

УДК-630*182.4/5(470).

КОНВЕРСИОННЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ФИТОМАССА/ЗАПАС В СВЯЗИ С ДЕНДРОМЕТРИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ И СОСТАВОМ ДРЕВОСТОЕВ*

© 2005 г. Д. Г. Замолодчиков¹, А. И. Уткин^{1,2}, Г. Н. Коровин¹

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

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

²Институт лесоведения РАН

143030 Успенское, Одинцовский р-н, Московская обл.

E-mail: root@ilan.msk.ru

Поступила в редакцию 09.06.2005 г.

Проанализированы материалы базы данных по фитомассе и продуктивности лесных экосистем для насаждений основных лесобразующих пород России. Охарактеризованы и выражены уравнениями связи между фитомассой фракций древостоев (стволы, ветви, листва, корни) и средними таксационными показателями последних (диаметр и высота). Полученные системы уравнений использованы для уточнения конверсионных коэффициентов фитомасса/запас ($K_f = Ph/M$) с целью более точного определения углеродного пула в фитомассе лесов Российской Федерации.

Фитомасса, фракции, коэффициенты фитомасса/запас, основные лесобразующие породы, таксационные показатели древостоев, средний диаметр, средняя высота, "видовой цилиндр", нормы для расчетов.

Подписание и ратификация в 2004 г. Российской Федерацией Киотского протокола повлекут за собой серьезные усилия по оценке пулов углерода в лесном фонде страны и лесах, не входящих в него. Для решения этой задачи потребуются сопряженная обработка экспериментальных данных по биологической продуктивности лесов, материалов лесоинвентаризации и данных государственных учетов лесного фонда (ГУЛФ) [9].

Использование лесоустроительной информации и последующее моделирование позволяют получить более детальное по сравнению с материалами ГУЛФ пространственно-временное представление о лесных насаждениях. Таким способом, например, можно оценить пулы углерода отдельных пород в составе смешанных насаждений, охарактеризовав эти породы широким набором таксационных показателей. Другими словами, более корректно и точно описать биологическую продуктивность лесных экосистем, прежде всего запасы фитомассы древостоя и ее углеродного эквивалента.

Во всем мире удобной для оценки пулов углерода в лесах признается конверсия объемных запасов насаждений в фитомассу и далее в углерод [2, 3, 10, 11, 17, 21–24, 26 и др.]. Этот подход прак-

тикуется и ФАО при оценке древесных ресурсов и лесопользования отдельных государств [19]. Нами разработаны применяемые к информации ГУЛФ системы конверсионных коэффициентов, специфичных к возрастным группам (точнее, к их средним возрастам) лесных насаждений [2, 13, 16] и к конкретному возрасту древостоев [1, 15]. Учет лесного фонда осуществляется в России в формате "преобладающих пород", т.е. игнорируя реальный породный состав древостоев. Тот же принцип сохранен и для систем конверсионных отношений фитомасса/запас. Однако эти системы недостаточно корректны для определения запасов отдельных пород в смешанных насаждениях и могут привести к существенным систематическим ошибкам. Цель настоящего сообщения – разработка системы коэффициентов конверсии фитомасса/запас для чистых однопородных насаждений и отдельных элементов леса в составе смешанных насаждений с учетом их таксационных показателей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Исходным для анализа источником информации служила база данных "Биологическая продуктивность лесных экосистем" [12], созданная сотрудниками Института лесоведения РАН и Центра по проблемам экологии и продуктивности

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (03-04-48097, 05-04-49552).

ти лесов РАН. Она включает данные по 2060 пробным площадям насаждений из числа основных лесообразующих пород. Информация сгруппирована в ней по следующим основным блокам: географическое положение и лесорастительные условия; таксационные характеристики насаждений; фитомасса и продукция древесного яруса (с разделением по фракциям: стволы, ветви и побеги, листва, подземные органы); фитомасса и продукция нижних ярусов фитоценозов; а также не привлекаемые в настоящей статье сведения о запасах мертвой древесины, лесных подстилок, годичном опаде, индексах листовой поверхности и др. База объединяет практически все доступные экспериментальные сведения о биологической продуктивности лесов РФ, стран СНГ и других сопредельных государств, полученные разными авторами с использованием различных методов.

Информация по отдельным древесным породам может быть представлена в базе данных тремя способами: 1) в целом по древостою, если он монодоминантный (чистый по составу); 2) по ярусам сложного (с двумя и более ярусами) насаждения, если в составе ярусов имеется лишь одна порода; 3) по составляющим породам одноярусных смешанных насаждений либо смешанных ярусов сложных насаждений.

Предварительно был проведен анализ данных по составу древостоя и его ярусов. В итоге из общей базы данных была сформирована выборка, содержащая информацию для чистых по составу древостоев и ярусов, а также элементов леса в составе смешанных насаждений (1136 записей). Лесообразующие породы представлены в выборке неравномерно, доминирует сосна (581 запись), далее следуют ель (132), береза (120), дуб (81), лиственница (57), осина (36), серая и черная ольха в совокупности (14). Поиск математических форм зависимостей конверсионных коэффициентов фитомасса/запас от таксационных показателей проводился в разрезе лесообразующих пород. Для наиболее представительной по числу записей породы – сосны – рассматривались и географические различия для северной (северная тайга), средней (средняя тайга) и южной (южная тайга и более южные географические зоны) широтных полос.

Зависимыми переменными служили коэффициенты фитомасса/запас следующих фракций: стволы в коре (K_s), ветви (K_b), листва (K_l), пни и корни (K_r) (размерность – тонн абсолютно сухого вещества на 1 м^3). В качестве возможных предикторов величин перечисленных конверсионных коэффициентов испытывались следующие таксационные показатели: средний диаметр (D , см), средняя высота (H , м) и “видовой цилиндр” как произведение квадрата диаметра на высоту (D^2H , $\text{см}^2 \text{ м}$). С применением процедур нелинейной рег-

рессии, реализованных в пакете STATISTIKA version 6 [25], были проанализированы различные математические формулы связи между K_s, \dots, K_r и их предикторами. Общее число аппроксимированных уравнений составило 189. Для оценки степени аппроксимации исходных данных конкретным уравнением использовали коэффициент детерминации (R^2), остаточную сумму квадратов отклонений (L) и стандартную ошибку регрессионной оценки (SE), равную

$$SE = L^{0.5}/(n - m), \quad (1)$$

где n – объем выборки исходных данных, m – число параметров уравнения.

Для выбора наиболее адекватного типа уравнения последние были сгруппированы в различные “наборы”, например, все уравнения, описывающие зависимости коэффициентов для фитомассы ветвей, и так далее. Каждый набор характеризовали средними R^2 и SE и суммарной L .

При сравнении исходных и расчетных значений использовали среднее отличие (отношение средней разности между расчетными и исходными значениями к среднему по исходной выборке, %) и среднее абсолютное отличие (отношение модуля средней разности между расчетными и исходными значениями к среднему по исходной выборке, %).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Зависимости конверсионных коэффициентов для различных фракций фитомассы от среднего диаметра древостоя имеют сходный характер для всех исследованных лесообразующих пород. Рассмотрим их на примере сосны (рис. 1) как наиболее представленной исходными данными породы. Величина K_s практически не зависит от среднего диаметра древостоя. Этот результат вполне очевиден; ибо запас насаждения, выражаемый объемом древесины стволов в коре, через плотность древесины связан с массой. Рис. 1 свидетельствует, что по анализируемым экспериментальным данным в насаждениях сосны (как, впрочем, и других исследуемых пород) отсутствуют значимые изменения плотности древесины, зависящие от среднего диаметра древостоев.

Для остальных фракций фитомассы всех пород прослеживается единая закономерность: K_b, K_l, K_r максимальны для древостоев с наименьшими средними диаметрами, затем при увеличении диаметра они постепенно снижаются с приближением к асимптоте. Для этих фракций подбирались нелинейные уравнения, описывающие найденные закономерности.

Данные по сосне на рис. 1 нанесены с разделением на 3 широтные полосы: северную, среднюю и южную. Следует отметить, что различия в зави-

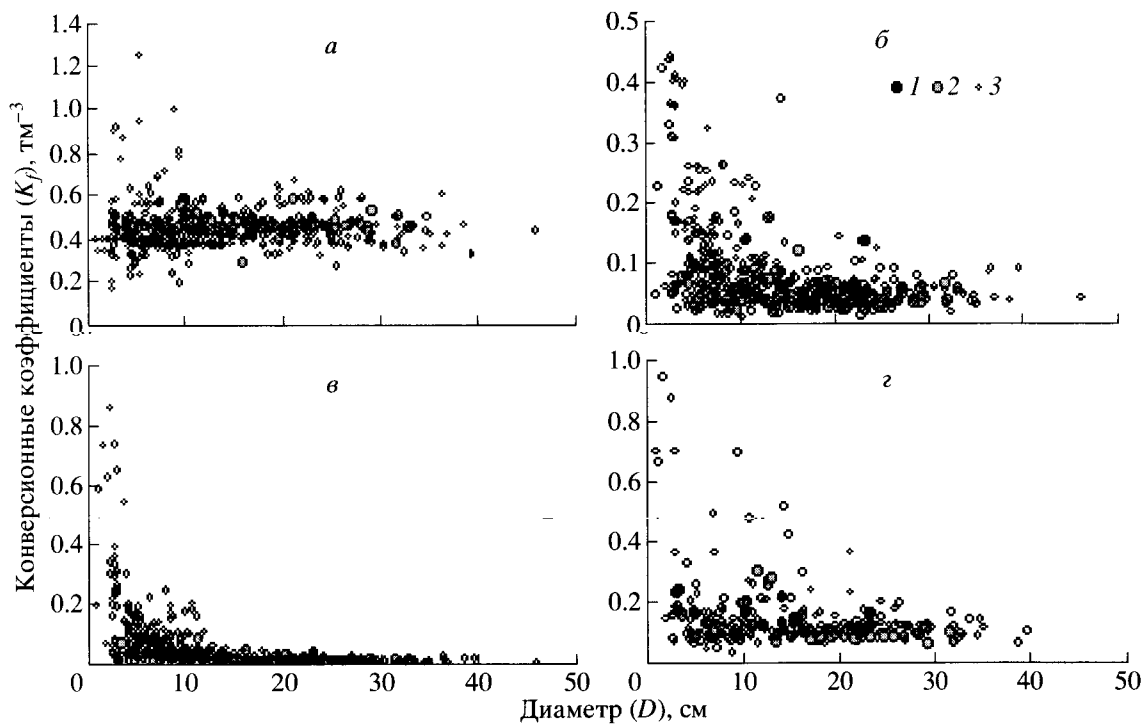


Рис. 1. Зависимость конверсионных коэффициентов (K_p) для фитомассы стволов (*а*), ветвей (*б*), листьев (*в*) и корней (*г*) от среднего диаметра (D) в насаждениях сосны. Широтные полосы: 1 – северная, 2 – средняя, 3 – южная.

симостях конверсионных коэффициентов от среднего диаметра для широтных полос отсутствуют: данные для разных широтных полос укладываются в единую зависимость. Таким образом, зональная специфичность величин коэффициентов, выявленная авторами в ранее опубликованных работах [1, 13, 16], связана прежде всего с различиями в таксационных характеристиках насаждений (диаметром и высотой) из разных широтных полос. Использование в качестве независимой переменной той или иной таксационной характеристики (в приведенном на рис. 1 примере – средний диаметр) позволяет объяснить большую часть дисперсии исходных данных, включая ту, которая в наших предыдущих работах отождествлялась с влиянием географических факторов. В специальных древесиноведческих исследованиях выделяются широтные тренды плотности древесины и коры сосны и ели [8], однако наши результаты показывают, что эти тренды не оказывают статистически значимого влияния на соотношения между фитомассой фракций и удельными (на 1 га) запасами насаждений в случае выражения обоих этих показателей в интегрированном виде.

Известно, что высота и диаметр дерева тесно связаны между собой. То же относится и к средним диаметрам и средним высотам древостоев. Нелишне вернуться к давним отечественным работкам об “относительных высотах”, т.е. отношениях H/D , деревьев в насаждениях, когда H и D

выражаются одинаковыми единицами. Я.С. Медведев [5, 6] сформулировал концепцию, что отношение H/D деревьев разных видов может характеризовать теневыносливость древесных пород. А.Г. Марченко [4] и другие лесоводы высказались против этой концепции. Обе дискутирующие стороны оперировали небольшими выборками фактических материалов. Причем Я.С. Медведев опирался на таблицы хода роста, А.Г. Марченко – на модельные деревья, взятые на пробных площадях, хотя эти подходы и не являются полностью сравнимыми. Например, для ельников земли Северный Рейн–Вестфалия (Германия) [22], в насаждениях возрастного ряда 20–120 лет средние величины H/D составляли (в см на см⁻¹): по таблицам хода роста умеренно прореживаемых насаждений I класса бонитета 112.0, по материалам лесоустройства 83.3, по данным пробных площадей 81.7, по модельным деревьям 83.0. Внимание к H/D как таксационной характеристике усилилось в последние десятилетия, что связано с совершенствованием дистанционных методов, которые позволили проще и легче определять высоту деревьев, чем классов (ступеней) толщины.

В нормативах для таксации лесов [7, табл. 43] для 7 лесобразующих пород приводятся соотношения средних диаметров и высот (т.е. обратные к H/D характеристикам) в больших возрастных интервалах и по классам бонитета. Эти данные нами были выборочно пересчитаны в H/D (табл. 1).

Таблица 1. Возрастные изменения отношения высоты к диаметру (м см^{-1}) для некоторых лесообразующих пород (по [7, табл. 43])

Порода	Класс бонитета	Возраст, лет		
		20	70	120
Сосна	I	1.08	0.92	0.79
	III	1.08	0.92	0.79
	V	0.97	0.88	0.77
Ель	I	1.12	0.93	0.81
	III	0.91	0.93	0.86
	V	0.74	0.87	0.86
Дуб семенной	I	1.20	0.85	0.69
	III	1.26	0.85	0.70
	IV	1.43	0.89	0.76
Дуб порослевой	I	1.08	0.93	0.76
Береза	Г	1.37	0.98	0.93*
	III	1.25	1.00	0.96*
	V	1.15	1.03	1.01*

* В возрасте 100 лет.

У большинства пород имеет место плавное понижение H/D в возрастном интервале 20–120 лет. Приведенные в табл. 1 величины варьируют от 0.69 до 1.43 при среднем значении 0.97 и медиане 1.06. Поскольку $H/D \approx 1$, зависимости коэффициентов K_b, K_l, K_r от средней высоты (H) не должны резко отличаться от таковых с использованием в качестве аргумента среднего диаметра (D). Последнее вполне подтверждается рассмотрением зависимостей коэффициентов фитомассы ветвей для насаждений сосны (рис. 2). Окончательный же выбор таксационных показателей древостоя в качестве независимых переменных возможен

лишь после статистического анализа получаемых регрессионных уравнений.

При выборе форм исследуемых уравнений мы опирались на опубликованные работы [1, 14, 20]. При описании зависимости K_b, K_l, K_r от возраста насаждений хорошо зарекомендовала себя гиперболическая функция [1]. В нашем случае можно предложить следующую трехпараметрическую гиперболическую зависимость:

$$K_f = a + b/(c + X), \quad (2)$$

где K_f – фракционный коэффициент конверсии; X – таксационный показатель древостоя (D, H или D^2H); a, b и c – параметры.

При описании зависимостей массы фракций дерева от его индивидуальных параметров нами ранее использовались степенные зависимости [14, 20]:

$$K_f = aX^b. \quad (3)$$

Заметим, что при использовании в качестве X величины D^2H уравнение (3) сводится к:

$$K_f = aD^{2b}H^b, \quad (4)$$

т.е. фактически представляет собой степенную функцию от двух переменных, причем коэффициент степени при D вдвое больше, чем при H . Если снять это ограничение, получается трехпараметрическое уравнение:

$$K_f = aD^bH^c, \quad (5)$$

которое также было использовано в нелинейном регрессионном анализе.

Табл. 2 демонстрирует качество аппроксимации исходных данных по фракциям фитомассы. Для фитомассы стволов средний R^2 очень мал и статистически незначим, что является подтверждением тезиса о независимости данного конверсионного коэффициента от средних высот и диаметров.

Таблица 2. Степень аппроксимации исходных данных различными наборами уравнений

Фракция	Тип уравнения	Предикторы	R^2	L	SE	Число уравнений в наборе
Стволы	(2), (3), (5)	D, H, D_2H, D и H	0.034	77.18	0.0220	49
Ветви	То же	То же	0.356	19.11	0.0059	49
Листва	»	»	0.581	20.39	0.0039	49
Корни	»	»	0.312	74.23	0.0302	42
Ветви, листва, корни	(2)	D	0.342	15.89	0.0136	20
То же	»	H	0.495	20.20	0.0127	20
»	»	D_2H	0.388	14.07	0.0123	20
»	(3)	D	0.362	15.94	0.0127	20
»	»	H	0.520	20.56	0.0118	20
»	»	D_2H	0.393	14.96	0.0126	20
»	(5)	D и H	0.451	12.11	0.0117	20

Таблица 3. Значение конверсионного коэффициента для фитомассы стволов (K_s , т м⁻³) по основным лесобразующим породам России

Порода	K_s	n	SE
Сосна	0.449	570	0.0041
Ель	0.455	132	0.0098
Лиственница	0.579	51	0.0175
Дуб	0.632	81	0.0189
Береза	0.551	117	0.0110
Осина	0.479	36	0.0298
Ольха	0.552	13	0.0458

вых условиях с небольшим числом модельных деревьев она всегда определяется с невысокой точностью.

При аппроксимации зависимостей всех других фракций фитомассы, отличных от стволов (табл. 2), максимальный средний R^2 относился к набору уравнений вида (3) при использовании средней высоты как независимой переменной. Однако наименьшие L и SE свойственны набору уравнений вида (5). Именно его мы и рекомендуем для использования при конверсии объемных запасов в фитомассу для чистых по составу древостоев, ярусов и элементов леса в смешанных насаждениях. Отметим, что для оценки запасов фитомассы по реласкопическим пробам полезным может оказаться уравнение (3) с использованием среднего диаметра. Табл. 3 содержит постоянное для данной породы значение конверсионного коэффициента для фитомассы стволов (рассчитанное как среднее значение по выборке для данной породы), а табл. 4 – параметры уравнений (3) и (5) для прочих фракций фитомассы. К сожалению, для фракций фитомассы некоторых пород (ветви; листва у лиственницы, корни у ели, осины и оль-

тров древостоев. Можно рекомендовать использование постоянной величины K_s для стволов всех насаждений данной породы. Для остальных фракций фитомассы насаждений подтверждено наличие статистически значимых зависимостей от исследованных таксационных показателей. По сравнению с ветвями и листвой фракция корней характеризуется меньшим R^2 , поскольку в поле-

Таблица 4. Параметры уравнений $K_f = aD^b$ и $K_f = aD^bH^c$ для нестволовых фракций фитомассы по основным лесобразующим породам России

Порода	Фракция	$K_f = aD^b$					$K_f = aD^bH^c$					
		a	b	R^2	SE	n	a	b	c	R^2	SE	n
Сосна	Ветви	0.340	-0.609	0.304	0.0028	491	0.534	0.650	-1.536	0.608	0.0021	487
	Листва	0.630	-1.028	0.456	0.0033	485	1.318	0.209	-1.732	0.668	0.0026	481
	Корни	0.490	-0.473	0.093	0.0115	246	0.630	1.195	-1.820	0.221	0.0107	246
Ель	Ветви	0.282	-0.411	0.343	0.0040	114	0.281	-0.597	0.175	0.417	0.0040	100
	Листва	0.436	-0.709	0.623	0.0034	113	0.397	-0.984	0.319	0.637	0.0038	99
	Корни	0.227	-0.153	0.042	0.0086	68	0.219	-0.243	0.102	0.044	0.0089	67
Лиственница	Ветви	0.060	-0.006	0.000	0.0037	43	0.072	0.274	-0.361	0.027	0.0037	43
	Листва	0.046	-0.328	0.142	0.0017	43	0.060	0.136	-0.587	0.184	0.0017	43
	Корни	0.576	-0.190	0.018	0.0884	14	11.441	0.615	-2.181	0.627	0.0595	14
Дуб	Ветви	0.537	-0.576	0.486	0.0131	69	0.567	-0.346	-0.243	0.494	0.0131	69
	Листва	0.562	-1.164	0.894	0.0054	68	0.677	-0.926	-0.388	0.907	0.0051	68
	Корни	0.989	-0.556	0.543	0.0665	15	0.577	-1.273	0.965	0.636	0.0642	15
Береза	Ветви	0.167	-0.360	0.253	0.0033	106	0.241	-0.012	-0.461	0.487	0.0031	106
	Листва	0.139	-0.760	0.518	0.0017	106	0.262	-0.063	-0.888	0.784	0.0016	106
	Корни	0.457	-0.479	0.683	0.0044	25	0.676	-1.292	0.559	0.548	0.0088	25
Осина	Ветви	0.192	-0.479	0.296	0.0076	28	0.081	-0.268	0.116	0.230	0.0088	28
	Листва	0.398	-1.104	0.506	0.0074	26	0.065	-0.134	-0.375	0.645	0.0107	26
	Корни*	0.127	-0.004	0.000	0.0087	7	0.303	0.613	-0.892	0.130	0.0111	7
Ольха	Ветви	0.308	-0.701	0.546	0.0057	13	0.084	-0.217	0.016	0.443	0.0082	13
	Листва	0.084	-0.676	0.486	0.0020	13	0.014	-0.629	0.590	0.278	0.0029	13
	Корни*	0.127	-0.004	0.000	0.0087	7	0.303	0.613	-0.892	0.130	0.0111	7

* Уравнения получены для совместной выборки по осине и ольхе по причине недостатка исходных данных.

Таблица 5. Сравнение эффективности использования систем конверсионных коэффициентов, зависящих от диаметра и высоты (D, H) по уравнению (5) и от возраста (A)

Порода	Число деревьев	Средняя фитомасса, т га ⁻¹			Отличие расчетных значений от исходных, %			
		исходная	расчетная		среднее		среднее абсолютное	
			по D, H	по A	по D, H	по A	по D, H	по A
Надземная фитомасса								
Сосна	443	101.3	100.3	107.0	-0.9	5.6	11.9	14.8
Ель	98	137.2	145.0	152.3	5.7	11.0	13.5	17.4
Дуб	67	74.1	73.3	82.2	-1.1	11.0	17.3	18.0
Береза	103	88.0	90.3	86.9	2.6	-1.2	9.0	9.9
Все породы вместе	711	101.7	102.5	108.0	0.7	6.1	12.2	14.9
Подземная фитомасса								
Сосна	236	24.2	24.3	27.3	0.6	12.9	28.9	30.5
Ель	67	42.3	45.3	53.4	7.1	26.2	38.7	53.5
Дуб	15	27.2	27.3	39.2	0.1	43.9	33.0	66.4
Береза	27	28.8	25.5	34.1	-11.5	18.2	24.7	32.7
Все породы вместе	345	28.2	28.6	33.4	1.5	18.5	31.6	38.9

хи) не удалось найти статистически значимых регрессионных уравнений, что связано с малыми диапазонами варьирования исходных значений предикторов. Тем не менее мы приводим эти

уравнения, поскольку их параметры вполне соответствуют таковым для других исследованных пород.

Для расчетов запасов фитомассы в насаждениях нужно использовать следующий алгоритм. Значения среднего диаметра и высоты (или только среднего диаметра) по данной составляющей породе используются для расчета K_b, K_l, K_r фитомассы ветвей, листьев и корней, которые затем вместе с K_s для фитомассы стволов применяются для конверсии объемного запаса по данной породе в массу фракций фитомассы.

Эффективность предлагаемой процедуры была оценена с использованием исходной информации по наиболее представленным в базе данных лесообразующим породам (сосна, ель, дуб, береза). Сначала по таксационным показателям с использованием уравнений (5) оценивали конверсионные коэффициенты фракций, затем по величинам запасов и найденным коэффициентам рассчитывали фракционные значения фитомассы. Так как в значительной части записей базы данных информация по фитомассе корней отсутствует, сравнение исходных и расчетных оценок было осуществлено для всех надземных фракций вместе и отдельно для подземной фитомассы.

Результаты сравнения исходных и расчетных величин надземной фитомассы (рис. 3) свидетельствуют о высокой эффективности предложенной процедуры. Различия средних по исходной и расчетной выборкам составляют 1% для сосны, 6 для ели, 1 для дуба и 3% для березы. Те же различия по не показанным на рис. 3 лиственнице, осине и ольхе равны соответственно 2, 3 и 1%. Коэффициенты детерминации при сравнении исходных и

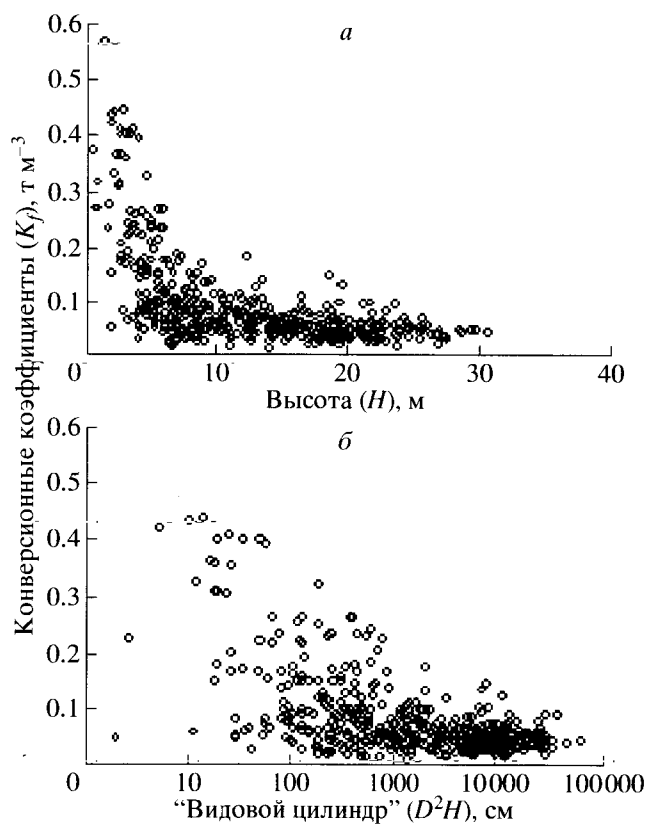


Рис. 2. Зависимость конверсионных коэффициентов для фитомассы ветвей (K_b) от средней высоты (а) и от "видового цилиндра" (б) в насаждениях сосны.

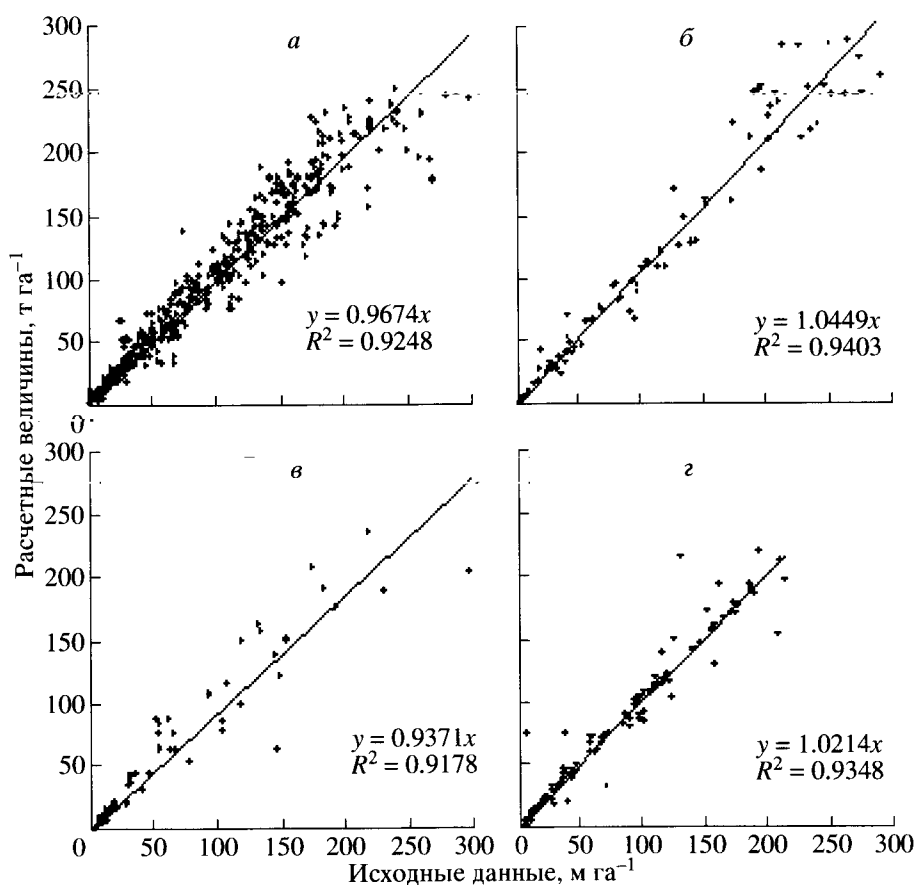


Рис. 3. Сравнение исходных и расчетных величин надземной фитомассы для некоторых лесобразующих пород. а – сосна, б – ель, в – дуб, г – береза.

расчетных величин находятся в пределах 0.92–0.94.

Несколько иная картина наблюдается при сравнении исходных и расчетных величин фитомассы корней (рис. 4). Различия по средним величинам изменяются в пределах 0.1–11.5%, однако коэффициенты детерминации сравнительно невелики (0.25–0.61). Следовательно, применение данной процедуры расчетов даст удовлетворительные результаты лишь для совокупности насаждений, тогда как по отношению к конкретному насаждению возможны значительные ошибки. Меньшая эффективность процедуры расчетов по отношению к подземной фитомассе определяется, с одной стороны, методическими недостатками в исходных определениях фитомассы пней и корней, с другой, почти неизвестной реальной вариабельностью этой величины в исследовании биопродуктивности.

Представляется интересным сравнение только что описанной процедуры расчетов с разработанными ранее системами конверсионных коэффициентов. В наибольшей степени этой задаче отвечает система конверсионных коэффициентов, зависящих от возраста насаждения [1]. Она тоже

представлена уравнениями, с помощью которых коэффициенты конверсии фракций рассчитываются в зависимости от возраста насаждения в пределах широтных полос. Такие расчеты были выполнены для всех древостоев сосны, ели, дуба и березы, по которым в базе данных имелась информация по возрасту.

Разработанная в настоящей работе система коэффициентов приводит к меньшим ошибкам при оценке средней надземной фитомассы насаждений (табл. 5). Среднее по 4 породам отличие расчетных и исходных значений надземной фитомассы составляет 1% для разработанной системы и 6% для возрастно-специфичной системы. Уровень средних абсолютных отличий равен соответственно 12 и 15%. Для подземной фитомассы преимущества разработанной системы (среднее отличие 2%) по сравнению с возрастно-специфичной (19%) еще более очевидны. Однако в применении к конкретному древостою использование обеих систем может привести к существенным ошибкам оценки подземной фитомассы (32% для разработанной и 39% для возрастно-специфичной системы).

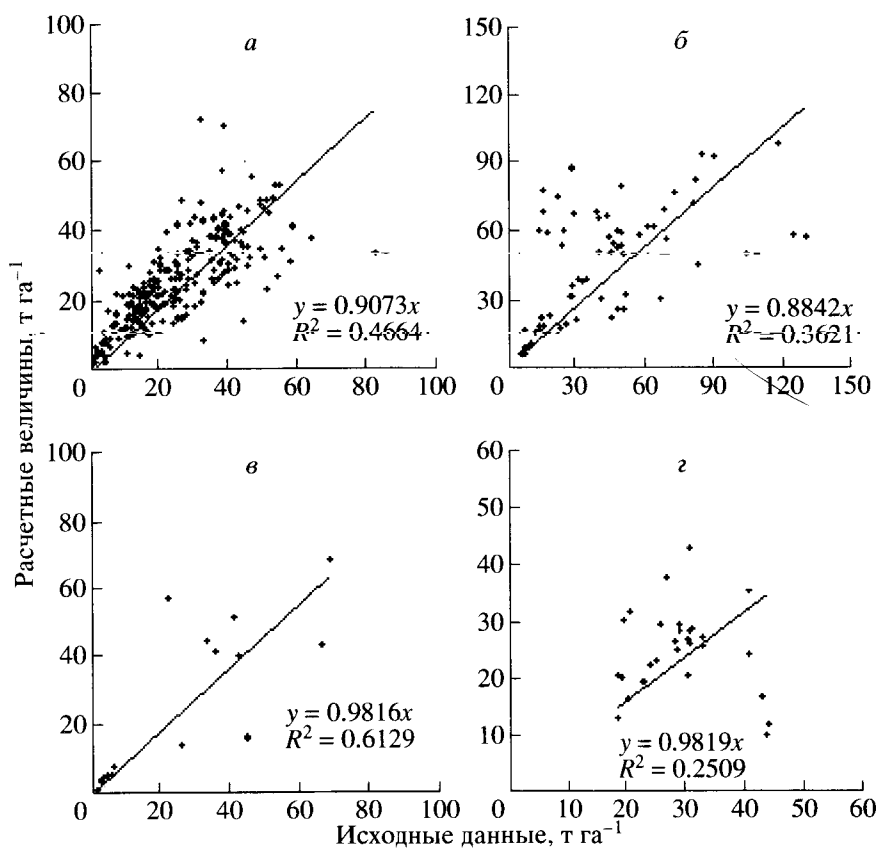


Рис. 4. Сравнение исходных и расчетных величин подземной фитомассы для некоторых лесобразующих пород. а – сосна, б – ель, в – дуб, г – береза.

Главным результатом настоящей работы мы считаем данные табл. 3, 4. Благодаря им пользователи получают достаточно простые предикторы для расчетов фракционной структуры фитомассы для элементов леса древостоев основных лесобразующих пород России. Это выгодно отличает использованный алгоритм расчетов от методических подходов, широко применяемых во многих странах [18, 22], с включением следующего ряда операций: определение (разными способами) объемных запасов стволовой древесины насаждений; перерасчет объемных запасов в фитомассу стволов по стандартным для страны величинам базисной плотности коммерческой древесины; оценка фитомассы некоммерческих фракций (ветви, листва, вершины) по отношению общей надземной фитомассы к стволовой.

Анализ полученных коэффициентов конверсии объемных запасов насаждений в фитомассу (углерод) в информационном поле таблиц хода роста следует считать первоочередной задачей исследования углеродного цикла российских лесов.

Заключение. Для основных лесобразующих пород России разработана процедура, позволяющая рассчитывать по величинам среднего диаметра

и средней высоты конверсионные коэффициенты для фитомассы фракций составляющих пород смешанных насаждений. Предлагаемые системы уравнений могут стать нормативной базой для расчетов пула фитомассы этих пород в России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Замолотчиков 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.
2. 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.
3. Исаев А.С., Коровин Г.Н., Уткин А.И., Прыжников А.А., Замолотчиков Д.Г. Оценка запасов и годичного депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России // Лесоведение. 1993. № 5. С. 3–10.
4. Марченко А.Г. К вопросу об относительной высоте деревьев // Изв. СПб. лесн. ин-та. 1901. Вып. 7. С. 103–120.

5. *Медведев Я.С.* К учению о влиянии света на развитие древесных стволов // Лесн. журн. 1884. Т. 14. Вып. 6. С. 326–373.
6. *Медведев Я.С.* Опыт исследования гущины леса // Лесн. журн. 1910. Т. 40. Вып. 4–5. С. 470–535.
7. Общесоюзные нормативы для таксации лесов / Под ред. В.В. Загребина и др. М.: Колос, 1992. 495 с.
8. *Полубояринов О.И., Сорокин А.М., Федоров В.Б.* Базисная плотность древесины и коры лесообразующих пород европейской части России // Лесн. хоз-во. 2000. № 5. С. 35–36.
9. *Сухих В.И., Уткин А.И.* Информационно-инвентаризационные проблемы лесного фонда России в связи с экологизацией лесного хозяйства // Лесоведение. 2003. № 1. С. 3–13.
10. Углерод в экосистемах лесов и болот России / Под ред. Алексеева В.А. и др. Красноярск: Экос, 1994. 232 с.
11. *Усольцев В.А.* Фитомасса лесов Северной Евразии: база данных и география. Екатеринбург: УРО РАН, 2001. 707 с.
12. *Уткин А.И., Гульбе Я.И., Гульбе Т.А., Ермолова Л.С.* Биологическая продуктивность лесных экосистем. Компьютерная база данных. М.: Ин-т лесоведения РАН, ЦЭПЛ РАН, 1994.
13. *Уткин А.И., Ермолова Л.С., Замолодчиков Д.Г.* Конверсионные коэффициенты для определения площади листовой поверхности насаждений основных лесообразующих пород России // Лесоведение. 1997. № 3. С. 74–78.
14. *Уткин А.И., Замолодчиков Д.Г., Коровин Г.Н., Неведьев В.В., Гульбе Т.А., Гульбе Я.И., Гамбург С.П.* Определение запаса углерода насаждений на пробных площадях: сравнение аллометрического и конверсионно-объемного методов // Лесоведение. 1997. № 5. С. 51–66.
15. *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.
16. *Уткин А.И., Замолодчиков Д.Г., Честных О.В., Коровин Г.Н., Зукерт Н.В.* Леса России как резервуар органического углерода биосферы // Лесоведение. 2001. № 5. С. 8–23.
17. *Bonnor G.M.* Forest Biomass Inventory // Biomass. Renewable Energy/Eds. Hall D.O. et al. N.Y.: John Wiley and Sons, 1997. P. 47–73.
18. *Burschel P., Kuersten E., Larson B.C., Weber M.* Present role of German forests and forestry in the National Carbon Budget and Options to its Increase // Water, Air and Soil Pollution. 1993. V. 70. P. 325–340.
19. Forest Resources of Europe, CIS, North America, Australia, Japan and New Zealand (Industrialized temperate/boreal countries) UN–ECE/FAO Contribution to the Global Forest Resources Assessment 2000 (Main Report). Geneva Timber and Forest Study Papers., N.Y.: Geneva: United Nations, 2000. № 17. 445 p.
20. *Hamburg S.P., Zamolodchikov D.G., Korovin G.N., Nefedjev V.V., Utkin A.I., Gulbe J.I., Gulbe T.A.* 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.
21. *Isaev A., Korovin G., Zamolodchikov D., Utkin A., Pryaznikov A.* Carbon stock and deposition in phytomass of the Russian forests // Water, Air and Soil Pollution. 1995. V. 82. № 1–2. P. 247–256.
22. *Joosten R., Schulte A.* Possible effects of altered growth behavior of Norway spruce (*Picea abies*) on carbon accounting // Climate change. 2002. V. 55. № 1–2. P. 115–129.
23. *Kolchugina T.P., Vinson T.S.* Equilibrium analysis of carbon pools and fluxes of forest biomes in the former Soviet Union. // Can. J. For. Res. 1993. V. 23. P. 81–88.
24. *Schroeder P., Brown S., Mo J., Birdsey R., Cieszewski S.* Biomass estimation for temperate broadleaf forests of United States using inventory data // For. Sci. 1997. V. 43. P. 424–434.
25. *StatSoft, Inc.* STATISTICA (data analysis software system), version 6. www.statsoft.com. 2001.
26. *Wang Y., Zhou G.* Synthesis of field NPP data for China *Larix* forests // The Role of Boreal Forests and Forestry in the Global Carbon Budget. Proc. IBFRA 2000 Conference, May 8–12, 2000. Edmonton, Alberta, Canada/Eds. Shaw C.H. et al. Edmonton, 2002. P. 261–268.

Conversion Coefficients Phytomass/Reserves Related to Dendrometric Parameters and Stand Composition

D. G. Zamolodchikov, A. I. Utkin and G. N. Korovin

In Russia, inventory of forest stands is realized according to the monodominant type. For instance, stands with 40% and more participation of spruce, pine, and larch, and so on are considered to be coniferous ones. When estimating the carbon pool in mixed stands, the use of the generalized conversion coefficients phytomass/reserves may lead to significant uncertainty. Using the database “Biological productivity of forest ecosystems”, samplings for pure stands (including individual elements of mixed forests) were made, conversion coefficients were determined for them, and relationships between the conversion ratios and values of the mean tree diameters and heights were found. The regression equations obtained may be used as standards for the inventory of carbon pools in stands of the main forest forming species in Russia.