

ХОД РОСТА НАДЗЕМНОЙ ФИТОМАССЫ БЕРЕЗНЯКОВ СРЕДНЕГО УРАЛА

По экспериментальным данным 62 пробных площади заложены на Среднем и Южном Урале и в Северном Казахстане (юг Западно-Сибирской низменности и Тургайский прогиб), рассчитаны совмещенные для каждого из трех регионов (Средний и Южный Урал, Северный Казахстан) регрессионные модели оценки переводных коэффициентов (отношение массы фракций к запасу стволовой древесины) по четырем массообразующим факторам - возрасту, классу бонитета, среднему диаметру и густоте. Путем стыковки таблиц хода роста (ТХР) березняков Среднего Урала с соответствующими регрессионными моделями для переводных коэффициентов составлен эскиз региональных таблиц хода роста фитомассы березняков.

При осуществлении комплексного экологического мониторинга лесов и непрерывного лесоустройства как его составной части (Сухих, 1995) необходима база лесоустроительных данных и соответствующая нормативная основа, в частности таблицы хода роста фитомассы древостоев.

Для основных лесообразующих пород Северного Казахстана (Усольцев, 1987, 1988 а, б) и Среднего Урала (Усольцев и др., 1994) такие таблицы составлены. Настоящее исследование было предпринято с целью выявить возможности экстраполяции закономерностей динамики фитомассы березняков Северного Казахстана на прилегающие регионы Урала и, при наличии региональных особенностей, составить отдельные таблицы надземной фитомассы березняков Урала.

Экспериментальный материал получен в трех регионах: Северном Казахстане (Согровский и Полудинский лесхозы Северо-Казахстанской области на границе с Российской Федерацией, юг Западно-Сибирской низменности, зона лесостепи; Боровской и Аракарагайский лесхозы Кустанайской области в Тургайском прогибе, зона степи), Южном Урале (Кузинский лесхоз Челябинской области в Южноуральской провинции горных южногазовых и смешанных лесов) и Среднем Урале (Березовский лесхоз Свердловской области и Учебно-опытный лесхоз УГЛТА в Зауральской холмисто-предгорной провинции в подзоне южной тайги). В названных трех регионах было заложено соответственно 40, 11 и 11 (всего 62) пробных площадей, на которых взято соответственно 500, 100 и 97 (всего 697) модельных деревьев. Методика получения и характеристика

экспериментальных данных была изложена ранее (Усольцев, 1985 а, 1988 а, 1996).

В прошлом веке швейцарским ученым Ф.Флури (Flury, 1892) впервые был предложен переводной коэффициент, представляющий отношение массы фракции к объему ликвидной древесины. Ныне его применение при оценке фитомассы лесов претерпело ряд методических модификаций, в частности, используются отношения: массы фракций к объему ствола (Hitchcock, 1979; Adams, 1982), массы фракций к общей фитомассе (надземной и подземной) или к массе ствола (Smith, 1976; Алексеев, Бердси, 1994), общей фитомассы к массе ликвидной древесины (Sharp et al., 1975; Johnson, Sharpe, 1983). Переводной коэффициент принимается либо постоянным для данной породы или группы пород (Argentano, Ralston, 1980; Delcourt et al., 1981; Birdsey, 1992; Sampson, 1992; Kolchugina, Vinson, 1993; Аткин, 1994), либо рассматривается как функция одной переменной, например, среднего диаметра древостоя (Brown et al., 1989) либо возраста (Исаев и др., 1993; Алексеев, Бердси, 1994).

На рис.1 нанесены наши экспериментальные данные переводного коэффициента, представляющего отношение массы листвы в абсолютно сухом состоянии к запасу стволовой древесины на 1 га для чистых одно-возрастных березняков вышеупомянутых трех регионов в зависимости от возраста древостоев. Их анализ показывает, что в возрасте 10, 30 и 50 лет перепад значений переводного коэффициента, т.е. разность между максимальным и минимальным значениями, составляет соответственно 160, 30 и 15 кг/м³. Аналогичная закономерность прослеживается по данным фитомассы влажных тропических лесов четырех стран (Камерун, Французская Гвиана, Малайзия и Шри Ланка) с породным составом до 400 наименований (Brown et al., 1989). Отношение общей (надземной и подземной) фитомассы к массе стволовой древесины, нанесенное на график в зависимости от среднего диаметра ствола, в низших ступенях толщины имеет максимальный разброс (рис.2).

Показанные на рис. 1 и 2 зависимости могут быть аппроксимированы уравнением гиперболы с высоким коэффициентом детерминации, однако в левой части полей распределения экспериментальных данных это уравнение будет давать высокую ошибку. Ф.Флури (Flury, 1892) исследовал диапазоны варьирования переводного коэффициента, представляющего отношение объема ветвей (пл. м³/га) к объему ликвидной древесины (пл. м³/га), у ели на 124 и у бука - на 89 пробных площадях в возрасте от 19 до 154 и от 20 до 220 лет соответственно. Ошибка определения переводного коэффициента была обратно пропорциональна возрасту и средней высоте древостоя (рис. 3). При группировке ошибок по грациям

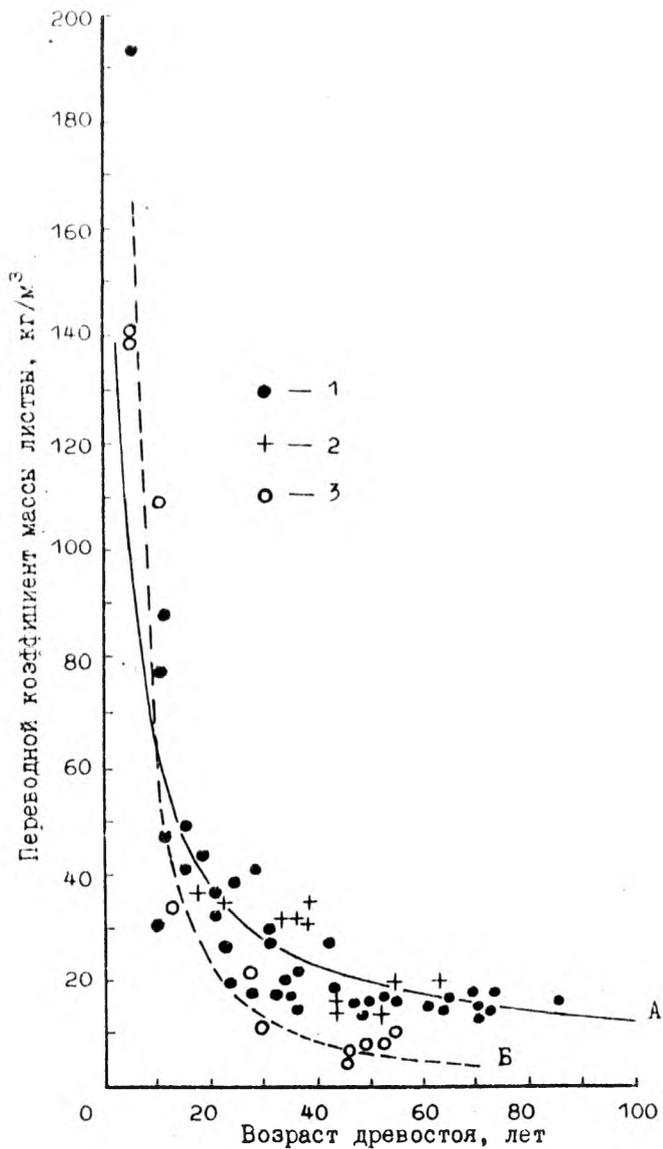


Рис.1. Зависимость переводного коэффициента (отношения массы листовой в абсолютно сухом состоянии, кг/га, к запасу стволовой древесины, м³/га) от возраста березняков; 1-Северный Казахстан; 2-Южный Урал; 3-Средний Урал.

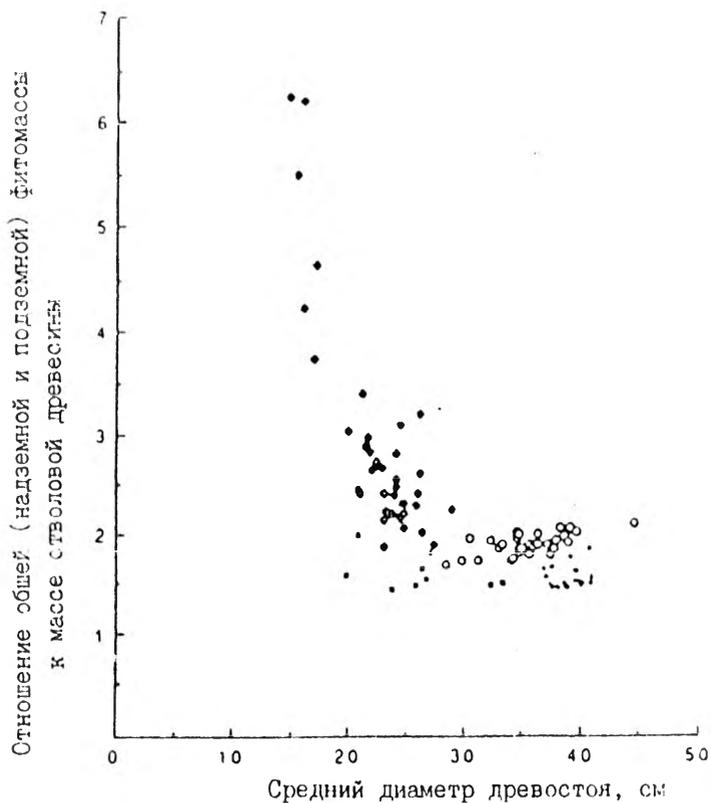


Рис.2. Зависимость переводного коэффициента (отношения общей фитомассы к массе стволов) от среднего диаметра древостоев влажных тропических лесов (Камерун, Французская Гвиана, Малайзия и Шри Ланка) с составом, включающим до 400 пород (Brown et al., 1989).

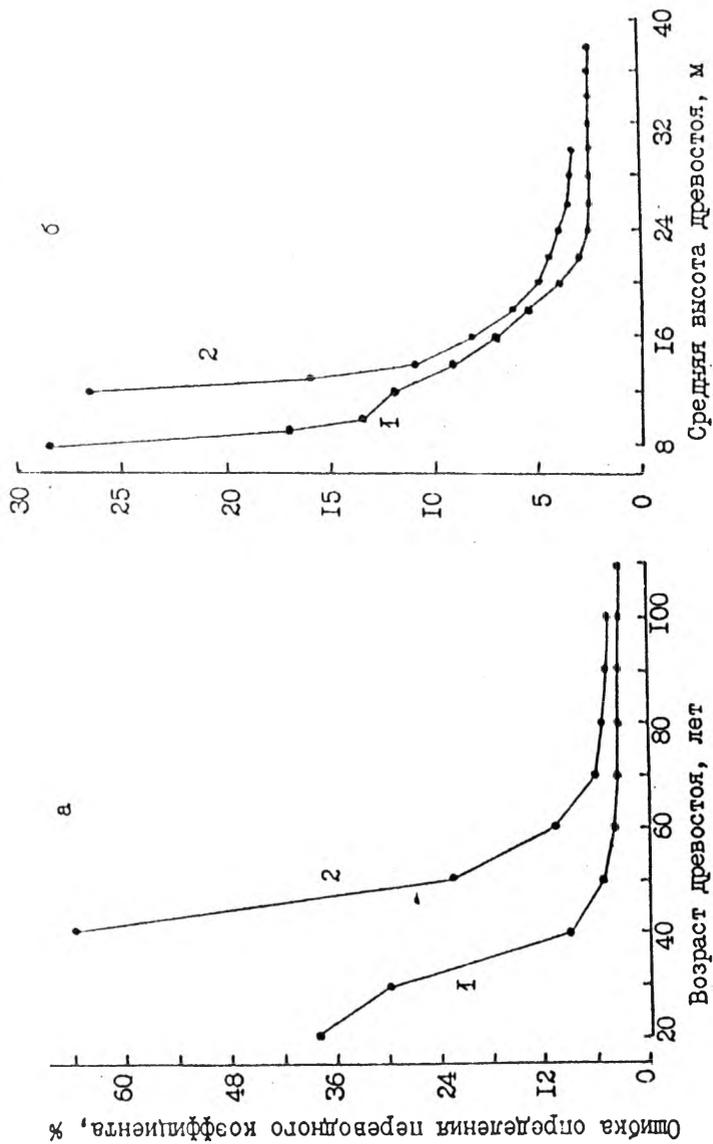


Рис.3. Зависимость ошибки определения переходного коэффициента (ветви : ликвидная древесина) от возраста (а) и средней высоты (б) еловых (1) и буковых (2) древостоев по данным Ф.Флури (Flury, 1892).

средней высоты их величина вдвое меньше, чем при группировке по классам возраста, но в обоих случаях у бука она была существенно выше, чем у ели.

Таким образом, определение переводного коэффициента по одному из определяющих факторов связано со значительной ошибкой при малых величинах последнего. Для выявления влияния на величину переводного коэффициента всего комплекса определяющих факторов необходимо применение многомерных методов исследования.

При анализе и объяснении изменчивости переводного коэффициента регрессионным методом (по нашим экспериментальным данным фитомассы) была использована модель общего вида:

$$\ln(P_i/M) = f(\ln A, \ln H_{50}, \ln D, \ln N), \quad (1)$$

где P_i - фитомасса i -й фракции в абсолютно сухом состоянии, т/га;

M - запас стволовой древесины, м³/га;

A - возраст древостоя, лет;

H_{50} - класс бонитета, выраженный средней высотой древостоя (м) в боровом возрасте 50 лет по бонитетной шкале М.М. Орлова;

D - средний диаметр, см;

N - число деревьев, тыс. экз./га.

Для сопоставления четырехфакторных моделей (1) динамики переводных коэффициентов по трем регионам использованы блоковые “фиктивные” переменные (Дрейпер, Смит, 1973), квантифицированные специфичными кодированными уровнями:

$X_1=0; X_2=0$ - березняки Северного Казахстана;

$X_1=1; X_2=0$ - березняки Южного Урала;

$X_1=0; X_2=1$ - березняки Среднего Урала.

Каждый блок переменных X_1 и X_2 , обозначающий регион, повторяется в исходном массиве экспериментальных данных столько раз, сколько имеется пробных площадей по каждому региону.

С целью “гармонизации”, то есть согласования между собой различных фракций фитомассы крон, применен рекурсивный принцип - цепочка связанных уравнений (Усольев, 1997). Так, если в уравнении (1) для переводных коэффициентов массы стволов (P_{st}/M) и скелета крон (P_{sk}/M) включены только названные четыре массообразующих фактора, то в соответствующие уравнения переводных коэффициентов массы коры скелета крон, массы листвы и древесной зелени введен в качестве независимой переменной переводной коэффициент массы скелета крон (P_{sk}/M), а в уравнение для массы коры стволов – переводной коэффициент массы стволов (P_{st}/M) (абл.1). В результате обработки экспериментальных зна-

чений переводных коэффициентов по программе многофакторного регрессионного анализа SYSTAT получены уравнения вида:

$$\ln(P_i/M) = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3\ln A + a_4\ln H_{50} + a_5\ln^2 H_{50} + a_6\ln D + a_7\ln^2 D + a_8\ln N + a_9\ln A\ln N + a_{10}\ln^2 A\ln N + a_{11}\ln A\ln^2 D + a_{12}\ln^2 A\ln D + a_{13}\ln A\ln D + a_{14}\ln N\ln^2 D + a_{15}\ln H_{50}\ln D + a_{16}\ln H_{50}\ln A + a_{17}\ln(P_{sk}/M) + a_{18}\ln(P_{st}/M) + a_{19}\ln(P_{st}/M)\ln H_{50}. \quad (2)$$

характеристика которых приведена в табл. 1. Все константы уравнений значимы на уровне t_{05} и выше.

Таблица 1

Характеристика уравнений (2) для переводных коэффициентов P_i/M различных фракций надземной фитомассы березняков трех регионов в зависимости от определяющих факторов

Константа, Фактор и показатель адекватности	Значение констант уравнения (2) для переводных коэффициентов					
	Надземная фитомасса в абсолютно сухом состоянии, кг/м ³					Древесная зелень в свежем состоянии, т/м ³
	ствола		скелета кроны		листья	
	всего	коры	всего	коры		
a_0	-16,379	-1,173	6,551	-1,395	-0,148	0,860
a_1X_1	0,071	-0,367	—	0,062	0,311	—
a_2X_2	—	-0,152	-0,395	0,094	-0,394	-0,270
$a_3\ln A$	3,973	—	-1,837	—	—	—
$a_4\ln H_{50}$	9,483	—	-1,351	0,296	—	—
$a_5\ln^2 H_{50}$	-1,376	—	—	—	—	—
$a_6\ln D$	-4,505	—	—	0,582	—	—
$a_7\ln^2 D$	0,514	—	—	—	—	—
$a_8\ln N$	—	—	-0,311	—	—	—
$a_9\ln A\ln N$	—	—	—	—	-0,149	-0,109
$a_{10}\ln^2 A\ln N$	-0,010	—	—	—	—	—
$a_{11}\ln A\ln^2 D$	-0,070	—	—	—	—	—
$a_{12}\ln^2 A\ln D$	—	-0,013	—	—	—	—
$a_{13}\ln A\ln D$	—	—	0,196	-0,069	-0,170	-0,161
$a_{14}\ln N\ln^2 D$	0,023	—	—	—	—	—
$a_{15}\ln H_{50}\ln D$	1,198	—	—	-0,171	-0,149	-0,109
$a_{16}\ln H_{50}\ln A$	-1,299	—	—	—	—	—
$a_{17}\ln(P_{sk}/M)$	—	—	—	0,991	0,343	0,348
$a_{18}\ln(P_{st}/M)\ln N\ln^2 A$	—	0,010	—	—	—	—
$a_{19}\ln(P_{st}/M)\ln H_{50}$	—	0,297	—	—	—	—
R^2	0,680	0,805	0,668	0,998	0,869	0,912
SE	0,053	0,118	0,288	0,030	0,285	0,214

Анализ табл. I показывает, что константы a_1 и a_2 статистически значимы на уровне t_{05} и выше для большинства фракций фитомассы березняков. Это означает, что при одних и тех же значениях массообразующих показателей древостоев значения переводных коэффициентов выделенных трех регионов различаются на статистически достоверном уровне. Различие переводных коэффициентов фракций фитомассы березняков юга Западно-Сибирской низменности и Тургайского прогиба оказалось статистически не значимым, на основании чего они были объединены в один регион (Северный Казахстан).

Для каждого из трех регионов имеются местные ТХР, и в основу каждой заложена местная бонитетная шкала, отличающаяся от бонитетной шкалы М.М. Орлова, по которой выполнена бонитировка всех наших пробных площадей. Для совмещения бонитетной шкалы М.М. Орлова с таковой, предложенной для Среднего Урала Л.А. Лысовым (Луганский, Лысов, 1991) шкала М.М. Орлова была нами представлена в аналитической форме как зависимость класса бонитета, выраженного средней высотой древостоя в базовом возрасте 50 лет, от возраста A (лет) и текущей средней высоты H (м):

$$\ln H_{50} = -0,8838 + 4,0578 \ln A - 1,4648 \ln^2 A + 0,1247 \ln^3 A - 0,2732 \ln H + 0,0582 \ln^2 H + 0,2796 \ln A \ln H - 3,5812 \cdot 10^{-6} \ln^2 A \ln H + 8,2309 \cdot 10^{-7} \ln A \ln^2 H; \quad (3)$$

$R^2=0,994$; стандартная ошибка $SE=0,041$.

Традиционная ТХР дает для каждого класса бонитета возрастную динамику запасов ствольной древесины M ($m^3/га$), которую можно выразить в общем виде как

$$M = f(A, H_{50}) \quad (4)$$

Кроме того, ТХР описывает возрастную динамику массообразующих показателей древостоя, из которых для нас представляют интерес средний диаметр D (см) и текущая густота N (тыс. экз./га):

$$D = f(A, H_{50}), \quad (5)$$

$$N = f(A, H_{50}). \quad (6)$$

Наш подход основан на предположении, что если древостой, по которым были составлены ТХР, и древостои, на которых получены экспериментальные значения переводных коэффициентов, имеют одинаковые возрасты, средние высоты, густоты и средние диаметры, то, скорее всего, они имеют одинаковые распределения числа стволов по диаметрам и фитомассе, а следовательно - одинаковые показатели фитомассы на 1 га и одинаковые переводные коэффициенты.

Процедура совмещения регрессионных моделей (2) (табл. I) с ТХР березняков Среднего Урала выполнена в следующей рекурсивной последовательности:

Таблица 2

Эскиз таблицы хода роста надземной фитомассы березняков Среднего Урала, совмещенной с ТХР Л.А. Дысова (Луганский, Дысов, 1991) по хозяйственным группам типов леса

А, лет	Н, м	D, см	N, тыс. экз./га	M, м ³ /га	H50, м	Надземная фитомасса в абсолютно сухом состоянии						Древесная зелень в свежем состоянии, т/га	
						стволы, т/га	скелет крон, т/га	листва, т/га	листья в кроне, %	кроны в надземной фитомассе, %	листва, т/га		
													кору
Липняковая группа													
20	12,3	9,0	3,12	134	26,1	66,7	13,1	8,0	3,9	2,00	20,0	13,0	9,9
40	19,6	16,0	1,28	245	24,1	124,8	20,6	12,3	4,8	2,10	14,6	10,3	10,4
60	23,4	20,6	1,87	320	21,4	156,2	23,3	15,5	5,4	2,19	12,4	10,2	10,6
80	25,8	24,7	0,65	370	19,6	170,6	23,8	18,0	5,8	2,23	1,0	10,6	10,5
100	27,2	28,1	0,52	402	18,2	173,8	23,2	19,7	6,0	2,25	10,2	11,2	10,3
120	28,0	31,0	0,44	420	17,3	170,2	22,1	20,7	6,0	2,22	9,7	11,9	9,9
Разнотравная и ягодниковая группа													
20	9,9	7,3	3,79	93	21,7	45,1	9,3	5,9	3,0	1,69	22,3	14,5	8,2
40	16,9	13,8	1,54	189	20,5	97,4	16,8	10,0	4,2	1,87	15,8	10,9	9,1
60	21,2	19,1	0,93	258	18,9	130,1	20,0	13,5	5,0	2,01	12,9	10,7	9,6
80	23,4	22,3	0,73	302	17,2	144,4	20,7	15,5	5,3	2,07	11,8	10,8	9,6
100	24,8	25,5	0,58	329	16,0	148,9	20,4	17,0	5,5	2,08	10,9	11,4	9,4
120	25,4	27,7	0,51	344	15,0	148,3	19,7	17,6	5,4	2,06	10,5	11,7	9,1
Травяно-зеленомошная группа													
20	7,9	6,0	4,61	62	18,1	30,0	6,5	4,3	2,3	1,35	24,1	15,7	6,4

А. лет	Н, м	D, см	N, тыс. экз./га	M, м ³ /га	H50, м	Надземная фитомасса в абсолютно сухом состоянии						Древесная зелень в свежем состоянии, т/га	
						стволы, т/га		скелет крон, т/га		листья, т/га	листья в кроне %		кроны в надземной фитомассе, %
						всего	коры	всего	коры				
										всего	коры		
40	14,2	11,5	1,89	142	17,0	73,1	13,2	8,0	3,5	1,67	17,3	11,6	8,0
60	18,3	16,3	1,14	204	15,8	104,2	16,8	11,3	4,4	1,84	14,0	11,2	8,7
80	20,6	19,7	0,85	244	14,5	119,8	17,8	13,4	4,9	1,93	12,6	11,4	8,9
100	22,3	22,4	0,69	267	13,9	125,5	17,7	14,2	4,9	1,90	11,8	11,4	8,6
120	23,0	24,0	0,62	279	13,0	127,2	17,3	14,3	4,7	1,85	11,5	11,3	8,2
Крупнотравно-приручевая группа													
20	6,8	5,1	5,19	45	16,0	21,9	4,9	3,2	1,7	1,12	26,2	16,4	5,2
40	12,5	10,3	2,13	116	14,9	59,5	11,2	6,9	3,2	1,54	18,1	12,5	7,3
60	16,5	14,9	1,24	167	14,0	85,0	14,2	10,0	4,0	1,71	14,7	12,0	8,0
80	18,8	18,1	0,92	201	12,9	98,9	15,3	11,8	4,4	1,79	13,2	12,1	8,1
100	20,3	20,5	0,76	222	12,2	105,7	15,4	12,6	4,5	1,78	12,4	12,0	7,9
120	21,1	22,0	0,67	232	11,5	108,3	15,1	12,6	4,3	1,72	12,1	11,7	7,6
Мшисто-хвощевая группа													
20	5,0	3,8	6,79	25	12,7	13,0	3,1	1,9	1,0	0,78	29,3	17,0	3,6
40	10,7	8,8	2,53	84	12,6	42,5	8,3	5,3	2,5	1,28	19,4	13,4	6,0
60	14,2	12,5	1,55	131	11,7	65,7	11,5	8,0	3,4	1,53	16,0	12,7	7,1
80	16,5	16,0	1,06	161	10,9	77,7	12,7	10,2	4,0	1,66	14,0	13,3	7,4
100	17,7	17,9	0,90	178	10,1	83,9	13,0	10,9	4,1	1,65	13,1	13,0	7,3
120	18,3	18,9	0,84	185	9,4	87,2	12,8	10,7	3,9	1,57	12,9	12,3	6,9
Сфагновая и травяно-болотная группы													
20	3,6	2,8	8,28	12	10,0	7,2	1,8	1,0	0,5	0,48	32,8	16,9	2,1

А, лет	Н, м	D, см	N, тыс. экз./га	M, м ³ /га	H50, м	Надземная фитомасса в абсолютно сухом состоянии						Древесная зелень в свежем состоя- нии, т/га	
						стволы, т/га		скелет крон, т/га		листья, т/га	листья в кроне %,		кроны в над- земной фи- томассе, %
						всего	коры	всего	коры				
40	7,8	6,3	3,65	44	9,2	21,9	4,7	3,0	1,5	0,86	22,3	15,0	4,0
60	11,6	10,3	1,92	89	9,2	42,3	8,0	6,0	2,7	1,26	17,3	14,7	5,7
80	13,8	13,3	1,29	114	8,7	52,2	9,3	7,9	3,3	1,42	15,3	15,1	6,3
100	14,8	10,1	1,06	127	8,0	56,2	9,6	8,8	3,5	1,46	14,3	15,4	6,3
120	15,3	16,3	0,93	142	7,3	61,8	10,2	9,6	3,8	1,55	13,9	15,3	6,6

$$\left. \begin{array}{l}
 \text{I} \quad H_{50} = f(A, H) \\
 \downarrow \\
 \text{II} \quad \left\{ \begin{array}{l} M = f(A, H_{50}) \\ N = f(A, H_{50}) \\ D = f(A, H_{50}) \end{array} \right. \\
 \downarrow \\
 \text{III} \quad P_i / M = f(A, H_{50}, N, D)
 \end{array} \right\} (7)$$

В итоге впервые для березняков Урала составлен эскиз таблицы хода роста надземной фитомассы, совмещенной с ТХР нормальных древо-древостоев Л.А.Лысова (табл.2).

Литература

Алексеев В.А., Бердси Р.А. Углерод в экосистемах лесов и болот России. Красноярск: Ин-т леса им. В.Н.Сукачева, 1994. 224 с.

Аткин А.С. Закономерности формирования органической массы в лесных сообществах / Автореф. дис... докт. с.-х. наук. - Екатеринбург: УГЛТА. 40 с.

Дрейпер Н. Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. М.: Статистика, 1973. 392 с.

Исаев А.С., Коровин Г.Н., Уткин А.И., Пряжников А.А., Замолотчиков Д.Г. Оценка запасов и годичного депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России // Лесоведение, 1993. № 5. С. 3-10.

Луганский Н.А., Лысов Л.А. Березняки Среднего Урала. Свердловск: Изд-во УрГУ, 1991. 100 с.

Сухих В.И. Комплексный ресурсный и экологический мониторинг лесов // Лесн. хоз-во, 1995. № 1. С. 5-7.

Усольцев В.А. Моделирование структуры и динамики фитомассы древостоев. Красноярск: Изд-во Красноярск. ун-та, 1985. 191с.

Усольцев В.А. Динамика биологической продуктивности сосняков Казахского мелкосопочника // Лесная таксация и лесоустройство / Межвуз. сб. научн. трудов. Красноярск: КПИ, 1987. С. 97-104.

Усольцев В.А. Рост и структура фитомассы древостоев. Новосибирск: Наука, 1988 а. 253 с.

Усольцев В.А. Принципы и методика составления таблиц биопроductивности древостоев // Лесоведение, 1988 б. № 2. С. 24-33.

Усольцев В.А. Биоэкологические аспекты таксации фитомассы деревьев. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1996. 250 с.

Усольцев В.А. Применение системы связанных регрессионных уравнений в лесоводственных исследованиях. Екатеринбург: УГЛТА, 1997. 108 с.

Усольцев В.А., Мельникова И.В., Тепикин С.В., Нагимов З.Я. Ход роста надземной фитомассы сосняков и ельников Среднего Урала. // Леса Урала и хоз-во в них. 1994. Вып. 17. С. 155-169.

Adams P.W. Estimating biomass in northern lower Michigan forest stands // *Forest Ecol Manage.*, 1982. Vol. 4. P. 275-286.

Armentano T.V., Ralston C.W. The role of temperate zone forests in the global carbon cycle // *Can. J. For. Res.*, 1990. Vol. 10. P. 53-60.

Birdsey R.A. Changes in forest carbon storage from increasing forest area and timber growth // Sampson R.N. and Hair D. (eds.). *Forests and global warming*. - Washington, DC: Amer. For. Assosiation, 1992. P. 151-162.

Brown S., Gilespeie A.J.R., Lugo A. Biomass estimation methods to tropical forests with applications to forest inventory data // *Forest Sci.*, 1989. Vol.35. P. 881-902.

Delcourt H.R., West D.C., Delcourt P.A. Forests of the south eastern United States: quantitative maps for aboveground woody biomass, carbon and dominance of major tree taxa. // *Ecology*, 1981. Vol. 62. P. 879-887.

Flury Ph. Untersuchungen ueber das Verhaeltniss der Reismasse zur Gerbholzmasse // *Mitt. Schweiz. Centralanstalt Forstl. Versuchswesen*, 1892. Bd. 2. S. 25-32.

Hitchcock H.C. III. Converting tradition CFI data into biomass values: a case study // Frayer W. (ed.). *Forest Resource Inventories*, Vol. II. - Colorado State Univ., Fort Collins, CO., 1979. P. 596-614.

Johnson W.O., Sharpe D.M. The ratio of total to mercantable forest biomass and its application to the global carbon budget // *Can. J. For. Res.*, 1983. Vol.13. P. 372-383.

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 a. Vol. 23. P.81-88.

Sampson R.N., Forestry opportunities in the United States to mitigate the effects of global warming // *Water, Air and Soil Pollution*, 1992. Vol. 64. P. 157-180.

Sharpe D.D., Lieth H., Whigham D. Assessment of regional productivity in North Carolina // Lieth H., Whittaker R.H. (eds). *Primary productivity of the biosphere*. New York, Springer. Ecological Studies, 1975. Vol. 14. P. 131-146.

Smith J.H.G. Methods for use of timber inventory data to estimate average and upper limits to growth and yield of biomass. // Working party on the Mensuration of the Forest Biomass. IUFRO S4.01. Mensuration, Growth and Yield, June 22, 1976. Oslo, Norway, Univer. Maine, Orono. P. 163-174.