

## МЕТОДИЧЕСКИЕ СТАТЬИ

УДК 630\*182.5

© 1998 г. А.И. УТКИН, Д.Г. ЗАМОЛОДЧИКОВ, Т.А. ГУЛЬБЕ,  
Я.И. ГУЛЬБЕ, Л.С. ЕРМОЛОВАОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА  
ПО ТАКСАЦИОННЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ ДРЕВОСТОЕВ:  
МЕТОД ПОУЧАСТКОВОЙ АЛЛОМЕТРИИ\*

База данных по биопродуктивности лесных экосистем была использована для выявления связей разных фракций фитомассы насаждений с таксационными характеристиками последних: суммой площадей сечений стволов, средней высотой, густотой или числом стволов на 1 га. Уравнения двух- и трехфакторных регрессий, полученные для 8 основных лесообразующих пород и двух групп прочих твердолиственных и мягколиственных пород, по форме идентичны связям подеревной аллометрии. Метод назван "поучастковой аллометрией". Результаты, полученные по уравнениям, признанными лучшими, сравнивали с принимаемыми за базовые определения запасов углерода: а) подеревной аллометрией, б) по конверсионным коэффициентам – отношениям фитомасса/запас ( $Ph/M$ ). Оценки либо завышали (сосна, ель), либо занижали (береза, осина) определения подеревной аллометрии. Для  $Ph/M$ -метода отмечено значимое сближение результатов с поучастковой аллометрией. Обсуждаются возможные причины расхождения результатов индивидуальной (подеревной) и совокупной (поучастковой) аллометрии.

*Древостои, таксационные характеристики, фитомасса, аппроксимация, сравнение разных методов учета.*

Совмещение информации о фитомассе и годичной продукции насаждений с материалами инвентаризации, получаемой при государственных учетах лесов (ГУЛ), в настоящее время остается наиболее простым и доступным методом расчетов запаса углерода в лесах России на федеральном, крупнорегиональном, зональном, биомном уровнях, а также по субъектам РФ. Такое совмещение осуществляется через средние для возрастных групп запасы насаждений и конверсионные коэффициенты. Последние представляют собой отношения фитомассы ( $Ph$ , т · га<sup>-1</sup>) к запасу ( $M$ , м<sup>3</sup> · га<sup>-1</sup>) – метод  $Ph/M$ -конверсии. Отношения отдельных фракций фитомассы вычисляются в расчете на 1 га с последующим суммированием для надземной и общей фитомассы.

\* Исследование поддерживалось грантами РФФИ (95-04-12023, 97-04-48005) и ГНТП № 18: проект 4.3.1 "Изучение лесных экосистем".

Запасы углерода в фитомассе лесного фонда России в целом определены по этой методике [2, 3, 7, 15, 31 и др.]. Географическое распределение  $Ph/M$  позволяет сформировать выборки конверсионных коэффициентов для ландшафтных зон и провинций [3, 31], для экорегионов, а при обособленности ареалов и для отдельных видов лесообразующих пород, т.е. использовать материалы ГУЛ более гибко и дифференцированно.

При отсутствии в России специализированной для лесов нормативной базы учета фитомассы (и углерода) актуальными остаются поиски альтернативных методов для  $Ph/M$ -конверсии на уровне насаждений [17]. Прежде всего с целью вовлечения в научный оборот очень представительной по объему лесотаксационной информации из литературных источников, фондов лесоустроительных и других организаций. Во-вторых, для параллельных проверок степени надежности  $Ph/M$ -метода в учетах углерода.

Использование для решения обсуждаемой задачи генерализованных для отдельных районов выборок уравнений подеревной таксации [19] оказалось перспективным. На уровне конкретных участков леса обнаружилось сближение конечных оценок для методов подеревной аллометрии и  $Ph/M$  [20]. Следовательно, таксационные показатели насаждений, идентичные по своей сути признакам, используемым при аппроксимации аллометрических связей модельных деревьев, могут быть положены и в основу метода поучастковой аллометрии. Индивидуальные признаки деревьев в этом случае заменяются как бы интегрированными для насаждений средними таксационными показателями. Само же насаждение (точнее древостой) по линейным показателям уподобляется отдельному дереву.

В литературе нам не встречались попытки использования такого подхода к разработке нормативов таксации фитомассы (углерода). Хотя М.Г.К. Каннелл создал базу данных из 640 пробных площадей, используемых в исследованиях Международной биологической программы [26], и проанализировал по ним связь надземной древесной фитомассы ( $Ph_{a.g.}$ ) и фитомассы стволов ( $Ph_{st.}$ ) от  $G \cdot H_{cp.}$  [25]. Им получено два уравнения:

$$\ln Ph_{a.g.} = -0,37 + 0,84 \ln(G \cdot H_{cp.}) \quad \text{при } R^2 = 0,91, \quad (1a)$$

$$\ln Ph_{st.} = -0,90 + 0,90 \ln(G \cdot H_{cp.}) \quad \text{при } R^2 = 0,94. \quad (1б)$$

Обычно же генерализация аллометрических уравнений осуществляется двухступенчато: сначала – по пересчетам древостоев и уравнениям подеревной аллометрии, затем выравниванием получаемых оценок на 1 га площади [28, 32, 34 и др.]. После сглаживания эти оценки и становятся в таких случаях предметом обсуждения.

Основными для аппроксимации мы принимали показатели, которые при таксации пробных площадей определяются наиболее точно. К ним относятся: 1) сумма площадей сечения стволов ( $G$ ,  $m^2 \cdot га^{-1}$ ), вычисляемая на основании перечета деревьев по толщине или другими способами (например, по Биттерлиху); 2) средняя высота деревьев преобладающей породы ( $H_{cp.}$ , м), коррелирующая со средним диаметром древостоя ( $D_{cp.}$ , м), рассчитываемому по  $G$  и густоте древостоя, т.е. числу стволов на 1 га ( $N$ , экз  $\cdot га^{-1}$ ); 3) сама по себе густота, или численность растущих стволов на единице площади ( $N$ ). Произведение  $G \cdot H_{cp.}$  можно рассматривать как аналог видового цилиндра дерева ( $d^2h$ , диаметр, см, и высота, м), поскольку  $G = 0,785\bar{D}$ , где  $\bar{D}$  – диаметр (м) круга с площадью  $G$ .

Эти три показателя, к которым добавляется  $D_{cp.}$ , целесообразно считать непосредственно определяемыми. Тогда как запас – единственный для  $Ph/M$ -метода таксационный показатель – относится к расчетным. Он может быть получен с использованием как разных нормативов (таблицы, номограммы, алгоритмы), так и способов взятия модельных (учетных) деревьев на пробных площадях.

Цель настоящей статьи – спроецировать принципы подеревной аллометрии на

поучастковую таксацию фитомассы (углерода) и оценить перспективы использования такого рода аллометрии в качестве альтернативного метода по отношению к  $Ph/M$ -конверсии.

### Материалы и методика

Для аппроксимации фитомассы фракций насаждений от таксационных показателей последних использовали созданную авторами компьютерную базу данных "Биопродуктивность лесных экосистем" [18]. Она включает объекты,  $Ph$  и  $M$  которых получены, правда, разными методами при таксации пробных площадей. Но так как те же самые объекты использовали и для вычисления коэффициентов  $Ph/M$  по фракциям фитомассы, то такой подход мы считали корректным.

При выборе вида уравнений для аппроксимации ограничения касались числа таксационных показателей (использовали в разных сочетаниях  $G$ ,  $H_{cp}$ ,  $N$  и видовое число  $F$  в форме видовой высоты  $HF$ ) и формы уравнений (линейные двух- и трехфакторные регрессии).

Для сосны, ели, лиственницы, пихты, кедра, дуба, березы, осины, а также групп прочих твердолиственных (без дуба) и мягколиственных (без березы и осины) пород по материалам базы данных были определены коэффициенты следующих видов уравнений:

$$y = a + b \cdot G + c \cdot N, \quad (1)$$

где  $y$  – как и в остальных уравнениях, фитомасса отдельных фракций насаждений,  $t \cdot \text{га}^{-1}$  абсолютно сухого вещества. Уравнение (1) должно было показать, насколько значимой является  $H_{cp}$  и может ли фактор  $N$  корректировать для двух, например, участков случаи, когда  $G_1 = G_2$ , но  $N_1 \neq N_2$ ;

$$y = a + b \cdot G + c \cdot H_{cp}, \quad (2)$$

т.е. вариант, сближающий поучастковую аллометрию с подеревной [ $y = a \cdot (d^2h)^b$ ], где  $d$  – диаметр ствола на высоте 1,3 м (см),  $h$  – высота дерева (м);

$$y = a + b \cdot G + c \cdot H_{cp} + d \cdot N \quad (3)$$

со всеми тремя таксационными показателями в качестве самостоятельных факторов;

$$y = a + b \cdot (G \cdot H_{cp}) + d \cdot N, \quad (4)$$

где  $G \cdot H_{cp}$  является для древостоя видовым цилиндром, фитомасса которого корректируется густотой.

При замене  $H_{cp}$  на видовую высоту  $HF$ , которая для разных пород рассчитывалась по  $H_{cp}$  [9, табл. 38] и по  $H_{cp}$  с учетом классов бонитетов [9, табл. 39], были использованы близкие уравнения:

$$y = a + b \cdot G + c \cdot HF \quad (5)$$

$$y = a + b \cdot G + c \cdot HF + d \cdot N, \quad (6)$$

$$y = a + b \cdot (G \cdot HF) + d \cdot N. \quad (7)$$

Для уравнений (1)–(7) и базы данных по фитомассе лесов [18] были вычислены коэффициенты уравнений для определения фракций фитомассы (стволы, ветви, листва, корни), а также надземной и общей фитомассы, т.е. проведены расчеты по шести вариантам каждого из (1)–(7) уравнений для разных лесообразующих пород. К ним относились: сосна, ель, кедр, лиственница, пихта, дуб, береза, осина, твердолиственные породы (без дуба), мягколиственные породы (без березы и осины). Таким образом, число расчетов по уравнениям в общей сложности составило 420. Однако далее в статье обсуждаются материалы лишь для четырех лесообразующих пород

(сосна, ель, береза, осина), для которых в работе [20] имеются оценки фракций фитомассы, полученных по данным лесостроительных пробных площадей методами поперечной аллометрии и  $Ph/M$ -конверсии.

В базе данных [18] проявляется несоответствие между числом пробных площадей с определениями соответственно надземной фитомассы и массы корней, а следовательно, и общей фитомассы. Одновременное использование уравнений для надземной и общей фитомассы вряд ли может быть корректным из-за разного объема выборок. Актуальны по-прежнему поиски методов определения массы корней в зависимости от надземной фитомассы с последующим суммированием всех фракций.

### Результаты и обсуждение

*Выбор уравнений.* Из альтернативных уравнений (1)–(4) и (5)–(7) предстояло выбрать такие, которые бы наилучшим образом аппроксимировали все фракции фитомассы. По крайней мере в надземной части насаждений, поскольку для фитомассы корней и общей (всех фракций вместе) использовали выборки меньшего, чем для остальных фракций, объема. Принимая коэффициент детерминации ( $R^2$ ) мерилем аппроксимации фитомассы от таксационных показателей древостоя, обнаруживаем четкую, общую для уравнений (1)–(4) у всех лесообразующих пород закономерность. А именно: наиболее представительная в общей фитомассе фракция стволов характеризуется и наибольшей теснотой связи с таксационными показателями насаждений ( $R^2$  для уравнения (2) в пределах  $0,75 \div 0,87$ ), контролируя тем самым аппроксимацию надземной ( $R^2 = 0,51 \div 0,72$ ) и в большей мере общей ( $R^2 = 0,78 \div 0,89$ ). Сходная тенденция свойственна и уравнениям (5)–(7), если при сравнении исключить уравнение (1).

Следовательно, приоритетная для деревьев и древостоев фракция "фитомасса стволов" задает уровень и тесноту связи с таксационными показателями для общей и надземной фитомассы, несмотря на средние в целом значения  $R^2$  при аппроксимации массы ветвей ( $0,51 \div 0,72$ ) и листы ( $0,24 \div 0,55$ ) для уравнения (2). Фитомасса стволов накапливается в течение всей жизни деревьев, тогда как масса прочих фракций: ветвей, листы, в меньшей мере корней не бывает стабильной, непрерывно обновляется и представлена более обычно молодыми, чем ствол, морфоструктурами.

Сравнение расчетных по уравнениям (1)–(7) запасов фитомассы проводили лишь для сосны, ели, березы и осины, используя таблицы хода роста этих пород из работы [9]. Во всех случаях были взяты только 60-летние насаждения II класса бонитета. Для них по уравнениям (1)–(7) вычисляли надземную фитомассу в целом и отдельно: стволов, ветвей, листы.

Для уравнений (1)–(4) в отношении всех анализируемых древесных пород отмечается общая особенность: отсутствие в составе аргумента  $H_{ср}$  сказывается на оценках запасов фитомассы стволов и ветвей, реже – листы, что влечет за собой и изменение величины надземной фитомассы. Разность оценок для (1) по сравнению с уравнением (2)–(4) находится в пределах 10–20%. Для ели она положительная, для остальных трех пород – отрицательная. Несущественные различия результатов по моделям (2)–(4) дали право выбора уравнения (2), в наибольшей степени отвечающего высказанной гипотезе и обеспечивающего подключение лишь двух таксационных показателей из трех анализируемых. Из уравнений (5)–(7) по тем же соображениям предпочтение отдано (5) как аналогу (2). Значения коэффициентов уравнений (2) и (5) приведены в табл. 1.

Хотя уравнения (1)–(7) касаются связи таксационных показателей с фитомассой, все последующие обсуждения результатов и материалов, включая таблицы и рисунки, относятся к запасам углерода в фитомассе. Перерасчет фитомассы в углерод проводили по общим для всех пород коэффициентам: 0,5 для стволов, ветвей и корней, 0,45 – для листьев и хвои. Вычисления выполнялись по алгоритмам единой программы, используемой в предыдущих работах при участии авторов [2, 3, 31].

Параметры поучастковой аллометрии для определения надземной и пофракционной фитомассы насаждений ( $\tau \cdot \text{га}^{-1}$ ) четырех основных лесообразующих пород России

Порода	Фракция фитомассы	Уравнение (2): $y = a + bG + cH_{\text{фр}}$			Уравнение (5): $y = a + b \cdot G + c \cdot HF$			$R^2$
		a	b	c	a	b	c	
Сосна ( $n_1 = 446$ ; $n_2 = 248$ )	Стволы	-37,508	1,9500	5,7989	-58,193	1,9259	14,6103	0,868
	Ветви	1,298	0,1205	0,4454	-0,222	0,1202	1,1155	0,542
	Листья	3,169	0,1070	-0,0398	3,323	0,1071	-0,0996	0,234
	Надземная	-33,043	2,1780	6,2067	-55,096	2,1540	15,6308	0,876
	Корни	-5,604	0,6723	0,8566	-8,603	0,6723	2,1416	0,699
	В целом	-47,833	2,8374	7,8312	-75,243	2,8374	19,5781	0,894
	Стволы	-60,014	1,8463	7,3339	-79,628	1,8463	17,0556	0,826
	Ветви	-5,364	0,1197	1,3091	-8,865	0,1197	3,0443	0,514
	Листья	0,720	0,1133	0,5242	-0,682	0,1133	1,2190	0,287
	Надземная	-68,198	2,1593	9,3305	-93,152	2,1593	21,6988	0,794
Ель ( $n_1 = 158$ ; $n_2 = 140$ )	Корни	-6,945	-0,0307	2,7580	-14,321	-0,0307	6,4139	0,574
	В целом	-71,108	1,8554	12,5321	-104,624	1,8554	29,1444	0,804
	Стволы	-46,296	4,1247	3,5281	-56,594	4,1247	8,9545	0,861
	Ветви	-0,687	0,2636	0,3578	-1,731	0,2636	0,9081	0,615
	Листья	0,275	0,1816	-0,0347	0,376	0,1816	-0,0879	0,545
	Надземная	-46,064	4,5756	3,8508	-57,304	4,5756	9,7736	0,851
	Корни	6,584	0,6557	0,3177	5,657	0,6557	0,8062	0,384
	В целом	-53,716	4,9214	5,2033	-68,903	4,9214	13,2064	0,775
	Стволы	-75,798	5,2758	2,7404	-82,959	5,2758	6,5094	0,751
	Ветви	-6,402	0,5451	0,3074	-7,206	0,5451	0,7303	0,721
Осина ( $n_1 = 42$ ; $n_2 = 4$ )	Листья	0,866	0,1620	-0,1077	1,147	0,1620	-0,2557	0,547
	Надземная	-83,855	6,7690	1,9636	-88,986	6,7690	4,6641	0,756
	Корни	19,638	0,6716	-0,0905	19,875	0,6716	-0,2151	0,124
	В целом	4,477	3,3892	3,5996	-4,928	3,3892	8,5502	0,846

Примечание.  $a, b, c$  – независимые коэффициенты уравнений,  $R^2$  – коэффициент детерминации,  $n_1$  – объем выборки, т.е. число пробных площадей из базы данных [17] для аппроксимации связи надземной фитомассы с таксационными показателями,  $n_2$  – то же для корней и общей фитомассы.

Уравнения (2) и (5) явились основными для оценок фитомассы фракций, надземной и общей, по данным пробных площадей, заложенных при лесоустройстве в Вологодской и Волгоградской областях, т.е. для тех же объектов, что и при осуждении метода подеревной аллометрии [20]. При этом оценки углерода, полученные в работе [20] методами подеревной аллометрии и *Ph/M*-конверсии, принимали при сравнении за базовые, с которыми и сравнивали результаты поучастковой аллометрии. Оценки касаются исключительно древостоев, т.е. не включают углерод подроста, подлеска и напочвенного покрова.

Заметим, что расчеты по уравнениям (3) и (6) дали для всех пород вместе результаты, практически идентичные оценкам по уравнениям (2) и (5): соотношение между оценками близко 1:1. Поэтому все выводы и обсуждения оценок по уравнению (2) можно распространить и на уравнения (3), а для (5) – на (6).

Как и следовало ожидать, замена фактора  $H_{\text{ср}}$  на  $HF$  не повлекла за собой каких-либо преимуществ. Имело место лишь уменьшение значения  $H_{\text{ср}}$  на множитель  $F$ , амплитуда которого для конкретных лесобразующих пород не бывает обычно значительной. Поэтому в уравнениях (2) и (5) обнаруживаются различия лишь в коэффициентах  $a$  и  $c$ , тогда как числовое выражение коэффициента  $b$ , представляющего собой тангенс угла наклона регрессии и имеющего знаковое значение для функции, остается у этих уравнений по существу неизменным (табл. 1), обуславливая тем самым и сходство оценок при замене в уравнениях  $H_{\text{ср}}$  на  $HF$ .

Рассмотрим характер результатов определения фитомассы древостоев по уравнению (2) в сопоставлении с оценками, полученными в работе [20] посредством подеревной аллометрии и метода *Ph/M*-конверсии.

*Насаждения Вологодской обл.* представлены сосновыми, еловыми и мягколиственными насаждениями. Их таксационные характеристики приведены в работе [20].

В сосновых насаждениях поучастковая аллометрия для большей части пробных площадей дает завышение запасов углерода в надземной части древостоев в сравнении с оценками подеревной аллометрии и *Ph/M*-метода (рис. 1). Занижения оценок последних по сравнению с поучастковой аллометрией имеют место лишь в 3 и 9 случаях из 21 (рис. 1,  $A_1$  и  $A_2$ ). Максимальные превышения оценок поучастковой аллометрии над подеревной составляет 1,5–1,9 раза, причем прослеживается определенная связь завышения оценок с менее продуктивными сосняками. Для сравнения с оценками *Ph/M*-метода сохраняется аналогичная тенденция: максимальные завышения – в 1,4–1,6 раз, занижения от 0,75 до 0,9 раз, при меньшем в целом рассеивании отклонений (рис. 1,  $A_2$ ). Если же взять средние для всей совокупности пробных площадей сосняков оценки поучастковой аллометрии, то в сравнении с подеревной аллометрией превышение составляет лишь 11%, а в сравнении с *Ph/M*-методом – 2%.

Следовательно, увеличение числа пробных площадей может дать удовлетворительные для поучастковой аллометрии средние нормативы для таксации углерода в сосняках с точностью 15–20%, а в половине случаев даже с точностью  $\pm 10\%$ .

На уровне же отдельных участков леса сохраняется значительная степень неопределенности в отношении гарантированной надежности получаемых результатов. Для этого необходим анализ гораздо большего числа пробных площадей. Тем не менее представляется, что метод поучастковой аллометрии может стать альтернативой методу *Ph/M*-конверсий. Он может быть полезным и для предварительных оценок запаса углерода там, где может быть собрана информация по таксационным характеристикам насаждений на основе только перечетов, т.е. без взятия модельных насаждений. Экспресс-методы определения запасов углерода важны в первую очередь для сопоставления с оценками, полученными другими методами, при разработке специальных нормативов и т.д.

*Еловые насаждения* также обнаруживают тенденцию завышения оценок поучастковой аллометрии (рис. 1,  $B_1$  и  $B_2$ ), хотя в половине случаев обеспечивается точность  $\pm 10\%$  при сравнении с результатами двух других альтернативных методов (табл. 2).

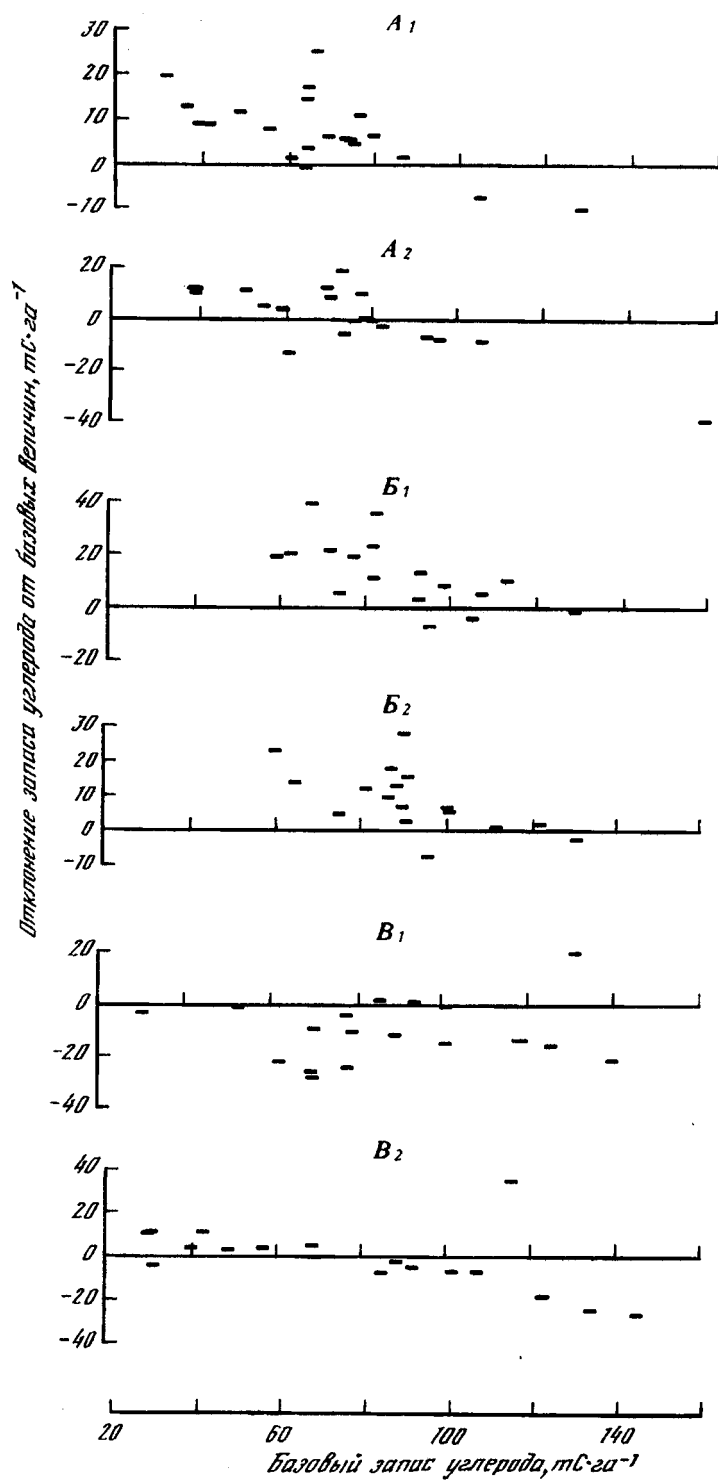


Рис. 1. Отклонения запасов углерода, которые были рассчитаны методом поучастковой аллометрии в сравнении с базовыми запасами, полученными альтернативными методами для пробных площадей сосны (А), ели (Б), мелколиственных пород (В) из Вологодской обл. Базовые определения: А<sub>1</sub>, Б<sub>1</sub>, В<sub>1</sub> – по регрессиям подервной аллометрии; А<sub>2</sub>, Б<sub>2</sub>, В<sub>2</sub> – по методу Ph/M-конверсий

Таблица 2

Распределение пробных площадей из Вологодской и Волгоградской областей по величине отношений оценок надземной фитомассы, определенных посредством поучастковой аллометрии, к базовым оценкам подеревной аллометрии и  $Ph/M$ -конверсии

Лесообразующая порода	Сравнение с подеревной аллометрией					Сравнение с $Ph/M$ -методом				
	< 0,9	0,9–1	1–1,1	1,1–1,3	> 1,3	< 0,9	0,9–1	1–1,1	1,1–1,3	> 1,3
Вологодская обл.										
Сосна	0	3	8	7	3	2	7	4	7	1
Ель	0	3	5	4	5	0	2	7	6	2
Листо- вые	13	3	2	1	0	5	6	4	1	3
В целом	13	9	15	12	8	7	15	15	14	6
Волгоградская обл.										
Сосна	4	0	4	10	20	5	7	7	7	12
Листо- вые	1	1	1	3	0	0	2	3	0	1
В целом	5	1	5	13	20	5	9	10	7	13

Занижение оценок по сравнению с подеревной аллометрией относится только к 3 случаям, с  $Ph/M$ -методом соответственно к 2 случаям из 17. Максимумы и минимумы оценок поучастковой аллометрии в сравнении с альтернативными методами находятся в том же диапазоне, что и для насаждений сосны. Но для  $Ph/M$ -метода базовые оценки сближаются с определениями поучастковой аллометрии (рис. 1,  $B_2$ ). В половине случаев согласие всех трех методов по точности находится на уровне  $\pm 10\%$ .

Представляется, что при отсутствии в экорегионах данных о биопродуктивности ельников в качестве контрольных параметров можно по уравнению (2) рассчитывать запасы углерода по таксационным показателям насаждений.

Мягколиственные насаждения, представленные березняками (чистыми и с примесью осины в составе), в меньшей мере – осинниками (см. [20]), обнаруживают несколько отличные от насаждений сосны и ели тенденции. Оценки углерода в надземной фитомассе древостоев методом поучастковой аллометрии при сравнении с подеревной (рис. 1,  $B_1$ ) оказываются преимущественно заниженными. Для  $Ph/M$ -метода – завышенными при запасах углерода до  $80 \text{ т С} \cdot \text{га}^{-1}$  и заниженными при более высоких запасах (рис. 1,  $B_2$ ). Причем для  $Ph/M$ -метода сближение оценок поучастковой аллометрии выражено сильнее. При сравнении с подеревной аллометрией низкие оценки поучастковой свойственны диапазону запасов углерода  $60\text{--}80 \text{ т С} \cdot \text{га}^{-1}$ .

Насаждения Волгоградской обл. представлены сосняками, значительная часть из которых относится к сравнительно молодым (20–60 лет), чистым по составу лесным культурам I и II классов бонитета (см. [20]). В отличие от вологодских сосняков естественного происхождения в волгоградских проводятся рубки ухода, начиная с молодого возраста. Тем самым обеспечивается поддержание оптимальной структуры древостоев с определяющей ролью в контроле факторов  $G$  и  $H_{\text{ср}}$  за счет оставления деревьев более высокой продуктивности (деревья I–III классов роста в насаждениях без ухода). В этих условиях единица  $G \cdot H_{\text{ср}}$  получается более эффективной в продукционном процессе.



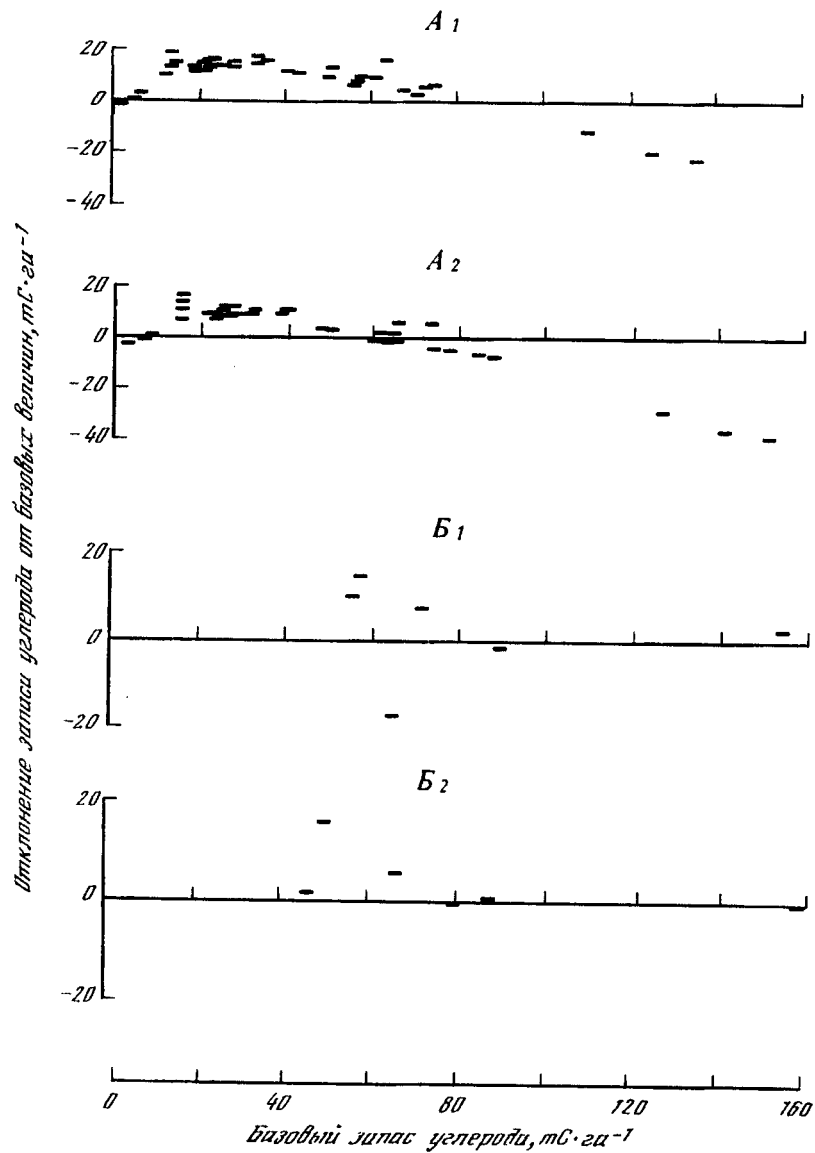


Рис. 2. Отклонения запасов углерода, рассчитанных методом поучастковой аллометрии, в сравнении с базовыми запасами, полученными альтернативными методами, для пробных площадей сосны (А) и мягколиственных пород (Б) из Волгоградской обл. Условные обозначения те же, что и на рис. 1

Как видно из рис. 2,  $A_1$ , при базовых оценках для подеревной аллометрии результаты поучастковой аллометрии в 34 случаях из 38 оказываются завышенными в 30 случаях на  $> 20\%$ , в 20 случаях даже на  $> 30\%$  (табл. 2). Занижение сравнительных оценок получено лишь для четырех, преимущественно более старых сосняков. Для малочисленных лиственных насаждений отклонения оценок от базовых не превышают  $30\%$  (рис. 4,  $B_1$ , табл. 2).

Для базовых оценок запасов углерода по  $Ph/M$ -конверсиям различия с результатами поучастковой аллометрии относительно сглаженные: для сосны 14 случаев из 38 в пределах до  $\pm 10\%$ , в 13 случаях  $> \pm 30\%$  (рис. 2,  $A_2$ ; табл. 2). Для лиственных насаждений аналогичные оценки отмечены в 5 и 1 случаях из 6 (рис. 2,  $B_2$ ; табл. 2).

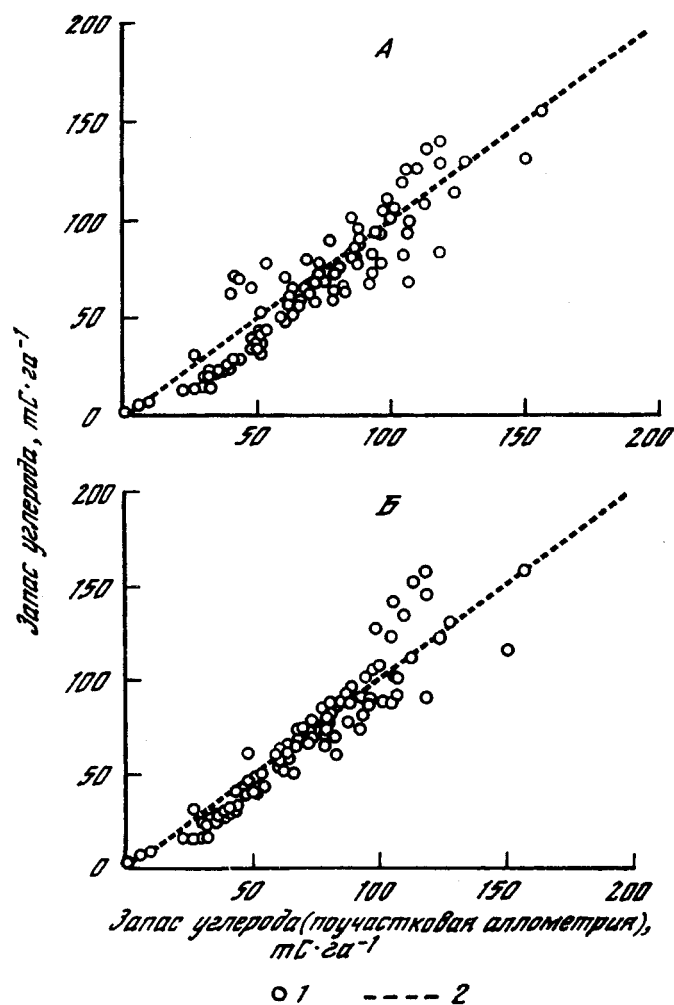


Рис. 3. Соотношение запасов углерода, оцененных разными методами, для всех пробных площадей Вологодской обл. и Волгоградской обл.:  
 1 – запас углерода по подеревной аллометрии (А) и Ph/M-конверсии (Б);  
 2 – линия 1:1

Если результаты сравнения данного метода с двумя другими ограничить отклонениями  $\pm 10\%$ , то естественные насаждения сосны и ели Вологодской обл. получают преимущество перед искусственными в основном насаждениями сосны Волгоградской обл. Сравнение с подеревной аллометрией независимо от лесобразующих пород показывает (табл. 2), что с небольшими отклонениями ( $\pm 10\%$ ) в Вологодской обл. приходится 42% от всех пробных площадей, в Волгоградской обл. – только 14%, в сравнении же с методом Ph/M-конверсии – соответственно 53 и 43%.

Соотношение между результатами поучастковой аллометрии и двумя другими альтернативными методами показано на рис. 3. Видно, что в интервале оценок углерода до 100–120 тС · га<sup>-1</sup>, определенных по таксационным показателям древостоев, методы подеревной аллометрии и Ph/M-конверсий не имеют практически различий между собой. При более высоких значениях отклонения оценок от линии 1:1 в обоих случаях увеличиваются, причем для Ph/M-метода с большими отклонениями. Вообще же различия оценок запасов углерода для всех трех методов оказываются небольшими. Тем не менее метод поучастковой аллометрии несколько уступает методу Ph/M-

конверсии. Возможно, это обусловлено различиями в объеме информации, привлекаемой при обосновании каждого из них.

Безусловно, расширение и увеличение географии пробных площадей, взятых для анализа, должно сопровождаться дальнейшим сглаживанием расхождений результатов, получаемых с использованием разных методов. Известно, что статистические методы малопригодны для изучения конкретных объектов (единиц наблюдений), но эффективны для больших и средних выборок. В равной мере это касается и метода поучастковой аллометрии при определении запасов углерода в древостоях.

Почувствительная аллометрия и *Ph/M*-конверсия могут дополнять друг друга прежде всего для корректировки вычисляемых по ГУЛ средних запасов насаждений отдельных возрастных групп. По материалам ГУЛ каждая территориальная единица независимо от площади (лесохозяйственное предприятие, экорегион, субъект РФ, биом и т.д.) характеризует лесобразующую породу единственным для возрастной группы значением запаса, который и конвертируется в фитомассу.

При наличии материалов перечислительной таксации, представленных пересчетными ведомостями и графиками высот деревьев, корректировку получаемых по *Ph/M*-методу результатов можно вести по уравнениям подеревной аллометрии [19]. Если же брать данные для пробных площадей из литературных и других источников (лесоустроительных и т.д.), то аналогичные корректировочные расчеты возможны и по уравнениям поучастковой аллометрии (часть их приведена в табл. 1). Сопоставление получаемых результатов с оценками по *Ph/M*-методу будет служить для уточнения средних запасов по возрастным группам насаждений и позволит откорректировать, если имеется потребность, и запасы углерода.

По уравнениям поучастковой аллометрии (как и для *Ph/M*-метода) можно оценивать запасы фитомассы и углерода в различных комбинациях насаждений: по типологическим группам, классам бонитета, составу пород и т.д. Равным образом и динамику модальных насаждений по запасам фитомассы и углерода с целью количественного выражения углероддепонированных функций лесонасаждений, создаваемых для секвестра  $\text{CO}_2$  [3].

Вся совокупность обсуждаемых методов учета фитомассы и углерода в лесах России, а именно: *Ph/M*-отношений [1, 2, 15, 31], аллометрических регрессий для модельных деревьев [19], регрессионных уравнений для насаждений (настоящее сообщение) существенно расширяют информационное поле и представление о ресурсах леса и лесных экосистемах в целом. Они могут послужить базой и для разработки других методов учета фитомассы и углерода. Уравнения регрессии и конверсионные коэффициенты, на наш взгляд, могут привлекаться для решения самых разных задач лесоводства, лесоведения, экологии, причем как с опорой на материалы ГУЛ, так и независимо от них<sup>1</sup>.

Обсуждение свидетельствует о перспективности в целом разработки метода поучастковой аллометрии. Хотя остаются полностью не объясненными различия его оценок запасов углерода с оценками *Ph/M*-метода, когда используется тот же параметр *Ph*. В возрастной динамике запасов углерода, определенных по обоим методам, оценкам поучастковой аллометрии сначала (до 60–80 т  $\text{C} \cdot \text{га}^{-1}$ ) свойственно завышение, в интервале 70–80 т  $\text{C} \cdot \text{га}^{-1}$  меняется знак, далее следует занижение.

Выявленная тенденция, несомненно, обусловлена рядом факторов, меняющихся в ходе возрастного развития древостоев: а) плотностью древесины; б) соотношением между фитомассой фракций; в) мерой согласия и параллелизма в изменении *G* и *H*<sub>ср.</sub> с возрастом древостоев; г) точностью определения запасов при таксации пробных площадей; д) методами, используемыми при определении фитомассы на пробных площадях, которые вошли в базу данных.

<sup>1</sup> Последний статистический справочник по лесному фонду России [4] мало пригоден для таких расчетов. В отличие от [5] и [6] он не содержит распределения по возрастным группам площадей и запасов насаждений отдельных лесобразующих пород.

В климаксовых и близких к ним бореальных лесах с их мозаично-циклической динамикой связь фитомассы с основными таксационными показателями должна быть более тесной, чем в возрастном диапазоне от молодняков до перестойных. Во всяком случае, в быстро восстанавливающих климаксовую структуру тропических лесах прослеживается очень тесная линейная зависимость  $Ph$  от  $G$ . Так, в Южной Америке для площади 1 га отношение надземной  $Ph$  к  $G$  в лесах дренированных местообитаний равно 12 т на 1 м<sup>2</sup> $G$ , влажных местообитаний – 6 т, в тропических лесах Азии – 11 т на 1 м<sup>2</sup> [24].

Методы поучастковой аллометрии и  $Ph/M$ -конверсий базируются на запасах стволовой древесины. Только в первом случае – полученных на реальных пробных площадях и с трансформацией запасов в видовые цилиндры древостоев – в  $G \cdot H_{cp}$  или сразу же в  $G \cdot HF$ . Во втором – на расчетных, после деления инвентаризационных запасов на покрытые лесом площади для насаждений разных возрастных групп тех или иных лесообразующих пород из материалов ГУЛ и лесоустройства.

Можно считать, что используемые в поучастковой аллометрии таксационные показатели, полученные при закладке пробных площадей лесоводами и таксаторами, отвечают всем требованиям принятых стандартов [11] и запас (объем стволов) определяется с интегральной точностью  $\pm 10\%$  [1].

Сущность понятий "запас" и "фитомасса" различны. Фитомасса, во-первых, дополняет емкостные показатели – объемы стволов ( $V_{st.}$ , м<sup>3</sup> · га<sup>-1</sup>) качественным их состоянием через объемную массу ( $\rho_{усл.}$ , т · м<sup>-3</sup>); при этом масса абсолютно сухого вещества соотносится с  $V_{st.}$  в сыром состоянии. Так как  $V_{st.}$  представлен объемами древесины и коры, то и  $\rho_{усл.}$  выражается для этих фракций большей частью отдельно и редко – вместе. В результате этого выражение  $V_{st.} = M = G \cdot HF$  преобразуется в  $Ph = G \cdot HF \cdot \rho_{усл.}$ .

В России сведения о  $\rho_{усл.}$  довольно малочисленны, особенно в возрастной динамике насаждений [12, 16], что затрудняет использование  $\rho_{усл.}$  для надежных учетов фитомассы лесов РФ. В Германии этот показатель является наиважнейшим в разработке нормативов для учета запасов углерода (P. Burschel, E. Kursten, C. Larson 1993; цит. по [30]).

Фитомасса включает (помимо стволовой  $Ph_{st.}$ ) в качестве равноправных фракций массу всех прочих морфоструктур деревьев: ветвей ( $Ph_{br.}$ ), корней ( $Ph_{r.}$ ), листья ( $Ph_l$ ), генеративных органов ( $Ph_{g.o.}$ ), независимо от продолжительности их жизни. В лесной таксации объемы ветвей (сучьев) приводятся редко (например, в [13]). Объемы корней, как и охвоенных ветвей (древесной зелени), учитываются обычно при решении специальных задач, заменяясь чаще на показатели массы (веса) [29]. В справочниках ФАО древесная фитомасса кроны и корней учитывается по средним показателям от определяемой по  $\rho_{усл.}$  и  $M_{st.}$ : для ветвей 15%, корней лиственных пород 30%, хвойных – 25%.

Таким образом, точность получения как конечного продукта – запасов углерода в фитомассе по данным ГУЛ, так и решения частной задачи – обоснование метода поучастковой аллометрии, взаимосвязаны и зависят от точности определения  $M$  и  $Ph$  на пробных площадях, представленных в базе данных продуктивности лесов [18]. Сами же данные в значительной мере определяются выбором места для закладки пробной площади и способа ее таксации.

В исследованиях фитомассы предпочтение отдается обычно насаждениям, характеризующимся чистым составом и высокой полнотой. Материалы ГУЛ, напротив, объединяют все разнообразные насаждения возрастных групп отдельных лесообразующих пород. Проблема углеродного цикла – разноплановая и тесно смыкается с решением сугубо экологических вопросов биологической продуктивности лесных экосистем, так как углерод определяется через фитомассу и продукты ее деструкции.

В СССР у истоков этой проблемы углеродного цикла долгое время стояли геобо-

таники и почвоведы, отдававшие предпочтение при определении фитомассы методу среднего дерева. Между тем даже при определении только запасов древостоев "нахождение средней модели, столь простое в теоретическом отношении, представляет значительные затруднения в практике, при выборе модели в натуре" [10, стр. 275]. Довольно трудным оказывается подыскание деревьев с близкими к вычисленным диаметром и высотой, не говоря о глазомерном определении средней формы ствола [10].

При взятии единственной модели исчисление запасов древостоев по методу среднего дерева дает погрешности в пределах – 16...+18% [10]. Сходные, но, как правило, заниженные оценки получаются и для надземной фитомассы. По сравнению с рубкой всех деревьев на участке фитомасса отдельных фракций занижается нередко на 40–50% [22, 23, 27, 33 и др.]. Уменьшение погрешности метода достигается взятием нескольких средних модельных деревьев. Но чаще для этих целей применяется метод аллометрических уравнений.

База данных по продуктивности лесов [18] объединяет результаты, полученные разными методами, в том числе методом среднего для  $\approx 20\%$  пробных площадей. Расслоение общих выборок пробных площадей по методам определения фитомассы обеспечило бы некоторую корректировку результатов. Но последняя вряд ли существенно сказалась бы на точности определения  $M$ ,  $Ph$  и  $Ph/M$ , и помогла бы в объяснении причин более высоких оценок углерода по  $G \cdot H_{\text{ср}}$  в интервале 20–60(70) т С · га<sup>-1</sup>.

Причина этих различий связана с возрастной динамикой формирования продуктивности древостоев. В возрасте 30–40 лет межфракционные соотношения фитомассы насаждений становятся близкими к постоянному (инвариантному) и поддерживаются далее сходными темпами изменения  $G$  и  $H_{\text{ср}}$ . В более раннем возрасте накопление фитомассы обязано всецело большому числу особей маломерных деревьев [21]. По фитомассе их стволы уступают другим фракциям (ветви, листья), что и сказывается на размерах  $Ph/M$ -отношений. К тому же определение запасов в молодняках имеет определенные сложности (большая вариабельность размеров особей, часть которых еще не достигла высоты 1,3 м, и т.д.).

Древесина молодых деревьев еще не дифференцирована на заболонную и ядровую (или спелую), вся она относится к ювенильной и водопроводящей с небольшой долей поздней древесины в годичном кольце. Древесным клеткам свойственны крупные полости и тонкие стенки, а отсюда и более низкие значения  $\rho_{\text{усл}}$  [12], чем после завершения процесса дифференциации деревьев в насаждении.

Следовательно, в молодняках и отчасти в средневозрастных насаждениях древесная масса оказывается менее плотно упакованной в своем объеме. В лесных культурах, относящихся к энергетически дотационным системам за счет агротехники и рубок ухода, эти процессы выражены более рельефно. К тому же здесь вследствие ухода в молодых насаждениях искусственно завышается  $H_{\text{ср}}$ , что также может сказываться на результатах поучастковой аллометрии.

В период до окончания процесса дифференциации все древостои проходят несколько общих для разных пород фаз в динамике фитомассы: а) *начального накопления* (до смыкания крон); б) *интенсивного накопления* за счет большой численности особей и их интенсивного прироста; в) *снижения* вследствие интенсивного изреживания; г) *стабилизации* в пределах некоторого интервала максимумов и минимумов. Древостои различных древесных пород проходят эти фазы с различной скоростью. Насаждения из быстрорастущих пород (ивняки, сероольшаники и др.) и искусственно созданные – более быстро, но и продолжительность жизни у них, как правило, короче. Динамика запасов фитомассы молодых насаждений по отношению к общей линии регрессии имеет форму огивы, с выходом на максимум, например, в искусственных насаждениях сосны ладанной на 20 лет раньше, чем в сформировавшихся на вырубках [35].

В таблицах хода роста [13] первые две фазы не бывают отражены, поскольку структура стабилизируется обычно в группе средневозрастных насаждений. Поэтому

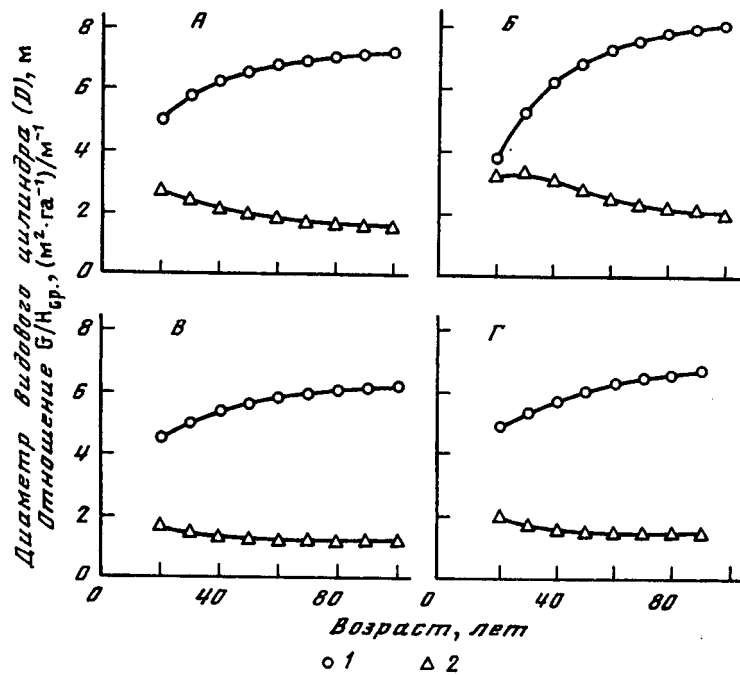


Рис. 4. Возрастная динамика диаметра видовой цилиндра (1) и отношения  $G/H_{cp}$  (2) в насаждениях II класса бонитета сосны (А), ели (Б), березы (В) и осины (Г)

и соотношения  $G$  и  $H_{cp}$  в молодняках многообразны и, видимо, мало укладываются в показатели для 20-летних насаждений из таблиц хода роста.

Согласно анализу таблиц хода роста (рис. 4), разные породы в одинаковом возрасте имеют близкие величины видовых цилиндров древостоев. Лишь ель по всем показателям "идет на опережение". Возможно из-за привлечения А.В. Тюриным [14] многих местных таблиц для ельников Западной Европы, где еловые леса практически не испытывает стрессов на засухи и выделяются высокими значениями  $G$  и  $H_{cp}$ .

У сосны, березы и осины диаметр цилиндра древостоя ( $D$ ), соответствующий  $G$ , за период 30...100 лет увеличивается с 5...6 м до 6...7 м, отношение  $G/H_{cp}$  уменьшается с 1,5...2,5 до 1,2...1,5 ( $m^2 \cdot ga^{-1})/m^{-1}$ , т.е. возрастная динамика сходна для  $G$  и  $H_{cp}$ , а с 60–70-летнего возраста отношение  $G/H_{cp}$  или вообще не меняется, или меняется очень незначительно (сосна). Для насаждений ели возрастное изменение тех же показателей следующее: с 5,2 до 8,0 м и с 3,3 до 2,0 ( $m^2 \cdot ga^{-1})/m^{-1}$ .

Таким образом, определяющие фитомассу древостоев метрические таксационные показатели имеют общие тенденции возрастной динамики. Но эта тенденция вряд ли имеет жесткое сопряжение с  $\rho_{усл.}$ , поскольку на последнюю помимо возраста древостоев весьма существенно влияют условия местопроизрастания – группа типов леса.

Имеющаяся база данных по запасам фитомассы (углерода) и характер возрастной динамики  $G$  и  $H_{cp}$  не дают оснований для конверсии запасов из традиционных таблиц хода роста в аналогичные, но в терминах фитомассы, таблицы. Такое решение [8] вряд ли можно признать корректным.

Для составления нормативов по таксации фитомассы (углерода) необходимы отдельные исследования и самостоятельные обобщения. Возможно, как в Германии, где предварительно рассчитывались интегральные корректирующие коэффициенты. Последние объединяют в себе не только отношение всех фракций фитомассы к учитываемому при лесоустройстве запасу древостоев, но и средние для пород значения  $\rho_{усл.}$ , концентрацию углерода в фитомассе. При этом для хвойных пород фитомасса крон учитывается с хвоей, для лиственных – только безлиственный скелет. За период с 30 до

> 160 лет изменение корректировочных коэффициентов по классам возраста древостоев составляет: дуб 1,58...1,34, бук 1,69...1,39, ель 1,65...1,48, пихта 1,58...1,41, сосна 1,51...1,33 [30]. Иными словами, в динамике возрастного уменьшения для разных пород корректировочных коэффициентов просматривается определенная инвариантность.

**Выводы. 1.** Метод поучастковой аллометрии не обнаружил преимуществ перед широко применяющимся в учете запасов фитомассы и углерода методом конверсионных коэффициентов или *Ph/M*-отношений. Оба метода базируются на показателях объемного запаса насаждений, однако в *Ph/M*-методе запас конкретных древостоев скоррелирован с их фитомассой, тогда как метод поучастковой аллометрии лишен такой связи и не подкрепляется показателями плотности древесины.

**2.** Отклонение в пределах  $\pm 10\%$  оценок запасов углерода по методу поучастковой аллометрии от оценок двух других альтернативных методов (*Ph/M*-отношение, по-деревная аллометрия) для естественных лесов Вологодской обл. составляет по 65%, в Волгоградской обл., где преимущество остается за молодыми сосновыми культурами, соответственно 54 и 25%.

**3.** Основной недостаток метода поучастковой аллометрии – завышение оценок в более молодых насаждениях – обусловлен скорее всего структурной неорганизованностью молодняков и более низкой, чем средняя, плотностью древесины.

**4.** Метод поучастковой аллометрии определения запасов углерода может найти применение в корректировке получаемых по материалам ГУЛ средних запасов насаждений возрастных групп, особенно в тех районах, для которых в различных источниках имеются таксационные материалы пробных площадей. Кроме того, он может быть использован при разработке и совершенствовании нормативов для таксации фитомассы и углерода биогеоценозов основных лесообразующих пород России.

**5.** В настоящее время требованиям к нормативам учета углерода лесов РФ в наибольшей степени отвечает метод *Ph/M*-отношений как наиболее простой и доступный, в том числе и на уровне отдельных лесохозяйственных предприятий. Первоочередной задачей здесь представляется увязка значений *Ph/M*-отношений с конкретным возрастом насаждений вместо возрастных групп последних.

**6.** Для запасов углерода в подземных органах деревьев (пни, корни), по-прежнему не существует удовлетворительных методов учета. Следует, очевидно, продолжать пользоваться рекомендациями ФАО: 25% от надземной древесной массы для хвойных пород и 30% для лиственных.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по проведению лесоустройства в едином государственном лесном фонде СССР. Ч. 1. М.: Госкомлес СССР, 1986. 134 с.
2. 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.
3. 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 (1996). 156 с.
4. Лесной фонд России: Справочник (по учету на 01.01.1993 г.). М.: Рослесхоз, 1995. 280 с.
5. Лесной фонд РСФСР (по учету на 01.01.1988 г.). М.: Минлесхоз РСФСР, 1990. 739 с.
6. Лесной фонд СССР: Статистический справочник (по состоянию на 01.01.1988 г.). Т. 1. М.: Госкомлес СССР, 1990. 1002 с.
7. Макаревский М.Ф. Запасы и баланс органического углерода в лесных и болотных биогеоценозах Карелии // Экология. 1991. № 3. С. 3–10.
8. Нормативы для таксации лесов центрального и южного районов европейской части Российской Федерации: Справочник / Под ред. Загребеева В.В. М.: Федеральн. служба лесн. хоз-ва России, 1993. 418 с.
9. Общесоюзные нормативы для таксации лесов / Авторы: В.В. Загребеев, В.И. Сухих, А.З. Швиденко и др. М.: Колос, 1992. 495 с.

10. Орлов М.М. Лесная таксация. Изд. 3-е. Л.: Изд. журнала "Лесн. хоз-во и лесн. пром-сть". 1929. 532 с.
11. ОСТ 56–69–83. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. 59 с.
12. Полубояринов О.И. Плотность древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 160 с.
13. Третьяков Н.В., Горский П.В., Самойлович Г.Г. Справочник таксатора. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1952. 854 с.
14. Тюрин А.В. Нормальная производительность еловых насаждений // Записки Воронежск. с.-х. ин-та. 1926. Т. 6. С. 162–196.
15. Углерод в экосистемах лесов и болот России / Под ред. Алексеева В.А. и Бердси Р.А. Красноярск: Ин-т леса СО РАН, Северо-Восточная лесн. эксперимент. станция лесной службы США, 1994 (1995). 232 с.
16. Успенский В.В. Изменчивость плотности древесины сосны и ее использование в весовой таксации // Изв. вузов. Лесн. журнал. 1980. № 6. С. 9–12.
17. Уткин А.И. Углеродный цикл и лесоводство // Лесоведение. 1995. № 5. С. 3–20.
18. 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.
19. Уткин А.И., Замолодчиков Д.Г., Гульбе Т.А., Гульбе Я.И. Аллометрические уравнения для фитомассы по данным деревьев сосны, ели, березы и осины в европейской части России // Лесоведение. 1996. № 6. С. 36–46.
20. Уткин А.И., Замолодчиков Д.Г., Гульбе Я.И. и др. Определение запасов углерода насаждений на пробных площадях: сравнение аллометрического и объемного методов // Лесоведение. 1997. № 5. С. 51–56.
21. Уткин А.И., Рождественский С.Г., Гульбе Я.И., Каплина Н.Ф. Продукционная инвариантность древостоев // Лесоведение. 1988. № 2. С. 12–23.
22. Attiville P.M., Ovington J.D. Determination of forest biomass // Forest Sci. 1968. V. 14. № 1. P. 13–15.
23. Baskerville G.L. Estimation of dry weight of tree components and total standing crop in conifer stands // Ecology. 1965. V. 46. № 6. P. 867–869.
24. Brown S. Tropical forests and the global carbon cycle: estimating state and change in biomass density // Forest ecosystems, forest management and the global carbon cycle / Ed. by Apps M.J., Price D.T. Berlin: Springer, 1996. P. 135–144.
25. Cannell M.G.K. Wood biomass of forest stands // For. Ecol. Managem. 1984. V. 8. № 3/4. P. 299–312.
26. Cannell M.G.K. World forest biomass and primary production data. London: Acad. Press, 1981. 391 p.
27. Crow T.R. Estimation of biomass in an even-aged stand "regression and "mean tree – techniques // Forest biomass studies. Orono: University of Maine, 1971. P. 35–48.
28. Geron C.D., Ruark G.A. Comparison of constant and variable allometric ratios for predicting foliar biomass of various tree genera // Can. J. For. Res. 1988. V. 18. № 10. P. 1298–1304.
29. Hakkila P. Utilisation of residual forest biomass. Berlin: Springer, 1989. 568 p.
30. Hoch O., Baritz R., Schill H. Regionale Kohlenstoffspeicherung auf Waldstandorten in Brandenburg // Beitr. Forstwirtsch. u. Landsch. oekol. 1995. Bd. 29. H. 2. S. 81–87.
31. 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.
32. Liu Zhi-gang, Ma Qin-yan, Pan Xiang-li. A study on the biomass and productivity of the natural Larix Gmelinii forests // Acta Phytocologica Sinica. 1994. V. 18. № 4. P. 328–337 (кит., рез. англ.).
33. Madgwick H.A.I., Sato T. On estimating the aboveground weights of tree stands // Ecology. 1975. V. 56. № 6. P. 1446–1450.
34. Pastor J., Aber J.D., Melillo J.M. Biomass prediction using generalised allometric regressions for some Northeast tree species // For. Ecol. Managem. 1984. V. 7. № 4. P. 265–274.
35. Shiffman P.M., Johnson W.C. Phytomass and detrital carbon storage during forest regrowth in the southeastern United States Piedmont // Can. J. For. Res. 1989. V. 19. № 1. P. 69–78.

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

Центр по проблемам экологии  
и продуктивности лесов РАН, Москва

Поступила в редакцию  
30.06.1997