В отношении углерода КДО конверсия от объемного запаса насаждения более проблематична. Величины отпада, т.е. потока, пополняющего пул КДО, зависят от многих факторов и могут сильно различаться в насаждениях со сходными объемными запасами. Усиление отпада может быть связано с факторами нерегулярного характера: неблагоприятными погодными-климатическими условиями, вспышками вредителей и болезней леса, техногенным загрязнением и т.д. Размер пула КДО складывается из баланса пополнения и разложения, в свою очередь, разные местообитания характеризуются различными условиями по температуре и влажности, контролирующими скорость разложения. Как указанные, так и многие другие факторы являются источником вариаций запасов КДО в лесах, ослабляя степень их связи с объемными запасами и живой фитомассой насаждения.

Цель настоящей работы состоит в осуществлении сравнительного анализа двух подходов к оценке углерода сухостоя лесов России, а именно 1) через типовые значения на единицу площади; 2) через конверсионные коэффициенты от объемного запаса насаждений. Кроме того, будет рассмотрено влияние различных типов дифференциации исходных данных на результаты расчетов углерода сухостоя.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Информационной основой оценок, осуществленных в настоящей работе, служит специализированная база данных по запасам сухостоя (БД ЗС) в лесах России. БД ЗС была создана в ЦЭПЛ РАН по инициативе проф. А.И. Уткина, который, благодаря уникальному знанию отечественной литературы, сформировал список профильных публикаций. БД ЗС включает сведения об объемных и массовых запасах сухостоя, таксационных и продукционных показателях растущей части древостоя, информацию о географическом поло-

жении пробных площадей, а также библиографию. БД ЗС содержит 2219 записей по лесным насаждениям, отражающих информацию по 1493 пробным площадям (одна пробная площадь может предоставлять несколько записей при многолетних измерениях характеристик древостоев). Часть записей не содержала полного набора необходимой информации (например, по объемным запасам насаждений), поэтому число записей, использованных при осуществлении настоящей работы, составило 2007. При построении БД ЗС было использовано 72 литературных источника, в частности, работы [1, 15, 19, 21, 23] и многие другие.

Большая часть записей базы данных содержит сведения лишь по объемным запасам сухостоя. Для перевода значений объемного запаса сухостоя в углерод необходимо знать плотность. Из базы данных были выбраны записи с информацией как по объему ( $\text{м}^3 \text{га}^{-1}$ ), так и по массе сухостоя ( $\text{тга}^{-1}$ ). Количество таких записей оказалось равным 30. По этим записям были рассчитаны средние плотности сухостоя для хвойных и лиственных пород, которые затем использовали для пересчета объема сухостоя в массу по всем остальным записям, не имевших сведений по массе сухостоя. Для перевода из сухого органического вещества в углерод применяли коэффициент 0.5 [17]. Все последующие расчеты и представление результатов проводились в массе углерода.

Расчеты показателей углерода сухостоя проводили в трех вариантах: 1) определение средних на единицу площади значений углерода сухостоя для тех или иных категорий лесных насаждений; 2) нахождение отношений углерода сухостоя к объемным запасам древесины с последующим усреднением для тех же категорий лесных насаждений; 3) расчет отношения среднего углерода сухостоя к среднему объемному запасу насаждения данной категории. Варианты 2 и 3 отличаются порядком проведения операций деления и усреднения: в варианте 2 сначала проводится деление углерода сухостоя на запас насаждения для каждой записи БД ЗС, а потом усреднение по категориям, в варианте 3 сначала осуществляется усреднение, затем деление.

При выделении категории насаждений использовали два варианта дифференциации исходных данных: 1) по преобладающей породе и широтной полосе; 2) по преобладающей породе и группе возраста. Классификацию записей по преобладающей породе (сосна, ель, лиственница и т.д.)

и группе возраста (молодняки 1 и 2 классов возраста, средневозрастные, приспевающие, спелые, перестойные) осуществляли на основе сведений о составе и возрасте живой части древостоя. По географическим координатам либо описанию местоположения определяли принадлежность записи базы данных к одной из трех широтных полос: северной (северные редколесья и северная тайга), средней (средняя тайга) и южной (южная тайга, смешанные, широколиственные леса и лесостепь). С учетом трех вариантов расчета и двух типов дифференциации категорий общее число полученных наборов показателей углерода сухостоя составило 6.

В качестве оценки неопределенности показателей углерода сухостоя использованы 95%-ные доверительные интервалы. В том случае, если показатель найден комбинацией других показателей (вариант 3 расчета), его неопределенность рассчитана по доверительным интервалам исходных показателей согласно правилам преобразования погрешностей. Оценку адекватности рассмотренных способов расчета показателей углерода сухостоя проводили по среднеквадратичному отклонению оценок от исходных значений из БД ЗС. Для этого каждой записи БД ЗС были сопоставлены либо усредненный показатель (вариант расчета 1), либо рассчитанный по объемному запасу насаждения углерод сухостоя (варианты расчета 2 и 3). Далее по всей выборке были определены суммы квадратов отклонений расчетных значений от исходных, и на их основе – среднеквадратичные отклонения.

Оценку суммарного углерода сухостоя в лесах России осуществляли по материалам Государственного лесного реестра (ГЛР) по состоянию на 01.01.2008 г. Информация ГЛР была получена ЦЭПЛ РАН от ФГУП “Рослесинфорг” в рамках выполнения научно-исследовательских работ по заказу Рослесхоза. Расчеты проводили для земель лесного фонда, покрытых основными и прочими лесообразующими породами. Земли, покрытые кустарниками, в расчет не принимались. Использовали 6 найденных наборов показателей углерода сухостоя. Углерод сухостоя данной категории лесных насаждений в пределах субъекта РФ определяли произведением либо площади, либо объемного запаса на соответствующий показатель из каждого набора. Затем полученные величины суммировали для субъектов РФ и покрытых лесом земель России в целом. При расчете доверительных интервалов суммарных значений углерода сухостоя полагали, что неопределенности величин площадей и объемных запасов насаждений из материалов ГЛР равны 0.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Найденные по БД ЗС средние плотности сухостоя составили  $0.431 \text{ т м}^{-3}$  для хвойных и  $0.359 \text{ т м}^{-3}$  для лиственных пород. Эти величины относятся к той совокупности классов разложения сухостоя, которая имела в анализируемой выборке БД ЗС. По данным [13], в сосновых насаждениях Среднего Заволжья плотность КДО находится в пределах от  $0.490$  (1-й класс разложения) до  $0.168 \text{ т С м}^{-3}$  (4-й класс разложения). В работе [20] оценены плотности древесного дебриса по 5 классам разложения для основных лесообразующих пород Ленинградской обл. (сосна, ель, береза, осина). По породам величины варьируют в 1-м классе разложения от  $0.299$  (осина) до  $0.479 \text{ т м}^{-3}$  (береза), по классам разложения КДО сосны от  $0.381$  (1-й класс) до  $0.108 \text{ т м}^{-3}$  (5-й класс). Учитывая, что в составе сухостоя преобладает КДО ранних классов разложения, наши оценки плотности вполне соответствуют сведениям из цитируемых работ.

В табл. 1 приведены типовые величины углерода сухостоя и отношения углерода сухостоя к объемному запасу живой части насаждения для древесных пород России в дифференциации по широтным полосам. В северной полосе углерод сухостоя находится в пределах от  $1.0$  (береза) до  $4.0 \text{ т С га}^{-1}$  (ель), максимальное значение  $9.7 \text{ т С га}^{-1}$  у пихты идентифицировано лишь по одной записи БД ЗС. В средней широтной полосе величины углерода сухостоя наиболее высоки в березняках ( $7.5 \text{ т С га}^{-1}$ ), сосняках ( $7.4 \text{ т С га}^{-1}$ ) и кедровых насаждениях ( $9.4 \text{ т С га}^{-1}$ ), для остальных категорий насаждений они варьируют от  $0.7$  (лиственничники) до  $3.7$  (ельники)  $\text{т С га}^{-1}$ . По данным других авторов, углерод КДО (включая валеж) в хвойных лесах варьирует от  $4$  до  $21 \text{ т С га}^{-1}$  [25], в сосняках северной и средней тайги – от  $7$  до  $44 \text{ т С га}^{-1}$  [26]. Поскольку сухойстой представляет собой лишь часть КДО, наши и литературные оценки следует считать вполне сопоставимыми.

Углероду сухостоя в лесных насаждениях южной широтной полосы свойственны значительные вариации, о чем свидетельствуют широкие пределы доверительных интервалов (табл. 1). Здесь, с одной стороны, высокие температуры способствуют ускорению разложения, наблюдается вывоз сухостоя населением и т.д. С другой стороны, велико поступление органического вещества с отпадом, что определяется высокой продуктивностью насаждений. В зависимости от преобладания какого-либо из перечисленных процессов запасы КДО в конкретном насаждении могут быть как низкими, так и высокими. Углерод сухостоя в этой полосе варьирует от

**Таблица 1.** Показатели углерода сухостоя для преобладающих древесных пород в дифференциации по широтным полосам

Преобладающая порода	Широтная полоса		
	северная	средняя	южная
Размер выборки, пробные площади			
Сосна	57	148	826
Ель	43	65	224
Пихта	1	0	42
Лиственница	163	5	94
Кедр	7	43	67
Твердолиственные	0	7	65
Береза	3	26	64
Осина	0	6	16
Прочие мягколиственные	1	19	15
Средний углерод сухостоя, т га <sup>-1</sup>			
Сосна	3.11±0.83	7.37±1.84	12.87±0.91
Ель	3.96±1.30	3.65±0.43	18.73±3.40
Пихта	9.70	–	19.41±4.46
Лиственница	2.70±0.47	0.68±0.42	6.20±1.48
Кедр	3.51±2.89	9.44±4.69	5.23±1.43
Твердолиственные	–	1.72±0.38	9.02±1.86
Береза	1.02±1.49	7.49±4.36	5.48±1.10
Осина	–	1.97±0.60	3.09±1.12
Прочие мягколиственные	2.98	2.73±1.12	8.28±3.97
Отношение углерода сухостоя к объемному запасу насаждения, т С м <sup>-3</sup>			
Сосна	0.017±0.005	0.045±0.009	0.047±0.004
Ель	0.048±0.014	0.020±0.007	0.172±0.093
Пихта	0.050	–	0.065±0.014
Лиственница	0.033±0.013	0.011±0.008	0.021±0.008
Кедр	0.013±0.009	0.038±0.015	0.017±0.005
Твердолиственные	–	0.012±0.002	0.051±0.013
Береза	0.006±0.009	0.066±0.044	0.025±0.006
Осина	–	0.007±0.002	0.011±0.004
Прочие мягколиственные	0.008	0.043±0.028	0.034±0.022
Отношение среднего углерода сухостоя к среднему объемному запасу насаждения, т С м <sup>-3</sup>			
Сосна	0.015±0.007	0.041±0.013	0.041±0.004
Ель	0.040±0.019	0.014±0.007	0.059±0.035
Пихта	0.050	–	0.062±0.023
Лиственница	0.017±0.009	0.010±0.011	0.016±0.007
Кедр	0.015±0.014	0.040±0.022	0.015±0.007
Твердолиственные	–	0.012±0.005	0.038±0.016
Береза	0.008±0.015	0.045±0.040	0.023±0.007
Осина	–	0.007±0.003	0.010±0.005
Прочие мягколиственные	0.008	0.022±0.022	0.023±0.020

Примечание. В табл. 1, 2 и 4 приведены среднее ± 95%-ный доверительный интервал.

3.1 (осина) до 19.4 (пихта) т С га<sup>-1</sup>. По данным других авторов, в зоне широколиственных лесов величины углерода КДО составляют от 15 до 25 т С га<sup>-1</sup> [25]. Результаты как наших, так и других исследований [4, 12, 13] свидетельствуют, что

запасы углерода КДО, варьируя в зависимости от породы, типа леса и возраста насаждения, в южной полосе достигают более высоких значений по сравнению с северной и средней широтными полосами.

**Таблица 2.** Показатели углерода сухостоя для преобладающих древесных пород в дифференциации по группам возраста

Преобладающая порода	Группа возраста				
	молодняки	средневозрастные	приспевающие	спелые	перестойные
Размер выборки, пробные площади					
Сосна	74	193	366	276	122
Ель	51	73	76	59	73
Пихта	1	0	2	20	20
Лиственница	24	79	28	45	86
Кедр	7	41	60	6	3
Твердолиственные	9	11	25	20	7
Береза	1	28	10	29	25
Осина	0	4	2	7	9
Прочие мягколиственные	0	5	0	13	17
Средний углерод сухостоя, т С га <sup>-1</sup>					
Сосна	4.08±1.13	11.46±1.53	13.23±1.11	12.53±2.11	8.88±1.79
Ель	2.90±1.03	17.63±6.31	29.60±6.69	10.35±3.55	4.21±0.60
Пихта	2.16	–	24.36±1.49	16.01±2.25	22.70±8.72
Лиственница	1.45±0.62	4.90±1.16	4.54±1.70	5.01±2.45	2.93±0.71
Кедр	0.34±0.18	6.00±2.02	8.22±3.45	3.16±2.77	6.76±4.60
Твердолиственные	9.43±3.98	8.60±5.04	8.79±3.00	8.86±3.44	3.09±2.48
Береза	0.04	4.62±2.83	3.12±1.62	7.18±1.92	7.19±3.54
Осина	–	1.39±0.69	3.48±0.32	3.63±1.39	2.60±1.55
Прочие мягколиственные	–	2.33±1.91	–	4.14±2.90	6.68±3.30
Отношение углерода сухостоя к объемному запасу насаждения, т С м <sup>-3</sup>					
Сосна	0.028±0.007	0.050±0.009	0.048±0.006	0.044±0.007	0.044±0.010
Ель	0.013±0.009	0.184±0.104	0.307±0.252	0.050±0.024	0.019±0.004
Пихта	0.012	–	0.096±0.005	0.071±0.020	0.058±0.021
Лиственница	0.007±0.004	0.029±0.019	0.018±0.008	0.050±0.036	0.025±0.005
Кедр	0.009±0.011	0.033±0.014	0.021±0.008	0.014±0.009	0.022±0.016
Твердолиственные	0.070±0.031	0.062±0.041	0.053±0.022	0.027±0.011	0.030±0.033
Береза	0.001	0.044±0.033	0.012±0.006	0.031±0.009	0.044±0.032
Осина	–	0.009±0.006	0.013±0.007	0.010±0.004	0.010±0.006
Прочие мягколиственные	–	0.088±0.080	–	0.024±0.013	0.034±0.021
Отношение среднего углерода сухостоя к среднему объемному запасу насаждения, т С м <sup>-3</sup>					
Сосна	0.026±0.010	0.042±0.010	0.042±0.006	0.040±0.008	0.034±0.011
Ель	0.010±0.007	0.061±0.043	0.113±0.106	0.037±0.022	0.016±0.005
Пихта	0.012	–	0.096±0.006	0.061±0.025	0.062±0.036
Лиственница	0.005±0.004	0.015±0.011	0.015±0.011	0.024±0.022	0.020±0.007
Кедр	0.005±0.008	0.027±0.015	0.022±0.010	0.015±0.013	0.022±0.023
Твердолиственные	0.062±0.044	0.053±0.044	0.047±0.025	0.023±0.015	0.021±0.031
Береза	0.001	0.027±0.026	0.011±0.009	0.030±0.011	0.033±0.027
Осина	–	0.008±0.007	0.012±0.011	0.010±0.006	0.009±0.007
Прочие мягколиственные	–	0.074±0.079	–	0.020±0.018	0.021±0.019

Разным породам свойственны различающиеся возрастные динамики углерода сухостоя (табл. 2). В ельниках, сосняках, пихтарниках, насаждениях кедра наибольшие величины углерода сухостоя приходятся на возрастную группу приспевающих, в лиственничниках и осинниках – на группу спелых, в березняках и насаждениях прочих мяг-

колиственных пород – на группу перестойных. Э.А. Курбанов и О.Н. Кранкина [14] приводят следующие оценки углерода КДО (сухостой, валеж и пни) сосняков Среднего Заволжья: 0.5–3.6 т С га<sup>-1</sup> (возраст 20–28 лет), 4.4–10.8 т С га<sup>-1</sup> (возраст 56–78 лет), 8.6–24.5 т С га<sup>-1</sup> (возраст 104–125 лет). Наши оценки возрастной изменчи-

**Таблица 3.** Оценка адекватности способов расчета показателей сухостоя

Показатель	Способ расчета	Среднее	Среднеквадратичное отклонение оценки от исходных значений
Средний запас углерода сухостоя, т С га <sup>-1</sup>	Порода – широтная полоса	20.4	26.7
	Порода – группа возраста	20.4	26.1
Отношение углерода сухостоя к запасу насаждения, т С м <sup>-3</sup>	Порода – широтная полоса	32.5	42.8
	Порода – группа возраста	31.3	45.4
Отношение среднего углерода сухостоя к среднему запасу насаждения, т С м <sup>-3</sup>	Порода – широтная полоса	20.4	29.1
	Порода – группа возраста	20.4	28.9

вности запасов сухостоя в сосняках России демонстрируют несколько иную тенденцию: величины углерода сухостоя в молодняках равны 4.1 т С га<sup>-1</sup>, в средневозрастных, приспевающих, спелых находятся в пределах 11.5–13.2 т С га<sup>-1</sup>, в перестойных снижаются до 8.9 т С га<sup>-1</sup>. В ряде работ [26, 10, 14] обсуждается рост запаса КДО в старовозрастных лесных вплоть до аномально высоких значений, объясняемых, в свою очередь, увеличением темпов отпада при распаде перестройных насаждений. Этот эффект данными табл. 2 не подтверждается: величины углерода сухостоя у большинства пород в группе перестойных оказываются меньше, чем в группе спелых. В таблицах хода роста лесных насаждений [5] максимальные темпы отпада, как правило, приходятся на группы средневозрастных и приспевающих насаждений. Следовательно, отмеченное присутствие максимальных величин углерода сухостоя в группе приспевающих для большинства пород логично объясняется возрастными изменениями темпов отпада. Отметим, что вывод о снижении углерода КДО в перестойных лесах был сделан одним из авторов этой статьи на основе математического моделирования процесса формирования пула углерода КДО [6].

Помимо средних запасов сухостоя на единицу площади, в табл. 1 и 2 приводятся отношения углерода сухостоя к объемному запасу живой части лесного насаждения. Эти отношения являются конверсионными коэффициентами, позволяющими оценивать запас сухостоя по объемному запасу насаждения. Метод конверсионных коэффициентов с успехом применялся в многочисленных работах [7, 9, 22 и др.] для расчетов запасов фитомассы лесных насаждений. Имеются примеры его использования и в отношении оценки углерода КДО [12, 24].

Нами проведена оценка адекватности рассмотренных способов расчета показателей углерода

сухостоя при помощи анализа среднеквадратичных отклонений оценок от исходных значений (табл. 3). Можно отметить, что наименьшие среднеквадратичные отклонения свойственны наборам типовых значений углерода сухостоя на единицу площади. Способ расчета показателей, основанный на расчете средних отношений углерода сухостоя к запасу насаждения, дает наибольшие отклонения при сравнении с исходной выборкой. Более того, среднее значение углерода сухостоя, рассчитанное по всей выборке, оказывается завышенным по сравнению с исходной выборкой. Причина этого завышения состоит в гиперболическом характере функции, используемой для оценки показателя. При сочетании высокого значения углерода сухостоя с низким объемным запасом, их отношение приобретает крайне большое значение и вносит значительный вклад в последующее усреднение. Указанная проблема снимается при расчете конверсионных отношений по средним для данной категории величинам углерода сухостоя и объемного запаса насаждения, однако и в этом случае среднеквадратичное отклонение оказывается несколько выше, чем при простом усреднении запасов сухостоя. Таким образом, информация табл. 2 свидетельствует о большей адекватности использования типовых значений углерода сухостоя, во всяком случае, в применении к описанию исходной выборки.

При расчете типовых значений углерода сухостоя более предпочтительным оказывается выделение категорий по сочетанию преобладающей породы и группы возраста, этот вариант приводит к наименьшему среднеквадратичному отклонению. Конечно, оптимальным вариантом был бы расчет типовых значений при одновременной дифференциации по преобладающим породам, широтным полосам и возрастным группам, однако осуществить такой расчет не представляется возможным в связи с ограниченным количеством записей БД ЗС. При такой дифференциации на

Таблица 4. Углерод сухостоя лесов Российской Федерации по разным способам оценки

Преобладающая порода	Площадь, 10 <sup>6</sup> га	Объемный запас насаж- дений, 10 <sup>6</sup> м <sup>3</sup>	Углерод сухостоя по способу расчета, 10 <sup>6</sup> т С					
			типовое значение углерода су- хостоя на единицу площади		среднее отношение углерода сухостоя к запасу насаждения		отношение среднего углерода сухостоя к среднему запасу на- саждения	
			порода – ши- ротная полоса	порода – груп- па возраста	порода – ши- ротная полоса	порода – груп- па возраста	порода – ши- ротная полоса	порода – груп- па возраста
Сосна	116.66	15052.2	846.1±160.3	1126.6±183.9	598.7±109.0	676.9±121.2	530.7±142.7	576.8±139.3
Ель	74.36	9702.9	442.4±91.3	682.1±195.4	556.9±243.3	743.7±455.8	302.4±155.5	366.4±245.7
Пихта	14.15	2375.0	180.8±63.2	199.5±42.8	128.9±33.3	144.7±34.2	126.9±39.3	136.8±47.5
Лиственница	275.20	23080.6	579.2±132.5	1057.2±375.4	508.6±235.0	753.6±414.2	319.1±221.2	447.4±298.5
Кедр	38.79	7493.6	292.5±135.9	224.3±94.1	220.4±85.7	187.3±84.0	229.4±125.5	168.2±97.3
Твердолиственные	17.67	1986.6	94.1±19.6	137.6±64.8	71.3±17.5	83.0±50.5	55.3±22.5	69.9±55.7
Береза	104.01	10791.8	598.3±292.8	470.2±273.5	452.4±256.8	367.6±237.5	341.2±244.6	282.1±209.2
Осина	21.38	3291.1	53.5±18.0	51.3±22.2	30.6±10.2	33.3±18.1	29.1±13.3	31.1±22.9
Прочие мягколиственные	7.71	1075.0	48.8±22.8	27.8±19.2	36.6±25.3	51.3±40.2	23.2±22.5	42.7±41.5
Прочие породы	0.78	27.8	2.0±0.4	6.7±3.8	0.7±0.2	1.6±1.0	0.7±0.2	1.6±1.0
Итого	670.73	74876.7	3137.7±936.8	3983.3±1275.2	2605.2±1016.2	3042.9±1456.8	1958.2±987.3	2123.0±1158.6

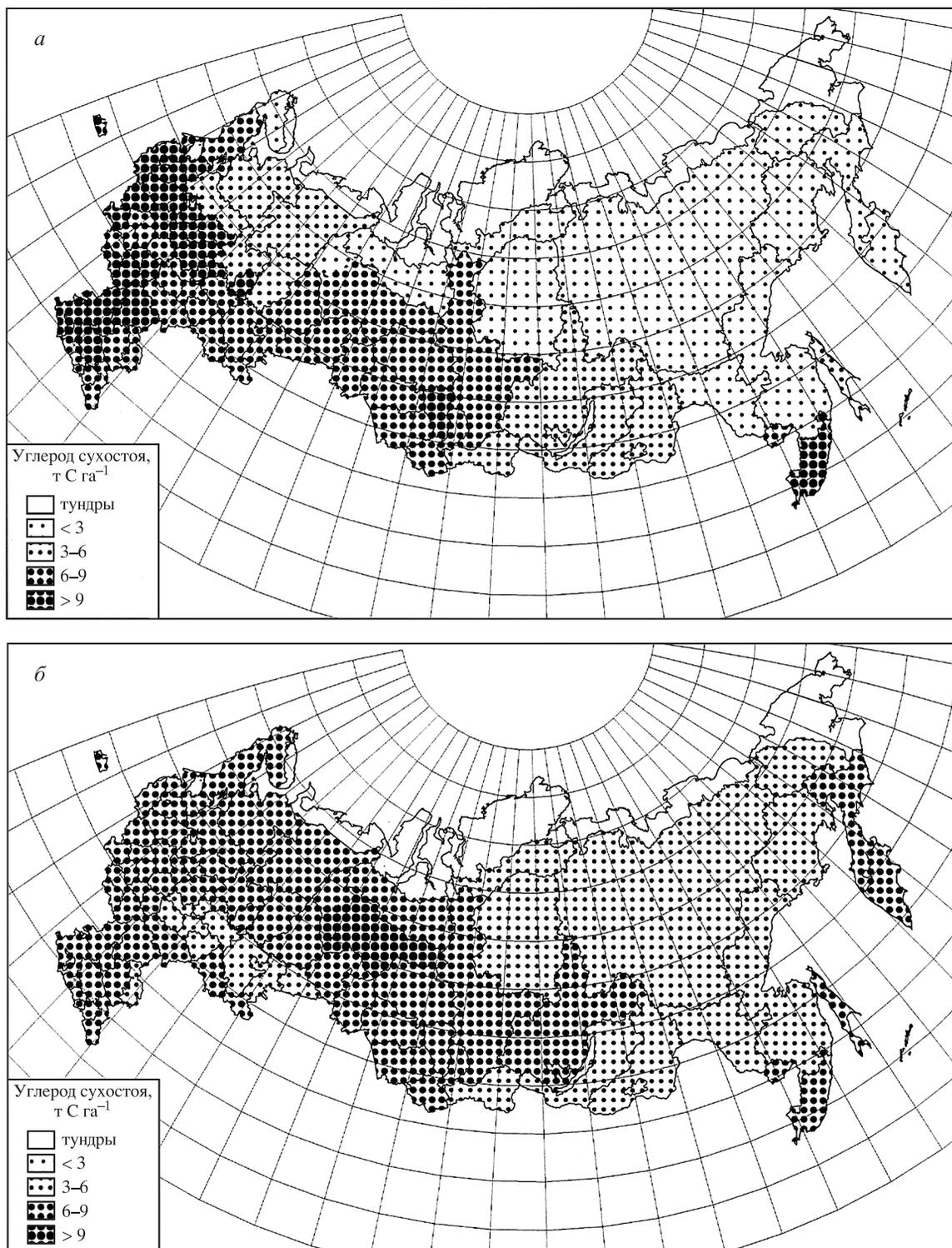
значительную часть категорий приходилось бы слишком малое или нулевое число записей.

На основе найденных наборов показателей (табл. 1 и 2) и сведений Государственного лесного реестра по состоянию на 01.01.2008 г. были определены общие запасы углерода сухостоя в лесах Российской Федерации. Оценка проводилась для земель лесного фонда, покрытых основными и прочими лесобразующими породами ( $670.73 \times 10^6$  га). Покрытые лесом земли лесного фонда ( $746.31 \times 10^6$  га) включают также кустарниковые насаждения ( $75.58 \times 10^6$  га), для которых расчеты углерода сухостоя не проводились. При оценке суммарного углерода сухостоя лакуны в табл. 1 и 2 заполнялись по смежным категориям насаждений.

В зависимости от набора показателей, оценки углерода сухостоя в лесах России варьируют от  $1958.2 \times 10^6$  до  $3983.3 \times 10^6$  т С (табл. 4). Отметим, что способ расчета, наиболее адекватный по статистическим критериям (табл. 3), дает наивысшую величину углерода сухостоя. Результаты расчета по средним отношениям углерода сухостоя к запасу насаждения оказываются достаточно близкими к таковым с использованием типовых значений. Оценка по отношениям среднего углерода сухостоя к среднему запасу насаждения приводит к наименьшим величинам. Все полученные оценки пересекаются по границам 95%-ных доверительных интервалов. Среднее значение углерода сухостоя для лесов России находится в пределах  $2.9-5.9$  т С га<sup>-1</sup>.

Наибольший вклад в варьирование суммарного углерода сухостоя лесов России вносят насаждения лиственницы. Эта порода доминирует в лесах России (41% по площади и 31% по объемному запасу), однако на ее долю приходится лишь 13% записей БД ЗС. По-видимому, этого не достаточно для точного установления показателей углерода сухостоя насаждений лиственницы. В результате углерод сухостоя лиственничников варьирует по способам оценки от  $319.1 \times 10^6$  до  $1057.2 \times 10^6$  т С, т.е. более чем в 3 раза.

Рассмотрим влияние разных способов расчета на распределение средних величин углерода сухостоя по покрытым лесобразующими породами землям субъектов РФ. Набор типовых значений в варианте порода – группа возраста, наиболее адекватно описывающий исходную выборку, в приложении к характеристике пространственного распределения углерода сухостоя дает наиболее выровненную картину (рис. 1б): почти все полигоны укладываются в диапазон  $3-9$  т С м<sup>-2</sup>. Применение типовых значений в варианте по-



**Рис. 1.** Распределение величин углерода сухостоя по субъектам РФ при расчете по типовым значениям на единицу площади в дифференциации пороода – широтная полоса (а) и пороода – группа возраста (б).

рода – широтная полоса (рис. 1а) и средних отношений к запасу насаждения в вариантах пороода – широтная полоса (рис. 2а) и пороода – группа возраста (рис. 2б) приводит к выраженной пространственной изменчивости оценок, при-

чем очень сходной для трех вариантов расчета. Следовательно, именно эти наборы имеет смысл применять, если ставится задача учета пространственной изменчивости величин углерода сухостоя.

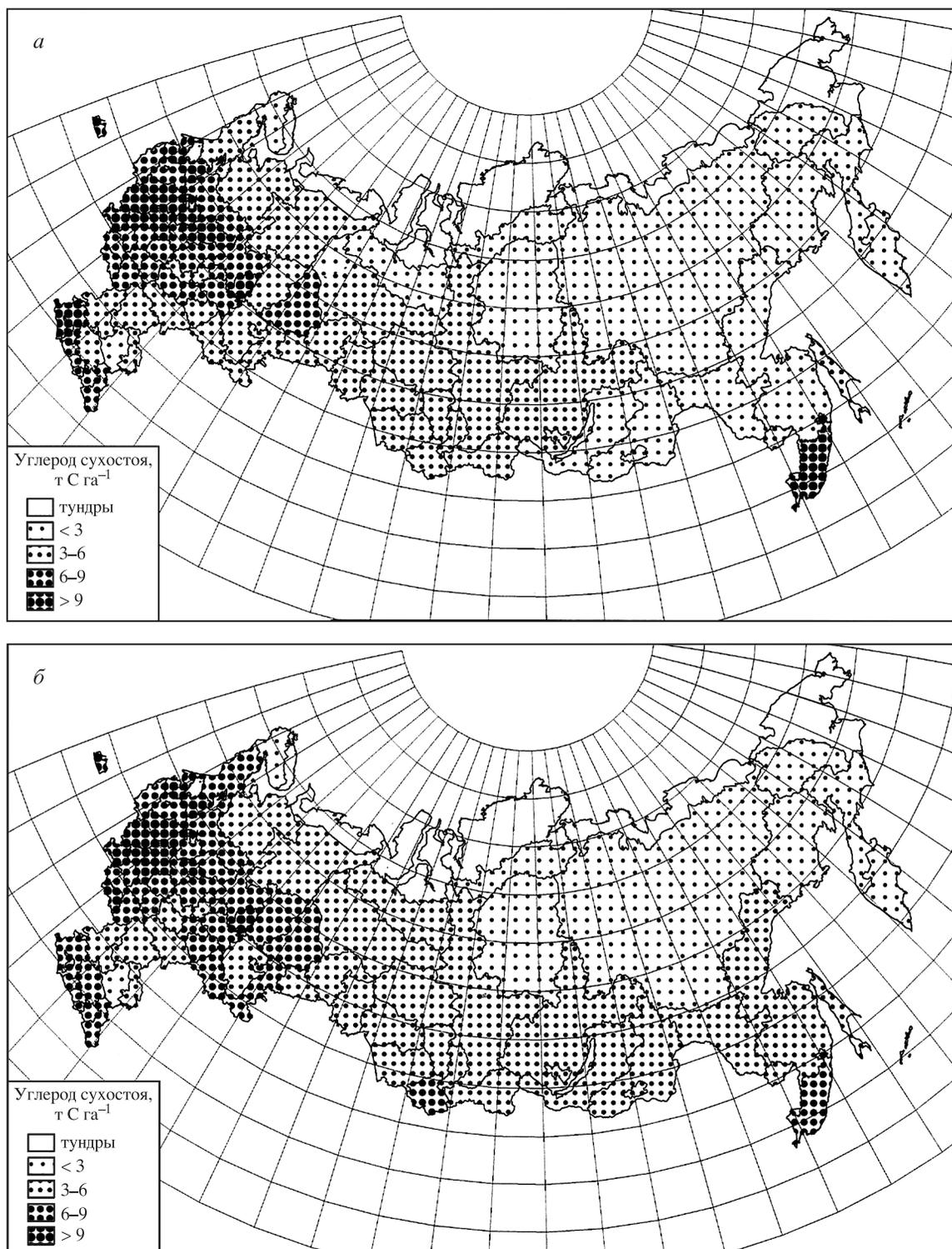


Рис. 2. Распределение величин углерода сухостоя по субъектам РФ при расчете по средним конверсионным отношениям в дифференциации порода – широтная полоса (а) и порода – группа возраста (б).

В работе [24] расчет углерода сухостоя для покрытых лесом земель ведется по конверсии от запаса древесины, для редин и не покрытых лесом земель – по типовым показателям на едини-

цу площади. Для  $895.41 \times 10^6$  га лесных земель суммарная оценка углерода сухостоя составила  $2533 \times 10^6$  т С ( $2.8$  т С га<sup>-1</sup>). Насаждения лиственницы, согласно результатам цитируемой работы,

обладают  $716 \times 10^6$  т С сухостоя. На основе конверсионных отношений, найденных по раннему варианту БД ЗС с меньшим количеством записей, углерод сухостоя на покрытых лесом землях России по состоянию на 2003 г. ( $733.15 \times 10^6$  га) был оценен нами в  $2184 \times 10^6$  т С при среднем значении  $3.0$  т С га<sup>-1</sup> [12]. Таким образом, опубликованные ранее конверсионно-объемные оценки углерода сухостоя количественно близки значениям, полученным в настоящей работе при использовании такого же подхода.

В модельном исследовании [6] суммарные запасы углерода КДО на покрытых лесом землях определены в  $9503.9 \times 10^6$  т С при среднем значении  $13.0$  т С га<sup>-1</sup>. Используя величины табл. 2, получаем, что углерод сухостоя составляет 21–42% от общего пула КДО, что вполне соответствует соотношениям, полученным на пробных площадях [3, 15, 16].

**Заключение.** Получены наборы типовых значений углерода сухостоя на единицу площади и коэффициентов конверсии из объемного запаса насаждения в углерод сухостоя. Эти наборы позволяют проводить оценку углерода сухостоя лесного региона при известных площадях и суммарных запасах насаждений. По формальным критериям наиболее адекватным представляется использование типовых значений, дифференцированных по группам возраста преобладающих пород. Однако в региональных исследованиях имеет смысл опираться на конверсию от запасов насаждения, поскольку этот подход позволяет учитывать мозаичность лесного покрова.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Габеев В.Н.* Биологическая продуктивность лесов Приобья. Новосибирск: Наука, 1976. 170 с.
2. *Ведрова Э.Ф., Кошурникова Н.Н.* Масса и состав фитодетрита в темнохвойных лесах южной тайги // *Лесоведение*. 2007. № 5. С. 3–11.
3. *Ведрова Э.Ф., Плешиков Ф.И., Каплунов В.Я.* Структура органического вещества северотаежных экосистем средней Сибири // *Лесоведение*. 2002. № 6. С. 3–12.
4. *Демаков Ю.П.* Диагностика устойчивости лесных экосистем (методологические и методические аспекты). Йошкар-Ола: Периодика Марий Эл, 2000. 416 с.
5. *Загреев В.В., Сухих В.И., Швиденко А.З., Гусев Н.Н., Мошкалев А.Г.* Общесоюзные нормативы для таксации лесов. М.: Колос, 1992. 495 с.
6. *Замолотчиков Д.Г.* Оценка пула углерода крупных древесных остатков в лесах России с учетом влияния пожаров и рубок // *Лесоведение*. 2009. № 4. С. 3–15.
7. *Замолотчиков Д.Г., Коровин Г.Н., Уткин А.И., Честных О.В., Сонген Б.* Углерод в лесном фонде и сельскохозяйственных угодьях России. М.: КМК, 2005. 212 с.
8. *Исаев А.С., Коровин Г.Н., Сухих В.И., Титов С.П., Уткин А.И., Голуб А.А., Замолотчиков Д.Г., Прыжников А.А.* Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России. М.: Центр экологической политики, 1995. 156 с.
9. *Исаев А.С., Коровин Г.Н., Уткин А.И., Прыжников А.А., Замолотчиков Д.Г.* Оценка запасов и годовичного депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России // *Лесоведение*. 1993. № 6. С. 3–10.
10. *Климченко А.В.* Аккумуляция углерода в валежнике лиственничников северной тайги Средней Сибири // *Лесное хозяйство*. 2005. № 5. С. 33–34.
11. *Кобак К.И., Кукуев Ю.А., Трейфельд Р.Ф.* Роль лесов в изменении содержания углерода в атмосфере (на примере Ленинградской обл.) // *Лесное хозяйство*. 1999. № 2. С. 43–45.
12. *Кудеяров В.Н., Заварзин Г.А., Благодатский С.А., Борисов А.В., Воронин П.Ю., Демкин В.А., Демкина Т.С., Евдокимов И.В., Замолотчиков Д.Г., Карелин Д.В., Комаров А.С., Курганова И.Н., Ларионова А.А., Лопес де Гереню В.О., Уткин А.И., Чертов О.Г.* Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России. М.: Наука, 2007. 315 с.
13. *Курбанов Э.А.* Бюджет углерода сосновых экосистем Волго-Вятского района. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. 300 с.
14. *Курбанов Е.А., Кранкина О.Н.* Древесный детрит в сосновых насаждениях Среднего Заволжья // *Лесной журнал*. 2001. № 4. С. 28–32.
15. *Москалюк Т.А.* Структура и продуктивность лесов Северного Охотоморья. Владивосток: ДВО АН СССР, 1988. 141 с.
16. *Пахучий В.В.* Девственные леса Северного Приуралья. СПб.: Наука, 1999. 136 с.
17. Руководящие указания по эффективной практике для землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства. Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов. МГЭИК, 2003.
18. *Тарасов М.Е.* Методические подходы к определению скорости разложения древесного детрита // *Лесоведение*. 2002. № 5. С. 32–38.
19. *Тимофеев В.П., Кротова Н.Г., Болычевцев В.Г., Моравов А.А.* Итоги экспериментальных работ в лесной опытной даче ТСХА за 1862–1962 годы. М.: изд-во ТСХА, 1964. 518 с.
20. *Трейфельд Р.Ф., Кранкина О.Н.* Определение запасов и фитомассы древесного детрита на основе данных лесоустройства // *Лесное хозяйство*. 2001. № 4. С. 23–26.

21. Тюлина Л.Н. Лесная растительность среднего и нижнего течения р. Юдомы и низовьев р. Май. М.: Л.: Изд-во АН СССР, 1959. 222 с.
22. Углерод в экосистемах лесов и болот России / Под ред. В.А. Алексеева и Р.А. Бердси. Красноярск: Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 1994. 170 с.
23. Уткин А.И. Леса Центральной Якутии. М.: Наука, 1965. 308 с.
24. Швиденко А.З., Щенащенко Д.Г., Нильссон С. Оценка запасов древесного детрита в лесах России // Лесная таксация и лесоустройство. 2009. № 1(41). С. 133–147.
25. Gore J.A., Patterson W. Mass of downed wood in northern hardwood forests in New Hampshire: potential effects in forest management // Can. J. Forest Resources. 1986. V. 16. P. 335–339.
26. Karjalainen L., Kuuluvainen T. Amount and diversity of coarse woody debris within a boreal forest landscape dominated by *Pinus sylvestries* in Vienansalo Wilderness, Eastern Fennoscandia // Silva Fennica. 2002. V. 36 (1). P. 147–167.
27. Nilsson S., Shvidenko A., Stolbovoi V., Gluck V., Mattias J., Obersteiner M. Full Carbon Account for Russia. IIASA Interim Report, 1R-00-021. Luxemburg: IIASA, 2000. 181 p.

## Approaches to Assessment of Carbon in Dead Standing Trees

**D. G. Zamolodchikov, N. V. Zukert, O. V. Chestnykh**

A specialized database on the reserves of dead standing trees in forests of Russia is developed. Sets of characteristics for carbon in dead wood are obtained. They allow calculating the carbon reserves in dead standing tree on the basis of the data on areas and stand stock. The sets include the type values of dead wood according to the dominant species, age groups and geographical position of stands, as well as by coefficients for conversion of the volume stand reserves to carbon of dead wood. Based on the information of the State Forest Register (01.01.2008) and the sets of characteristics used, the carbon reserves of dead wood in forests of Russia were calculated. For lands of the Forest Fund (670.73 mln ha), estimates of the total carbon in dead standing trees vary from 1.96 to 3.98 Gt C depending on the indices analyzed.