

МЕТОДИЧЕСКИЕ СТАТЬИ

УДК 630*182.5

© 1998 г. Д.Г. ЗАМОЛОДЧИКОВ, А.И. УТКИН, Г.Н. КОРОВИН*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА
ПО ЗАВИСИМЫМ ОТ ВОЗРАСТА НАСАЖДЕНИЙ
КОНВЕРСИОННО-ОБЪЕМНЫМ КОЭФФИЦИЕНТАМ

Конверсионно-объемный метод широко используется для оценок запасов углерода в лесных насаждениях. Используемые сейчас конверсионные коэффициенты рассчитаны преимущественно для возрастных групп насаждений. Однако при более точных расчетах требуется учет возраста насаждений. Найдены регрессионные уравнения, связывающие фракционные отношения фитомассы к запасу древесных насаждений (Ph/M) с возрастом последних. По этим уравнениям для насаждений основных лесообразующих пород России рассчитаны коэффициенты Ph/M в возрастном интервале 10–120 лет с шагом в 10 лет. Сравниваются результаты, получаемые при использовании коэффициентов Ph/M для возрастных групп и зависимых от возраста насаждений, рассчитанных в настоящей работе.

Древостои, запас углерода, конверсионно-объемный метод, возраст насаждений.

Конверсионно-объемный метод – наиболее простой из существующих способов оценки фитомассы насаждений, если ориентироваться на материалы государственного учета лесов (ГУЛ) территории Российской Федерации. Такая оценка осуществляется через конверсионные коэффициенты, представляющие собой отношения фитомассы (Ph , т·га⁻¹) отдельных фракций к запасу древесины (M , м³·га⁻¹). Метод называют "конверсионно-объемный", или " Ph/M -конверсии". Для российских лесов он успешно применялся на федеральном, крупнорегиональном, зональном и биомном уровнях [1, 2, 6, 8, 15, 16], проверялся на уровне выделов и пробных площадей [12, 17].

Наиболее часто конверсионные коэффициенты определяют для групп возраста насаждений отдельных лесообразующих пород [1, 2, 6, 8, 15] в соответствии со структурой справочников по материалам государственных учетов лесов (ГУЛ) [4, 5]. Далее такие коэффициенты будем условно называть "группово-возрастными". Величина группово-возрастных коэффициентов Ph/M обычно наибольшая у молодых насаждений, минимальная – у приспевающих [11, 15]. Величины Ph/M для полной фитомассы молодняков могут более чем в 1,6 раза превышать величины Ph/M средневозрастных насаждений [15], для фитомассы ветвей и листьев эти различия могут быть еще больше [11].

* Исследование поддерживалось проектом 4.3.1 "Углеродный баланс лесов России" ФЦНТП № 18 и грантами РФФИ (95-04-11023, 97-04-48005).

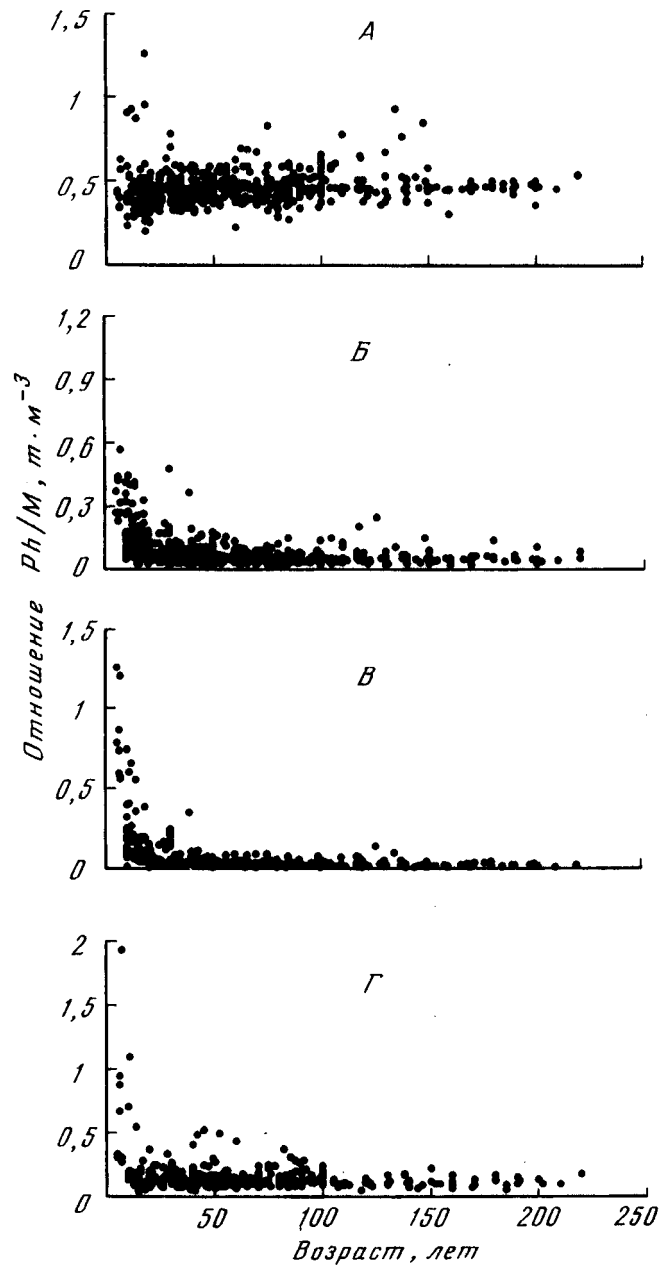


Рис. 1. Возрастная динамика отношений фитомасса/запас в сосновых насаждениях. А – стволы, Б – ветви, В – хвоя, Г – корни

Значительное варьирование величин группово-возрастных коэффициентов Ph/M создает определенные трудности для оценок фитомассы, содержания и особенно депонирования углерода насаждений, возраст которых выражен в иных масштабах времени (классах возраста, годах). Наиболее значительны ошибки при оценке фитомассы насаждений, располагающихся при пограничном диапазоне групп возраста. Так, для 40- и 41-летних насаждений ели приходится использовать разные величины Ph/M , соответствующие группово-возрастным коэффициентам Ph/M молодняков и

средневозрастных, в то время как для 41- и 80-летних при возрасте рубки 100 лет одинаковое значение коэффициентов Ph/M средневозрастных насаждений.

Цель настоящей работы – создание для основных лесообразующих пород России системы конверсионных коэффициентов, которые можно более гибко использовать для расчетов характеристик углеродного цикла насаждений с учетом их возраста.

Материалы и методика

Для аппроксимации Ph фракций насаждений от M последних использовали компьютерную базу данных "Биопродуктивность лесных экосистем" [10]. В анализ были включены объекты, для которых имелась информация по возрасту, запасу древесины и фитомассе фракций насаждений (стволы, ветви, листья, корни).

Как уже отмечалось, группово-возрастные коэффициенты Ph/M рассчитываются путем усреднения отношений Ph/M совокупности насаждений конкретных групп возраста согласно [4, 5]. Заметим, что при выборках объемом ≥ 20 пробных площадей точность определения группово-возрастных Ph/M для фитомассы стволов различных пород составляет в среднем $\pm 3\%$, ветвей – $\pm 9\%$, листья – $\pm 11\%$. При меньших выборках эти значения увеличиваются на 2–6%.

Использование такого подхода для насаждений, распределенных по классам возраста, не представлялось возможным из-за слабой наполненности их фактическими материалами базы данных. Поэтому потребовалось построение регрессионных уравнений, в которых возраст выступает в качестве независимой переменной, а коэффициент Ph/M – зависимой. Форма данной зависимости не очевидна и складывается из возрастной динамики плотности древесины, соотношений между различными фракциями фитомассы, которые в свою очередь связаны с формой и размером дерева и т.д.

Предварительный анализ информации базы данных по породам с наибольшим количеством объектов (сосна, ель, береза) показал, что конверсионные коэффициенты для всех фракций имеют в значительной степени сходную форму возрастной изменчивости. Они максимальны для возраста 10–15 лет, затем резко уменьшаются к 20–25 годам, оставаясь позднее в пределах некоторой полосы рассеяния (рис. 1). Другими словами, форма и масса деревьев как бы совмещаются до почти постоянных Ph/M -конверсий, подтверждая представление о продукционной инвариантности в возрастных рядах насаждений отдельных древесных пород [13, 14]. Нами для аппроксимации отмеченной зависимости был использован целый ряд уравнений: линейные первого и второго порядков, гиперболическое и их комбинации. Значения параметров уравнений рассчитывали с применением методов линейной и нелинейной регрессий. Адекватность полученных уравнений оценивали по коэффициенту детерминации (R^2). Уравнения рассчитаны отдельно для насаждений с преобладанием сосны, ели, лиственницы, пихты, кедра, дуба высокоствольного, дуба низкоствольного, прочих твердолиственных пород, березы, осины, прочих мягколиственных пород. Для ряда пород (сосна, ель, лиственница, береза) уравнения были определены по широтным полосам: северной, центральной, южной. Первая из них ("север") соответствует подзонам лесотундры и северной тайги, вторая ("центр") – подзоне средней тайги, третья ("юг") – подзонам южной тайги, смешанных лесов, широколиственных лесов и лесостепи. Во всех случаях уравнения определяли для фракций фитомассы: стволы, ветви, листья, корни.

Результаты и обсуждение

Форма уравнения для аппроксимации возрастной динамики конверсионных коэффициентов. Наилучшее описание возрастной динамики коэффициентов Ph/M было достигнуто комбинацией линейного уравнения первого порядка и гиперболического уравнения:

$$y = a + b \cdot A + c/A,$$

где y – коэффициент для фракции фитомассы, $t \cdot m^{-3}$; A – возраст древостоя, лет; a , b и c – параметры уравнения. Физически параметр c характеризует скорость снижения величины коэффициента Ph/M в молодом возрасте насаждения, параметр b – скорость и направление его изменения в насаждениях старших возрастов. При положительной величине параметра b значение отношения Ph/M с возрастом увеличивается, а при отрицательном – уменьшается.

Отметим, что для адекватной оценки параметра c необходимо достаточное количество данных для молодых насаждений. Сейчас же молодняки некоторых древесных пород остаются слабо изученными в отношении фитомассы. В связи с этим мы фиксировали величину параметра c , предварительно оценив ее для пород, представленных наибольшим числом данных пробных площадей в [10], т.е. для сосны, ели и березы. Такое фиксированное значение параметра c , равное 2, использовалось для всех фракций прочих пород, за исключением осины. Для нее как наиболее быстро растущей величина параметра c равна 1. Значения параметров a и b найдены специфично для каждой породы и фракции фитомассы.

Полученные уравнения вполне адекватно описывают имеющиеся массивы эмпирических данных (табл. 1). Средние по всем породам значения коэффициента детерминации (R^2) составили для стволов 0,971, для ветвей 0,810, для листвы 0,703 и для корней 0,768. Вариации R^2 по фракциям вполне объективны: в наибольшей степени с запасом древесины через плотность древесины связана масса стволов, в наименьшей – масса листвы, характеризующая текущее физиологическое состояние особой древостоя и закономерности их распределения по высоте и диаметру.

В большинстве случаев аппроксимированные значения параметра b положительны, но прослеживаются и обратные значения. Например, параметр b отрицателен для аппроксимации массы хвой вечнозеленых хвойных пород (кроме сосны из центральной полосы и кедра). Объяснение этих факторов остается пока непонятным. Аналогичная ситуация отмечается для корней у березы и осины, но это, возможно, обусловлено и качеством исходных материалов, используемых для оценок фитомассы подземных органов (корни + пни).

Абсолютные величины параметров b невелики и варьируют от 0,00001 до 0,004, что свидетельствует о сравнительно небольшой скорости изменения конверсионных коэффициентов в насаждениях старших возрастов. Тем не менее, даже минимальное по величине, но постоянное приращение величины коэффициента Ph/M может привести к существенному завышению (или занижению) его для самых старых насаждений. Поэтому приведенные уравнения справедливы не для всего возможного диапазона возрастов, а лишь для интервала, на котором уравнения были исходно аппроксимированы [10]. Для хвойных верхняя граница возраста составляет 200–250 лет, для дуба высокоствольного и прочих твердолиственных – 200 лет, для дуба низкоствольного – 70 лет, для мягколиственных – 70–120 лет. В этих границах возрастов рекомендуется и использовать уравнения табл. 1, при их превышении следует ограничиваться значениями коэффициента для верхней из указанных возрастных границ.

Зависящие от возраста конверсионные коэффициенты. Уравнения табл. 1 были использованы для оценки значений коэффициентов Ph/M , но уже в отношении углерод древостоя/запас по возрастам насаждений в интервале 10–120 лет с шагом 10 лет. По уравнениям сначала рассчитывали значения Ph/M для фракций фитомассы в насаждении данного возраста, а затем суммированием фракционных величин Ph/M получали значение коэффициента для полной фитомассы древостоя. Поскольку из-за отсутствия данных нами не были аппроксимированы уравнения для корней лиственницы центральной полосы и березы северной полосы (табл. 1), то для них были взяты соответственно уравнения, полученные для сдвинутых на юг полос.

При пересчетах углерод – сухое органическое вещество использовался коэффициент 0,5 для стволов, ветвей и корней и 0,45 для листвы [3]. Окончательные значения коэффициентов приведены в углероде (табл. 2), а не в фитомассе.

Параметры регрессионных уравнений $K_{pi} = a + b \cdot A + c \cdot A^{-1}$, связывающих конверсионные коэффициенты (K_{pi} , $т \cdot м^{-3}$) фракций фитомассы с возрастом древостоя (A , лет) для основных лесобразующих пород. Для всех пород и фракций фитомассы $c = 2$, за исключением осины, у которой $c = 1$ (n_1 – число объектов для апроксимации надземных фракций, n_2 – то же для корней)

Порода	Ствол			Ветви			Листья			Корни		
	a	$10^3 \cdot b$	R^2	a	$10^3 \cdot b$	R^2	a	$10^3 \cdot b$	R^2	a	$10^3 \cdot b$	R^2
Хвойные												
Сосна												
"север" ($n_1 = 48, n_2 = 43$)	0,423	0,18	0,99	0,018	0,17	0,86	0,012	-0,03	0,66	0,111	0,01	0,93
"центр" ($n_1 = 119, n_2 = 69$)	0,390	0,52	0,97	0,035	0,01	0,68	-0,008	0,12	0,72	0,049	0,29	0,80
"юг" ($n_1 = 48, n_2 = 43$)	0,307	1,55	0,95	-0,003	0,38	0,76	0,016	-0,21	0,60	0,086	0,23	0,63
Ель												
"север" ($n_1 = 21, n_2 = 16$)	0,346	0,60	0,99	0,057	0,09	0,86	0,052	-0,11	0,91	0,126	0,14	0,89
"центр" ($n_1 = 53, n_2 = 30$)	0,337	0,65	0,99	0,099	-0,41	0,91	0,109	-0,65	0,81	0,101	0,10	0,93
"юг" ($n_1 = 131, n_2 = 101$)	0,373	0,52	0,95	0,076	-0,25	0,68	0,149	-1,31	0,45	0,255	-1,58	0,58
Пихта ($n_1 = 74, n_2 = 23$)	0,299	0,35	0,94	0,020	0,16	0,73	0,038	-0,26	0,68	0,110	-0,26	0,82
Лиственница												
"север" ($n_1 = 18, n_2 = 7$)	0,454	0,29	1,00	0,020	0,10	0,86	-0,013	0,08	0,73	0,258	0,53	0,97
"центр" ($n_1 = 33, n_2 = 0$)	0,636	-0,12	0,96	0,012	0,17	0,90	-0,020	0,15	0,69	-	-	-
"юг" ($n_1 = 27, n_2 = 8$)	0,390	1,09	0,97	0,024	0,10	0,82	-0,043	0,23	0,75	0,045	0,74	0,86
Кедр ($n_1 = 26, n_2 = 6$)	0,381	0,08	0,97	0,040	0,06	0,90	0,015	0,01	0,93	0,075	0,57	0,95
Твердолиственные												
Дуб												
высокоствольный ($n_1 = 70, n_2 = 28$)	0,489	0,66	0,96	0,023	0,94	0,79	-0,024	0,12	0,81	1,693	-12,75	0,19
низкоствольный ($n_1 = 53, n_2 = 13$)	0,429	3,53	0,96	0,109	0,17	0,87	0,004	-0,50	0,88	0,210	1,27	0,94
Прочие твердолиственные ($n_1 = 27, n_2 = 23$)	0,623	-0,77	0,98	0,020	1,07	0,87	-0,044	0,31	0,85	0,130	0,29	0,87
Мягколиственные												
Береза												
"север" ($n_1 = 7, n_2 = 0$)	0,667	-1,99	1,00	-0,118	2,32	0,86	-0,094	1,40	0,84	-	-	-
"центр" ($n_1 = 35, n_2 = 15$)	0,388	1,53	0,98	0,034	-0,10	0,67	-0,012	0,10	0,61	0,128	-0,36	0,92
"юг" ($n_1 = 141, n_2 = 77$)	0,425	1,00	0,98	-0,041	1,21	0,80	-0,079	1,04	0,76	0,121	-0,39	0,84
Осина ($n_1 = 54, n_2 = 6$)	0,391	1,66	0,95	0,090	-0,73	0,76	0,065	-0,73	0,49	0,338	-4,47	0,75
Прочие мягколиственные ($n_1 = 26, n_2 = 18$)	0,417	0,38	0,96	-0,066	1,45	0,84	-0,098	1,36	0,17	0,011	1,48	0,96

Таблица 2

Конверсионные коэффициенты запаса углерода в древесине/запас древесины (тС·м⁻³) по возрастам насаждений для основных лесобразующих пород

Порода	Возраст, лет											
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Хвойные												
Сосна	0,673	0,480	0,417	0,386	0,368	0,356	0,349	0,343	0,340	0,337	0,335	0,334
"север"	0,628	0,438	0,377	0,350	0,335	0,326	0,322	0,319	0,319	0,319	0,320	0,322
"центр"	0,602	0,417	0,362	0,339	0,330	0,327	0,327	0,330	0,334	0,340	0,346	0,353
"юг"												
Ель	0,682	0,490	0,429	0,400	0,384	0,375	0,370	0,366	0,365	0,364	0,364	0,365
"север"	0,706	0,510	0,444	0,410	0,390	0,375	0,365	0,357	0,350	0,345	0,340	0,336
"центр"	0,796	0,589	0,511	0,467	0,435	0,362	0,351	0,341	0,332	0,325	0,317	0,311
"юг"												
Лиственница	0,755	0,565	0,505	0,477	0,463	0,455	0,450	0,448	0,448	0,448	0,450	0,452
"север"	0,732	0,542	0,482	0,454	0,439	0,431	0,426	0,424	0,423	0,423	0,424	0,426
"центр"	0,611	0,427	0,372	0,351	0,342	0,339	0,341	0,345	0,350	0,356	0,363	0,371
"юг"	0,622	0,427	0,362	0,330	0,310	0,298	0,288	0,282	0,276	0,272	0,269	0,266
Пихта	0,668	0,485	0,431	0,410	0,402	0,401	0,403	0,453	0,453	0,454	0,456	0,458
Кедр												
Твердолиственные												
Дуб	1,426	1,176	1,056	0,968	0,894	0,825	0,761	0,699	0,638	0,638	0,638	0,638
высокоствольный	0,788	0,616	0,573	0,563	0,567	0,576	0,576	0,576	0,576	0,576	0,576	0,576
низкоствольный	0,761	0,570	0,510	0,482	0,466	0,458	0,453	0,450	0,449	0,449	0,450	0,451
Прочие твердолиственные												
Мягколиственные												
Береза	0,692	0,504	0,445	0,418	0,405	0,398	0,395	0,394	0,395	0,397	0,399	0,403
"север"	0,666	0,476	0,417	0,391	0,377	0,370	0,366	0,365	0,365	0,367	0,369	0,372
"центр"	0,621	0,440	0,389	0,370	0,365	0,365	0,370	0,377	0,385	0,395	0,405	0,416
"юг"	0,613	0,494	0,441	0,404	0,373	0,345	0,345	0,345	0,345	0,345	0,345	0,345
Осина	0,549	0,377	0,335	0,325	0,328	0,337	0,351	0,351	0,351	0,351	0,351	0,351
Прочие мягколиственные												

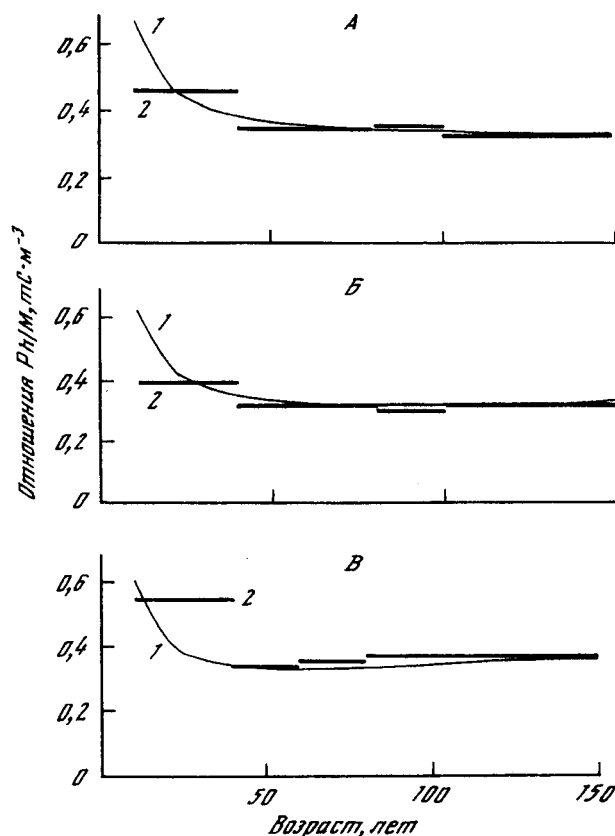


Рис. 2. Сравнение возрастных (1) и группово-возрастных (2) конверсионных коэффициентов углерод древостоя / запас для насаждений сосны: А – северная широтная полоса, Б – средняя полоса, В – южная полоса

Максимальный возраст (120 лет) превышал верхнюю границу аппроксимации исходных уравнений для дуба низкоствольного, осины и прочих мягколиственных, поэтому коэффициенты для них приняты постоянными, начиная с верхней границы привлекаемого для расчетов уравнений возраста насаждений.

Сравнение возрастных и группово-возрастных коэффициентов. Применявшиеся нами ранее [1, 2, 11, 15] группово-возрастные и приведенные в настоящей статье возрастные коэффициенты были оценены с использованием единого массива исходной информации, содержащейся в базе данных "Биопродуктивность лесных экосистем" [10]. Основное их различие состоит в форме зависимости от возраста. Если группово-возрастные коэффициенты постоянны для возрастов в пределах конкретной возрастной группы насаждений, то возрастные коэффициенты плавно изменяются с возрастом (рис. 2). Наибольшие различия в абсолютных величинах коэффициентов приходятся на молодняки I и II классов возраста. Так, для сосны северной полосы (рис. 2,А) в интервале 10–40 лет возрастной коэффициент уменьшается с 0,673 до 0,386, тогда как группово-возрастной коэффициент постоянен и равен 0,460. В насаждениях же старших возрастов коэффициенты обоих типов различаются очень незначительно, причем в спелых и перестойных насаждениях они практически одинаковы.

Рассмотрим результаты применения групповых и возрастных коэффициентов по средней широтной полосе для таблиц хода роста сосновых насаждений II класса бонитета [7]. Возрастная динамика углерода древостоя (рис. 3,А), определенная с

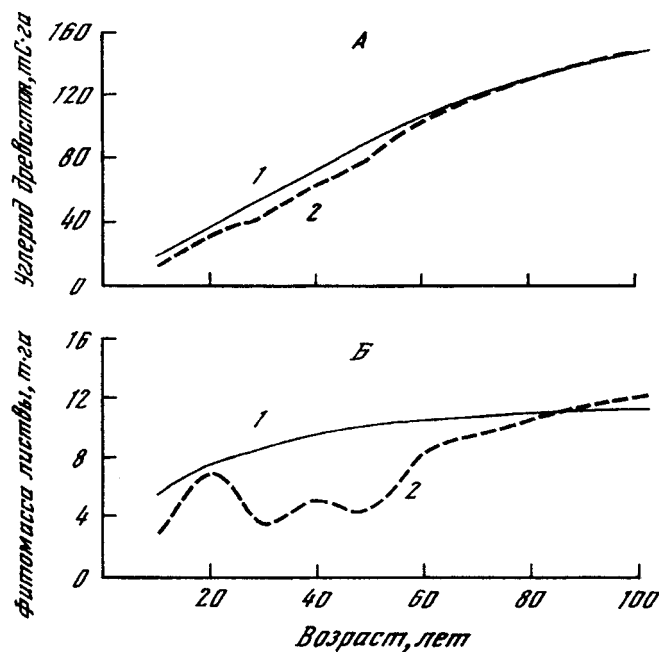


Рис. 3. Возрастная динамика углерода древостоя (А) и фитомассы хвои (Б) для сосны II класса бонитета, оцененная при помощи возрастных (1) и группово-возрастных (2) коэффициентов Ph/M

использованием группово-возрастных коэффициентов, представлена ломаной линией для периода 10–60 лет. Последнее свидетельствует о низкой надежности таких коэффициентов при описании возрастной динамики запасов углерода в древостоях. Использование же возрастных коэффициентов показывает плавный ход динамики. Если усреднить значения углерода в древостое за каждое десятилетие периода 10–160 лет, то эти величины, рассчитанные по группово-возрастным и возрастным коэффициентам, отличаются между собой мало, составляя соответственно 117 и 121 $\text{тС}\cdot\text{га}^{-1}$.

Еще большие колебания обнаруживаются при оценке с помощью группово-возрастных коэффициентов динамики фитомассы хвои для насаждений сосны II класса бонитета (рис. 3, Б). Масса хвои уменьшается при переходе возраста от 20 к 30 годам и от 40 к 50 годам. Это связано с тем, что конверсионные отношения для листвы и хвои в значительно большей степени, чем коэффициенты для углерода древостоя в целом, изменяются с возрастом насаждения. Потому попытка описать возрастную динамику хвои с применением группово-возрастных коэффициентов оказалась неудачной. Вместе с тем усреднение значений фитомассы хвои по десятилетиям для периода 10–160 лет дает близкие результаты (9,8 $\text{т}\cdot\text{га}^{-1}$ для группово-возрастных и 10,6 $\text{т}\cdot\text{га}^{-1}$ для возрастных коэффициентов), т.е. различие составляет всего 8%.

Сравнение приведенных возрастных коэффициентов с независимой системой группово-возрастных коэффициентов [8] дает основания заключить, что их различия так же состоят в основном в форме описания возрастной динамики. Очевидно, это следствие того, что групповые коэффициенты, оцененные как в наших [1, 2, 11, 15], так и в работе [8], имеют сходные величины для большинства пород. Хотя следует признать и частичное совпадение в обоих случаях исходных материалов в базах данных для расчетов конверсионных коэффициентов.

Область применения возрастных коэффициентов для конкретных насаждений. Полученные конверсионные коэффициенты могут быть рекомендованы для решения

широкого класса задач, связанных с инвентаризацией запасов углерода в лесных насаждениях. В первую очередь это относится к углеродной оценке древостоев с известным значением физического возраста либо с их распределением по классам возраста. Приводимые в табл. 2 коэффициенты оптимальны при интерпретации данных таблиц хода роста с позиций углеродного цикла, что позволит в свою очередь использовать лесоводственно-инвентаризационные данные для лесохозяйственных предприятий при экологических оценках первичной продукции и деструкции в лесах.

Заметим, что отношения Ph/M зависят не только от породы и возраста насаждений, но и от большого числа других факторов из числа таксационных показателей, а именно: класса бонитета, густоты, типа условий местопроизрастания и т.д. При аппроксимации найденных коэффициентов нами все эти факторы не учитывались, хотя они и могут иметь определяющее значение при рассмотрении конкретной пробной площади или выдела. При существующей структуре отчетности о лесном фонде РФ, наиболее корректным остается применение приведенных в данной работе коэффициентов для достаточно крупных по площади единиц учета лесного фонда, если данные по возрасту насаждений окажутся более детальными, чем только распределение по возрастным группам.

Последнее не исключает применения коэффициентов и для небольших территориальных единиц (выделы, пробные площади и др.), однако в этом случае могут иметь место значительные ошибки для отдельных объектов. Как правило, объекты такого размерного уровня имеют информацию по комплексу таксационных характеристик, а не только по возрасту и запасу. В этом случае желательно накопление исходной информации о связях таксационных характеристик насаждений с их фитомассой [9]. Но для этого потребуется либо изменение структуры отчетности в ГУЛ, либо формирование для лесного фонда новых статистических справочников, которые были бы ориентированы на потребителей экологической информации.

Имеется возможность и оценки углерода на основе подервного учета насаждений на пробных площадях [12, 17]. Осуществление этих подходов, как и прямое определение запасов углерода через фитомассу на пробных площадях, потребует существенных дополнительных усилий и вряд ли реально. Предложенная модификация конверсионно-объемного метода обеспечит хотя и менее точные, но значительные более быстрые и малозатратные результаты. Выбор же между существующими методами оценки углерода в насаждениях должен определяться а) исходной информацией, б) требуемой степенью точности, в) имеющимися ресурсами.

Заключение. Преобразование Ph/M -отношений из средних величин для совокупности наблюдений в систему зависимых от возраста уравнений регрессии для фракций фитомассы обеспечивает расширение возможностей использования конверсионно-объемного метода при изучении углеродного цикла лесных экосистем и лесного биогеоэкологического покрова. *При этом возможен анализ динамики фитомассы (углерода) в любом масштабе времени, начиная с физического возраста древостоев.* *Материалы табл. 2 являются по своему содержанию нормативами и могут использоваться для решения разных задач лесоинвентаризационного и лесоводственного назначения.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. 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 экологич. политики России, 1995. 156 с.
3. Кобик К.И. Биотические компоненты углеродного цикла. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 248 с.
4. Лесной фонд России: Справочник (по учету на 01.01.1993 г.) М.: Рослесхоз, 1995. 280 с.
5. Лесной фонд СССР. Статистический справочник (по состоянию на 01.01.1988 г.). Т. 1. М.: Госкомлес СССР, 1990. 1002 с.

6. Макаревский М.Ф. Запасы и баланс органического углерода в лесных и болотных биогеоценозах Карелии // Экология. 1991. № 3. С. 3–10.
7. Общесоюзные нормативы для таксации лесов / В.В. Загреев, В.И. Сухих, А.З. Швиденко, Н.Н. Гусев, А.Г. Мошкалева. М.: Колос, 1992. 495 с.
8. Углерод в экосистемах лесов и болот России / Под ред. Алексева В.А. и Бердси Р.А. Красноярск: Ин-т леса СО РАН, Северо-Восточная лесн. эксперимент. станция лесной службы США, 1994. 232 с.
9. Усольцев В.А., Сальников А.А. Новый метод оценки запасов органического углерода в лесных экосистемах // Экология. 1998. № 1. С. 3–13.
10. Уткин А.И., Гульбе Т.А., Гульбе Я.И., Ермолова Л.С. Биопродуктивность лесных экосистем: Компьютерная база данных. М.: Ин-т лесоведения РАН, ЦЭПЛ РАН, 1994.
11. 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.
12. 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.
13. Уткин А.И., Рождественский С.Г., Гульбе Я.И. и др. Древостои мелколиственных пород как инвариантные продукционные системы // Анализ продукционной структуры древостоев / Под. ред. Вомперского С.Э., Уткина А.И. М.: Наука, 1988. С. 214–224.
14. Уткин А.И., Рождественский С.Г., Гульбе Я.И. и др. Продукционная инвариантность древостоев // Лесоведение. 1988. № 2. С. 12–23.
15. 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.
16. Kolchugina T.P., Vinson T.S. Comparison of two methods to assess the carbon budget of forest biomes in the former Soviet Union // Water, Air and Soil Pollution. 1993. V. 70. P. 207–221.
17. 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.

Центр по проблемам экологии
и продуктивности лесов РАН, Москва

Поступила в редакцию
14.01.1998

Институт лесоведения РАН,
Успенское, Одинцовский р-н, Московская обл.

D.G. ZAMOLODCHIKOV, A.I. UTKIN, G.N. KOROVIN

DETERMINATION OF CARBON RESERVES BY CONVERSION-VOLUMETRIC COEFFICIENTS RELATED TO AGE OF STANDS

The conversion-volumetric method, based on the ratio of fraction phytomass (Ph , $t \cdot ha^{-1}$) to tree volume (M , $m^3 \cdot ha^{-1}$), is widely used for estimating the carbon reserves in forest stands. The presently used coefficients Ph/M are mainly calculated for age groups of stands, that is according to the scheme characterizing the forest fund. Nevertheless, in some cases (for instance, in analyzing productivity tables or in simulation) it is required to take into account the age of stands more properly. Regression equations which relate Ph/M of fractions with the age of stands are set up from the data base material. For basic forest forming species of Russia coefficients Ph/M are calculated within the age range of 10–120 years with 10 year stepwise. The obtained Ph/M may be used for solving various problems of forest inventory and management.