

3. ЛЕСНАЯ ТАКСАЦИЯ

УДК 551.588.6:581.132 (470.22)

В. А. Усольцев, В.А. Сопига, С.В. Залесов, О.А. Богословская
(Уральский государственный лесотехнический университет)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И КАРТИРОВАНИЕ ГОДИЧНОГО ДЕПОНИРОВАНИЯ УГЛЕРОДА НА ЛЕСОПОКРЫТЫХ ПЛОЩАДЯХ УРАЛЬСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА

Для территории Уральского федерального округа сформирована база данных о фитомассе и первичной продукции 9 лесообразующих древесных пород в количестве соответственно 1130 и 141 определений. Рассчитаны уравнения зависимости фитомассы и первичной продукции от массообразующих показателей и путем стыковки их с данными ГУЛФ впервые получена информация о запасах и годовичном депонировании углерода на лесопокрытой и общей площадях каждого из 150 лесхозов на территории УрФО. Общие запасы органического углерода насаждений в УрФО составляют 2,309 млрд т, а годовичный сток атмосферного углерода в фитомассу насаждений - 164,8 млн т, или 7,1 % от наличного запаса углерода в фитомассе.

Протокол Киото (1997) обязывает научное сообщество разработать стратегию компенсации антропогенных выбросов CO₂ его биологической фиксацией с целью предотвратить глобальное потепление. При этом первостепенное значение имеют данные о первичной продукции лесов, определяющей приходную часть глобального углеродного цикла.

Сегодня глобальные оценки первичной продукции нельзя назвать воспроизводимыми из-за крайней трудоемкости получения и соответственно ограниченного объема фактических данных. Необходимы корректные алгоритмы оценки первичной продукции на региональном и глобальном уровнях. При этом обеспечить и показать воспроизводимость сильно варьирующих оценок можно лишь с привлечением математико-статистических методов.

Точность оценки запасов и годовичного депонирования углерода на лесопокрытых площадях определяется количеством их экспериментальных определений на ключевых участках (пробных площадях) и методом их экстраполяции на территорию региона. В известных мировых сводках о запасах и депонировании углерода по Уральскому региону никаких данных нет. В литературе отсутствуют также какие-либо сведения о запасах и депонировании углерода на покрытых лесом площадях Уральского региона в разрезе лесхозов. Поэтому первоочередную важность представляет формирование баз данных о запасах и депонировании углерода (фитомас-

сы) в Уральском регионе с привлечением всех имеющихся опубликованных данных.

Подобная работа была выполнена авторами и в результате сформирована база данных о запасах фитомассы в насаждениях основных лесообразующих древесных пород Урала и прилегающих к нему регионов, которая включает в себя 1130 определений, в том числе: сосна – 306, ель – 46, пихта – 80, лиственница – 166, кедр – 95, береза – 100, осина – 66, ольха серая – 34, ольха черная – 28, липа – 209 определений запасов углерода, т/га. Для каждой древесной породы рассчитаны регрессионные модели, описывающие зависимость фитомассы в абсолютно сухом состоянии (P_i , т/га) каждой фракции (стволы, ветви, хвоя, корни и нижние ярусы, куда включены подлесок, подрост и напочвенный покров – соответственно P_S , P_B , P_F , P_R , P_U , т/га) от возраста (A , лет) и запаса (M , m^3 /га) насаждения. Общий вид модели

$$\ln P_i \text{ или } \ln(P_i/M) = f [\ln A, (\ln A)^2, \ln M, \ln(P_B/M), \ln(P_F/M)]. \quad (1)$$

Ее характеристика по древесным породам приведена в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика уравнений (1) для лесообразующих древесных пород Урала

Зависимые переменные	Константы и независимые переменные					R^2	SE
	a_0	$a_1(\ln A)$	$a_2(\ln A)^2$	$a_3(\ln M)$	$a_4 \ln(P_B/M)$		
Лиственница							
$\ln P_S$, т/га	-0,8145	0,0396	-	0,9956	-	0,992	0,106
$\ln(P_B/M)$, т/м ³	1,4611	-1,7473	0,1777	-	-	0,288	0,236
$\ln(P_F/M)$, т/м ³	-0,9048	-0,3814	-	-	0,5662	0,519	0,367
$\ln P_R$, т/га	-1,2790	0,3425	-	0,5960	-	0,856	0,504
$\ln P_U$, т/га	1,7538	0,6194	-	-0,8091	-	0,501	0,762
Зависимые переменные	Константы и независимые переменные					R^2	SE
	a_0	$a_1(\ln A)$	$a_2(\ln A)^2$	$a_3(\ln M)$	$a_4 \ln(P_F/M)$		
Сосна							
$\ln P_S$, т/га	-1,2149	0,3145	-0,0349	0,9366	-	0,974	0,151
$\ln(P_B/M)$, т/м ³	-1,9419	0,2167	-	-	0,5508	0,559	0,300
$\ln(P_F/M)$, т/м ³	7,5882	-4,9154	0,5260	-	-	0,706	0,441
$\ln P_R$, т/га	-0,9580	-	-	0,7821	-	0,706	0,429
$\ln(P_U/M)$, т/м ³	-1,5852	1,0249	-	-1,4294	-	0,649	0,960
Ель							
$\ln P_S$, т/га	-0,6161	-	-	0,9605	-	0,982	0,134
$\ln(P_B/M)$, т/м ³	1,4929	-1,3734	0,1940	-	0,6856	0,800	0,213
$\ln(P_F/M)$, т/м ³	6,0568	-3,7282	0,3798	-	-	0,786	0,298
$\ln(P_R/M)$, т/м ³	2,7612	-	-	-0,8556	-	0,840	0,234
$\ln(P_U/M)$, т/м ³	4,3825	-	-	-1,5607	-	0,750	0,765

Продолжение табл. 1

Зависимые переменные	Константы и независимые переменные					R^2	SE
	a_0	$a_1(\ln A)$	$a_2(\ln A)^2$	$a_3(\ln M)$	$a_4 \ln(P_F/M)$		
Пихта							
$\ln P_S$, т/га	2,3780	-1,5254	0,1689	0,9886	-	0,955	0,129
$\ln(P_F/M)$, т/м ³	7,6323	-4,1512	0,4913	-	0,5753	0,872	0,181
$\ln(P_R/M)$, т/м ³	15,0651	-7,7931	0,8211	-	-	0,826	0,226
$\ln P_R$, т/га	-2,9922	-	-	1,0748	-	0,902	0,179
$\ln(P_U/M)$, т/м ³	-2,7293	0,6354	-	-0,8855	-	0,509	0,442
Кедр							
$\ln P_S$, т/га	-1,1105	-	-	1,0470	-	0,988	0,167
$\ln(P_F/M)$, т/м ³	-5,3615	2,4578	-0,2575	-	0,9188	0,899	0,307
$\ln(P_R/M)$, т/м ³	3,8772	-2,4564	0,1971	-	-	0,848	0,390
$\ln P_R$, т/га	-1,6951	-	-	0,9063	-	0,945	0,218
$\ln(P_U/M)$, т/м ³	1,0038	0,4517	-	-1,3257	-	0,790	0,552
Береза							
$\ln P_S$, т/га	-0,7536	-	-	1,0154	-	0,991	0,106
$\ln(P_F/M)$, т/м ³	-1,8086	0,1202	-	-	0,2838	0,456	0,163
$\ln(P_R/M)$, т/м ³	1,4164	-2,2059	0,2151	-	-	0,771	0,304
$\ln P_R$, т/га	-0,0821	-	-	0,6536	-	0,860	0,341
$\ln(P_U/M)$, т/м ³	1,2350	0,2981	-	-1,3447	-	0,731	0,105
Осина							
$\ln P_S$, т/га	-0,7897	0,1124	-	0,9261	-	0,984	0,161
$\ln(P_F/M)$, т/м ³	-1,0142	0,8695	-	-	1,0947	0,743	0,299
$\ln(P_R/M)$, т/м ³	1,7256	-2,5244	0,2374	-	-	0,731	0,389
$\ln P_R$, т/га	-1,2991	-	-	0,8939	-	0,852	0,356
$\ln(P_U/M)$, т/м ³	0,5967	-	-	-1,0621	-	0,763	0,615
Ольха серая							
$\ln P_S$, т/га	-0,6976	0,1218	-	0,8864	-	0,984	0,135
$\ln(P_F/M)$, т/м ³	-0,1682	-1,9427	0,3080	-	-	0,758	0,230
$\ln(P_R/M)$, т/м ³	2,1098	-3,9122	0,5991	-	-	0,847	0,390
$\ln(P_R/M)$, т/м ³	-2,6039	2,7978	-0,4861	-0,7834	-	0,896	0,283
$\ln(P_U/M)$, т/м ³	-2,7464	0,8987	-	-0,8226	-	0,450	0,719
Ольха черная							
$\ln P_S$, т/га	-0,3275	-0,2818	-	1,1265	-	0,894	0,156
$\ln(P_F/M)$, т/м ³	-2,4008	-	-	-	0,1476	0,306	0,152
$\ln(P_R/M)$, т/м ³	-0,3735	-	-	-0,7524	-	0,841	0,337
$\ln P_R$, т/га	-1,3891	0,3286	-	0,6470	-	0,903	0,128
$\ln(P_U/M)$, т/м ³	1,1616	-	-	-1,0462	-	0,623	0,415

Окончание табл. 1

Зависимые переменные	Константы и независимые переменные					R^2	SE
	a_0	$a_1(\ln A)$	$a_2(\ln A)^2$	$a_3(\ln M)$	$a_4 \ln(P_F)$		
Лица							
$\ln P_S$, т/га	-1,4452	0,2491	-0,0238	1,0030	-	0,999	0,028
$\ln(P_B/M)$, т/м ²	-3,2115	1,6353	-0,1508	-0,8069	0,6183	0,856	0,150
$\ln(P_F/M)$, т/м ²	-1,5583	0,9921	-0,1312	-0,9014	-	0,931	0,184
$\ln(P_R/M)$, т/м ³	2,5159	-	-	-0,7900	-	0,884	0,303
$\ln(P_U/M)$, т/м ³	10,242	-10,418	1,0860	1,6729	-	0,846	0,533

Несмотря на относительно низкие коэффициенты детерминации для некоторых фракций, все приведенные в табл. 1 константы статистически значимы на уровне t_{05} . Ранее (Усольцев, 1998, 2001) обосновывается и применяется структура моделей фитомассы с большим количеством масообразующих показателей в качестве независимых переменных, предназначенных для многовариантного применения, в частности для стыковки моделей с ТХР либо с повьдельными банками лесоустроительных данных. Поскольку последними располагает лишь половина лесхозов Свердловской области, упомянутая унифицированная структура модели в нашем случае не может быть применена.

По данным Государственного учета лесного фонда (ГУЛФ), определены по группам возраста занимаемые площади и запасы стволовой древесины каждой из названных пород в каждом лесхозе на территории Уральского федерального округа. С учетом возраста главной рубки, назначенного лесоустройством по каждой породе, группы возраста идентифицированы классами возраста. Итоговые результаты на примере Свердловской области показаны в табл. 2.

Таблица 2

Распределение лесопокрытых площадей, общих запасов и запасов на 1 га по лесхозам Свердловской области

№ по карте-схеме	Лесхоз	Покрытая лесом площадь, га	Запас, тыс. м ³	Запас, м ³ /га
1	Алапаевский	334450	45130	135
2	Аргинский	73041	14116	193
3	Асбестовский	52418	10826	207
4	Ачитский	65337	13096	200
5	Байкаловский	46883	4820	103
6	Березовский	67892	15174	224

Продолжение табл. 2

№ по карте-схеме	Название лесхоза	Покрытая лесом площадь, га	Запас, тыс. м ³	Запас, м ³ /га
8	Билимбаевский	106375	26205	246
7	Бисертский	144780	19661	136
9	Верх-Исетский	31119	9973	320
10	Верхотурский	194679	32734	168
11	Гаринский	944588	111307	118
12	Егоршинский	94192	15580	165
13	Ивдельский	810422	115471	142
14	Ирбитский	114376	14559	127
15	Исовский	126059	21410	170
16	Каменск-Уральский	32810	6581	201
17	Камышловский	31642	5677	179
18	Карпинский	568184	98192	173
21	Кировградский	61810	10441	169
19	Красноуральский	104182	15266	147
20	Красноуфимский	151987	28101	185
22	Купвинский	202043	24097	119
23	Невьянский	100839	16585	164
24	Нижне-Сергинский	170375	29357	172
25	Нижне-Тагильский	420312	69046	164
26	Ново-Лялинский	565257	99928	177
26а	Новоуральский	19944	3848	193
46	Оусский	718440	89769	125
27	Полевской	112277	23964	213
28	Пышминский	71216	10827	152
29	Ревдинский	74245	15872	214
30	Режевской	88325	17146	194
31	Салдинский	135579	19529	144
32	Свердловский	44871	12075	269
33	Североуральский	232155	29892	129
34	Серовский	335666	55523	165
34а	Синячихинский	413356	47582	115
35	Слободо-Туринский	43995	7054	160
36	Сотринский	592861	64267	108
37	Сухоложский	86791	19713	227
38	Сысертский	103245	31412	304
40	Таборинский	594945	78154	131
39	Тавдинский	319749	49832	156
41	Талицкий	126873	22277	176

Окончание табл. 2

№ по карте-схеме	Название лесхоза	Покрытая лесом площадь, га	Запас, тыс. м ³	Запас, м ³ /га
42	Тугулымский	139466	24160	173
43	Туринский	270802	32810	121
44	Уралмашевский	57435	14038	244
47	Шалинский	174714	25180	144
45	Шамарский	180372	18769	104
	Итого по области	10553374	1587025	150

Путем подстановки значений запасов на 1 га и возраста, полученных для каждой породы, в модели (1) выполнены расчеты запасов фитомассы для каждого лесхоза по совокупности произрастающих в них древесных пород. Пример расчета для Алапаевского лесхоза дан в табл. 3.

Таким образом, путем табулирования моделей (1) в каждой ячейке табл. 3 вначале получены запасы фитомассы на 1 га, затем умножением их на лесопокрытую площадь, соответствующую каждой ячейке, получены запасы фитомассы на всей площади. После сложения результатов по классам возраста получены итоговые запасы фитомассы по каждой фракции отдельно для каждой породы, и путем сложения последних по фракциям и породам получены итоговые запасы фитомассы на всей покрытой лесом площади лесхоза. Для Алапаевского лесхоза - это 36,3 млн т общей (надземной и подземной) фитомассы (см. табл. 3). Мы получили показатель фитомассы, взвешенный по классам возраста, запасам стволовой древесины и долевого участию каждой породы.

Путем деления полученных запасов фитомассы на лесопокрытую и общую (в границах лесхозов) площади получены распределения по лесхозам запасов фитомассы в тоннах на 1 га соответственно лесопокрытой и общей площадей. Пример для Свердловской области приведен в табл. 4.

Итоговые данные полученных таблиц пересчитаны на органический углерод по коэффициенту 0,5 (Кобак, 1988) и нанесены на карту-схему (рис. 1), дающую общее наглядное представление о распределении запасов органического углерода в насаждениях на территории административных образований УрФО в границах каждого лесхоза, а не только на покрытой лесом площади.

Различная степень концентрации углерода на единице общей площади разных лесхозов в пределах одного административного образования обусловливается, во-первых, различной степенью концентрации запасов стволовой древесины на 1 га, доля которой в запасах углерода в насаждении составляет 70-80 %, и, во-вторых, разными долями лесной и лесопокрытой площадей в общей площади: чем меньше доля лесопокрытой и лесной площадей в общей площади, тем при прочих равных условиях

Таблица 3

Расчет запасов фитомассы лесобразующих пород на покрытой лесом площади

Алапаевского лесхоза по известным запасам стволовой древесины и возрастным группам, тыс. т

Порода*	Фитомасса в абсолютном сухом состоянии										Всего:	Ветви					Всего:
	Стволы					Хвои						1	2	3	4	5	
	1**	2	3	4	5	Всего:	1	2	3	4							
С	120,4	1009,8	4539,5	2831,9	11608	92,27	83,10	209,90	106,28	102,14	593,69	33,27	97,87	352,93	231,10	243,26	958,44
Е	33,12	155,9	563,4	513,4	1008,5	227,4	36,68	84,62	57,15	105,08	323,72	24,87	29,02	79,80	69,20	164,86	367,76
П	2,68	16,82	39,07	25,30	20,92	104,80	15,29	5,97	6,50	2,68	2,14	32,57	16,11	6,09	7,36	3,74	3,89
Лц	-	-	0,35	0,41	4,11	4,88	-	-	0,01	0,01	0,09	0,12	-	-	0,05	0,05	0,46
К	1,36	10,17	364,92	189,97	94,94	661,36	1,68	2,71	48,58	17,36	6,74	77,07	0,61	3,30	90,17	37,13	14,47
Б	113,27	373,59	4566,6	735,12	1363,5	7152,1	47,80	38,13	246,92	28,60	46,87	408,33	29,40	73,12	801,26	124,39	229,68
Ос	69,35	159,87	1051,49	431,13	397,66	2109,5	27,57	11,92	36,45	9,68	7,57	93,19	34,42	33,11	172,34	68,71	66,50
Оп	0,53	0,98	6,22	1,00	4,60	13,33	0,09	0,04	0,18	0,04	0,21	0,55	0,10	0,09	0,52	0,09	0,51
Лп	-	0,04	0,38	-	-	0,42	-	0,01	0,02	-	-	0,02	-	0,01	0,06	-	0,07
Итого	340,7	1727,2	11131,9	5002,8	57261,1	23929	224,9	178,6	633,2	221,8	270,9	1529,3	138,8	242,6	1504,5	534,4	723,6

Порода*	Фитомасса в абсолютном сухом состоянии										Всего:	Наклевые друсы					Всего:	$P_{\text{обо}}$		$P_{\text{от}}$		$P_{\text{обо}}$ т/га	$P_{\text{от}}$ т/га
	Корни					Хвои						1	2	3	4	5		1	2				
	1	2	3	4	5	Всего:	1	2	3	4										5	Всего:		
С	46,49	236,66	881,45	573,17	585,29	2323,05	6,366	12,589	32,906	31,508	97,144	180,512	13340,69	15663,74	133,13	156,31							
Е	146,55	146,01	245,36	167,47	379,11	1084,50	144,853	37,719	32,718	17,397	44,519	277,206	3242,96	4327,46	92,97	124,06							
П	0,21	2,88	8,26	5,97	4,72	22,03	0,126	0,523	1,036	0,635	0,725	3,044	177,60	199,63	81,17	91,24							
Лц	-	-	0,08	0,11	1,22	1,41	-	-	0,02	0,003	0,035	0,041	5,59	7,01	169,48	212,35							
К	0,46	2,80	95,96	50,34	25,51	175,08	0,255	0,401	12,618	8,923	6,319	28,517	912,63	1087,71	114,72	136,73							
Б	87,30	196,68	1606,90	224,76	404,43	2520,06	40,227	43,933	145,211	16,050	28,719	274,139	9092,39	11612,45	65,34	83,45							
Ос	32,00	62,48	370,96	142,00	125,89	733,32	18,018	9,963	28,594	7,819	5,133	69,528	2647,30	3380,62	53,49	68,31							
Оп	0,26	0,56	2,15	0,19	0,49	3,65	0,034	0,087	0,693	0,144	0,611	1,569	16,75	20,41	31,85	38,80							
Лп	-	0,08	0,27	-	-	0,34	-	0,002	0,008	-	-	0,010	0,52	0,86	47,25	78,57							
Итого	313,27	648,14	3211,38	1164,01	1526,66	6863,5	209,88	105,22	253,79	82,48	183,21	834,57	29436,44	36299,89	86,01	108,54							

* С – сосна, Е – ель, П – пихта, Лц – лиственница, К – кедр, Б – береза, Ос – осина, Оп – ольха серая, Лп – липа.

** 1 – молодняк I класса возраста, 2 – то же, II класса возраста, 3 – средневозрастные, 4 – припевающие, 5 – спелые и перестойные насаждения.

*** $P_{\text{обо}}$ – надземная и $P_{\text{от}}$ – общая (надземная и подземная) фитомасса, тыс. т.

Таблица 4

Распределение общих и в расчете на 1 га запасов фитомассы по лесхозам Свердловской области

№ лесхоза по табл. 2	Общие запасы фитомассы по лесхозам области, тыс. т						В расчете			
							на лесоокрытую пло- щадь, т/га		на общую площадь, т/га	
	P_S	P_F	P_B	P_U	P_R	Итого	P_{abo}	P_{tot}	P_{abo}	P_{tot}
1	23929	1529	3144	835	6863	36300	88	109	80	99
2	6880	586	1030	448	2102	11046	122	151	112	139
3	6227	326	603	79	1336	8571	138	164	118	140
4	6295	596	960	455	1947	10253	127	157	119	147
5	2567	165	355	105	742	3934	68	84	62	77
6	8650	441	895	127	1915	12028	149	177	129	154
7	13506	945	1857	238	3387	19934	156	187	140	169
8	9358	1053	1651	525	3616	16203	87	112	80	103
9	5752	250	557	45	1132	7735	212	249	186	218
10	16741	1117	2486	431	4671	25447	107	131	100	123
11	57056	4247	8405	2735	17156	89600	77	95	49	61
12	8856	476	924	159	2061	12476	111	132	100	119
13	51912	4563	9195	3007	18722	87399	85	108	43	55
14	7704	498	1040	268	2214	11724	83	103	77	94
15	11039	788	1580	416	3257	17082	110	136	102	126
16	3655	189	433	46	878	5201	132	159	114	137
17	3655	189	433	46	878	5201	115	141	85	104
18	48249	4141	6989	2125	15118	76620	108	135	99	123
19	7752	528	1146	375	2403	12204	94	117	83	103
20	13498	1300	2214	489	4281	21781	115	143	106	132
21	5484	405	767	175	1626	8457	111	137	98	121
22	11844	1282	1958	926	4554	20563	79	102	73	94
23	9366	570	988	235	2273	13432	111	133	94	113
24	14149	1586	2422	528	4494	23179	110	136	96	119
25	35282	2921	5096	1500	11209	56007	107	133	96	120
26	51953	3676	7074	1502	14449	78654	114	139	105	129
26а	2155	160	261	53	541	3169	132	159	117	141
27	13159	827	1561	249	3149	18945	141	169	126	151
28	5845	301	785	125	1579	8636	99	121	83	101
29	8397	603	1113	170	2118	12401	139	167	120	145
30	9925	546	946	157	2137	13711	131	155	114	135
31	10093	686	1414	406	3152	15751	93	116	76	95

Окончание табл. 4

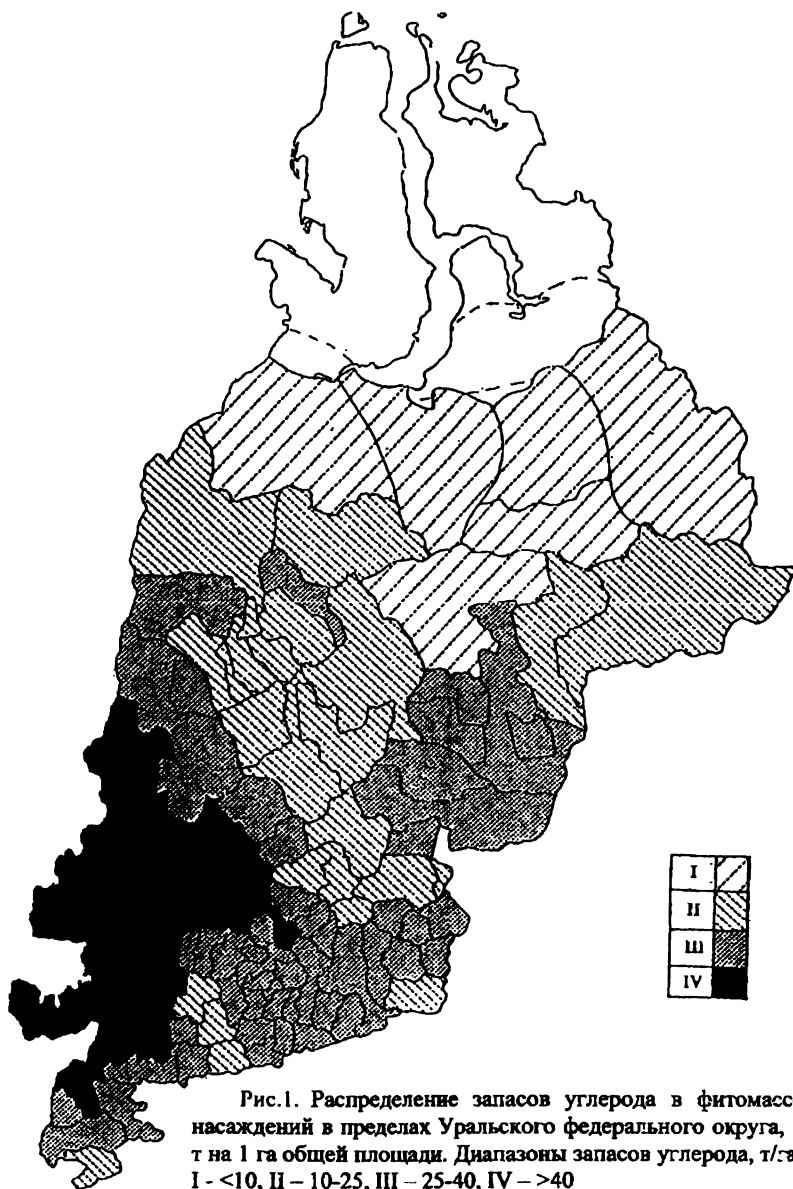
№ лесхоза по табл. 2	Общие запасы фитомассы по лесхозам области, тыс. т						В расчете			
	P_S	P_F	P_B	P_U	P_R	Итого	на лесопокрытую площадь, т/га		на общую площадь, т/га	
							P_{abo}	P_{tot}	P_{abo}	P_{tot}
32	7005	333	664	74	1414	9489	180	211	155	182
33	15807	1329	2043	651	4563	24393	85	105	74	91
34	29443	1922	3837	799	7754	43756	107	130	87	105
34а	24863	1734	3443	1128	7535	38702	75	94	65	80
35	3778	215	493	83	976	5544	104	126	91	111
36	34286	2490	4479	1349	9929	52532	72	89	58	71
37	11027	529	1260	132	2508	15456	149	178	132	157
38	18202	807	1759	165	3577	24509	203	237	177	207
39	26118	1398	3681	673	7375	39245	100	123	62	76
40	39561	2791	5891	1802	12104	62149	84	104	51	63
41	11991	609	1617	231	3126	17573	114	139	97	118
42	13469	777	1517	221	3229	19213	115	138	100	120
43	17026	1005	2470	752	5204	26457	78	98	68	85
44	8035	384	811	102	1685	11017	162	192	133	157
45	8748	1269	1578	1160	4348	17103	71	95	66	88
46	45473	3729	6227	2288	13198	70915	80	99	64	79
47	12284	1238	2009	729	4379	20638	104	132	86	109
Итого по области										
	817420	59997	114050	31326	238793	1261586	97	120	75	93

меньше запасы органического углерода, поскольку углерододепонирующая способность нелесных и нелесопокрытых площадей составляет лишь около 10 % к лесопокрытой площади (Исаев и др., 1993).

Таким образом, наши результаты включают только лесные насаждения, распределенные на покрытой лесом площади, и, следовательно, занижены примерно на 10 % - величину углерододепонирующей емкости нелесных и не покрытых лесом площадей. Не учтены в нашей работе и запасы углерода в почвах, а также огромные запасы его в торфе болот, но эти категории не входят в объем понятия фитомассы: это - детриты, входящие в расходную часть углеродного баланса.

Средние запасы углерода в фитомассе насаждений на 1 га общей (в границах лесхоза) площади составляют:

- в Ямало-Ненецком автономном округе 8,0 т/га с колебаниями от 6,0 (Надымский лесхоз) до 10,0 т/га (Красноселькупский лесхоз);



- в Ханты-Мансийском автономном округе 6,7 т/га с колебаниями от 4,8 (Сургутский лесхоз) до 35,0 т/га (Октябрьский лесхоз);
- в Тюменской области 30,5 т/га с колебаниями от 13,1 (Вагайский лесхоз) до 57,6 т/га (Исетский лесхоз);
- в Свердловской области 46,5 т/га с колебаниями от 27,5 (Ивдельский лесхоз) до 109 т/га (Верх-Исетский лесхоз);
- в Курганской области 30,1 т/га с колебаниями от 8,0 (Щучанский лесхоз) до 41,4 т/га (Далматовский лесхоз);
- в Челябинской области 42,0 т/га с колебаниями от 20,3 (Брединский лесхоз) до 51,7 (Верхне-Уральский лесхоз).

Наши расчеты запасов углерода насаждений, отнесенных на 1 га лесопокрытой площади в пределах административных областей УрФО (табл. 5), показали, что они довольно близки аналогичным показателям, полученным В. А. Алексеевым и Р. А. Бердси (1994). Однако наши результаты дают более детальную информацию, поскольку получены на уровне лесхозов, а не областей.

Таблица 5

Соотношение средних оценок запаса углерода (т/га) на покрытой лесом площади административных областей УрФО, по нашим данным и по литературным источникам

Административная область	Запас углерода в насаждениях, т/га		
	Наши данные	Алексеев, Бердси, 1994	Исаев, Корвин, 1997
Тюменская с округами	38,0	32,8	48,6*
Свердловская	46,5	43,1	
Курганская	42,0	40,4	
Челябинская	50,5	47,5	

* Средний показатель для Европейско-Уральской части РФ.

Полученные для УрФО показатели запасов углерода в фитомассе насаждений на 1 га общей площади в несколько раз выше аналогичных показателей европейских стран, что подтверждают, в частности, данные по Англии (Cannell, Milne, 1995). Даже районы Англии с наибольшей плотностью органического углерода на 1 га находятся примерно на уровне Ямало-Ненецкого и Ханты-Мансийского автономных округов. Средняя же плотность органического углерода на территории Англии почти в 10 раз ниже средней плотности на территории Свердловской и Челябинской областей.

На рис. 1 отчетливо прослеживается общая закономерность “профиля продуктивности”, по Е.М. Лавренко с соавторами (1955): повышение запаса углерода на 1 га в направлении от лесотундр (6,7 т/га в Тарко-Салинском лесхозе Ямало-Ненецкого автономного округа) к уральским горным лесам (109 т/га в Верх-Исетском лесхозе Свердловской области) с последующим снижением по мере продвижения на юг, в подзону лесостепи (20,3 т/га в Брединском лесхозе Челябинской области).

Таким образом, нашими расчетами, выполненными на площадях лесного фонда Уральского федерального округа (127 млн га), куда вошла вся территория УрФО за исключением площадей Госземзапаса в северной части Ямало-Ненецкого автономного округа и земель сельскохозяйственного пользования, установлено, что общие запасы органического углерода насаждений составляют 2,309 млрд т и распределены по административным образованиям следующим образом, млн т: Ямало-Ненецкий округ - 445; Ханты-Мансийский округ - 821; собственно Тюменская область - 255; Свердловская область - 631; Курганская область - 45 и Челябинская область - 112.

Наряду с общими запасами углерода на территории УрФО необходима информация о его годичном депонировании (годичной продукции), т.е. о приходной части углеродного цикла насаждений. Методы экстраполяции фактических данных депонирования углерода с пробных площадей на покрытую лесом площадь применяются самые разнообразные.

Нами предпринято сравнительное исследование двух методов эмпирического моделирования первичной продукции на примере северотажных ельников европейской России и Урала с использованием опубликованных эмпирических данных 24 пробных площадей, сведенных в соответствующую базу данных (Усольцев и др., 2002).

В лесной таксации общеизвестна обратно пропорциональная зависимость процента текущего прироста стволов (т.е. частного от деления текущего прироста древостоя по запасу на его запас, выраженного в процентах) от возраста, выражаемая обычно гиперболической либо иной близкой по биологическому смыслу функцией. Эту зависимость распространяют на определение показателя, представляющего собой частное от деления годичного прироста (первичной продукции) той или иной фракции фитомассы Z_i (т/га) на запас стволовой древесины (M , м³/га) в зависимости от возраста древостоя (A , лет) (Замолодчиков, Уткин, 2000; Уткин и др., 2003).

С другой стороны, с XIX века (Hartig, 1896) известна взаимосвязь величины депонируемого в фитомассе прироста с массой ассимиляционного аппарата, которую можно выразить зависимостью (Усольцев, 1997; Усольцев и др., 2001; Usoltsev et al., 2002)

$$\ln Z_i = f(\ln P_F), \quad (2)$$

где Z_i – годичный прирост массы i -й фракции (Z_F , Z_B , Z_S , Z_R и Z_U – соответственно хвои, ветвей, стволов, корней и нижних ярусов) в абсолютно сухом состоянии, т/га; P_F – наличная масса хвои, т/га.

Зависимость (2) составляет основу нашей концепции; она корректируется возрастом насаждения и некоторыми показателями фракционной структуры фитомассы и рассчитывается в виде системы связанных (рекурсивных) уравнений (Усольцев, 1998).

В соответствии с двумя подходами по совокупности 24 определений первичной продукции ельников рассчитаны системы уравнений (3) и (4):

$$\begin{aligned} Z_F/M &= 0,000339 + 1,1633/A; & Z_S/M &= -0,00279 + 0,9737/A; \\ Z_B/M &= 0,00650 - 0,4146/A; & Z_R/M &= 0,000766 + 0,3336/A; \\ Z_U/M &= 0,0335 - 2,2525/A; \end{aligned} \quad (3)$$

соответственно по фракциям $R^2 = 0,22; 0,38; 0,11; 0,05; 0,01$.

$$\begin{aligned} \ln Z_F &= -0,3513 + 0,4153 \ln P_F - 0,7908 \ln A + 0,7587 \ln M \rightarrow \ln Z_S = 2,7452 + \\ &+ 0,8185 \ln Z_F - 0,7160 \ln A \rightarrow \ln Z_B = -5,9137 + 0,8673 \ln P_F + 0,7390 \ln A \rightarrow (4) \\ &\rightarrow \ln Z_R = 0,7664 + 0,9089 \ln Z_S - 0,5397 \ln P_F \rightarrow \ln Z_U = -0,3775 + 0,3867 \ln P_U; \\ &\text{соответственно по фракциям } R^2 = 0,65; 0,76; 0,66; 0,77; 0,20, \\ &\text{где } P_U \text{ – масса нижних ярусов, т/га.} \end{aligned}$$

Судя по коэффициентам R^2 , зависимости (3) менее (на 50-95%, в среднем на 77%) детерминированы по сравнению с (4) и к тому же оказались достоверными лишь для хвои и стволов. Этот вывод подтверждается и визуально при сравнении полей распределения экспериментальных данных по зависимостям (3) и (4) для первичной продукции хвои (рис. 2).

При сопоставлении вариантов коэффициент детерминации является критерием необходимым, но недостаточным для окончательного суждения. Поэтому по каждому варианту рассчитаны ошибки регрессионного определения первичной продукции фракционного состава фитомассы по отношению к фактическим значениям (табл. 6).

Сопоставление полученных результатов показывает, что при определении продукции хвои, корней, нижних ярусов, а также надземной и общей древостоя и общей насаждения, преимущество по точности имеет второй вариант, в котором продукция фитомассы ставится в зависимость от массы ассимиляционного аппарата.

По этим же двум вариантам далее рассчитаны регрессионные модели первичной продукции для насаждений лесообразующих пород УрФО (табл. 7 и 8). Для этого предварительно сформирована база данных о первичной продукции фитомассы, которая включает в себя 141 определение, в том числе: сосна (кедр) – 20, ель (пихта) – 43, лиственница – 10, береза – 31, осина – 14, ольха – 3, липа – 20 определений годичной продукции,

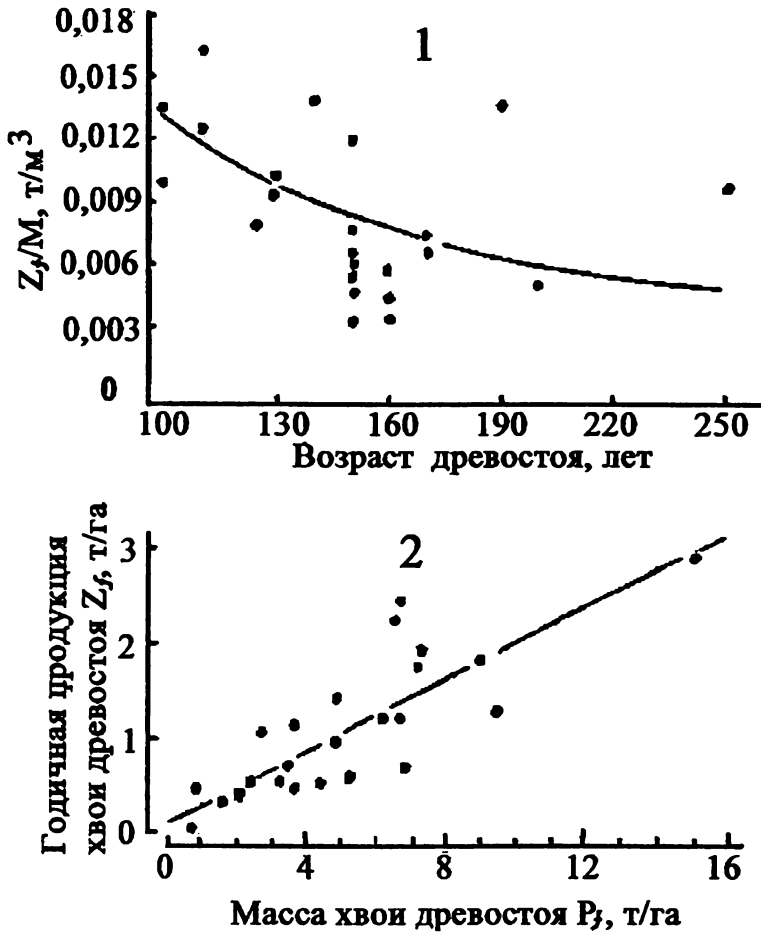


Рис. 2. Линии регрессии для первичной продукции хвои и их соотношение с фактическими данными по вариантам (1) и (2)

совмещенных с данными о фитомассе на тех же пробных площадях, т/га.

При расчете по 2-му варианту (методу) в модели введены в качестве независимых переменных некоторые показатели фитомассы (см. табл. 8).

Таблица 6

Ошибка (\pm) определения первичной продукции по двум вариантам расчета (3) и (4), % к фактическому значению

Фракция фитомассы	1-й метод Модели вида (3)		2-й метод Модели вида (4)	
	Для одного определения	Для всех случаев	Для одного определения	Для всех случаев
Хвоя	51,1	10,4	46,2	9,4
Ветви	51,5	10,7	35,7	7,4
Ствол	88,4	18,0	47,9	9,7
Корни	90,4	22,6	87,4	21,2
Нижние ярусы	295,5	69,7	157,3	37,1
Надземная древостоя	41,6	8,5	25,9	5,9
Общая древостоя*	40,6	8,3	22,0	4,5
Общая насаждения*	104,9	21,4	36,4	7,4

* Общая фитомасса древостоя равна сумме масс надземной и подземной; общая фитомасса насаждения равна сумме масс древостоя и нижних ярусов.

Таблица 7

Характеристика уравнений вида (3) для лесообразующих древесных пород Урала (1-й метод)

Зависимые переменные	Константы и независимые переменные		R^2	SE
	a_0	$a_1(1/A)$		
Лиственница				
$Z_S/M, \text{ т/м}^3$	0,0011	0,8127	0,786	0,008
$Z_B/M, \text{ т/м}^3$	-0,0017	0,3655	0,718	0,004
$Z_F/M, \text{ т/м}^3$	0,0109	0,0992	0,035	0,009
$Z_R/M, \text{ т/м}^3$	0,0130	-0,3995	0,162	0,009
$Z_U/M, \text{ т/м}^3$	0,0177	0,0642	0,0003	0,038
Сосна				
$Z_S/M, \text{ т/м}^3$	-0,00002	0,6499	0,320	0,022
$Z_B/M, \text{ т/м}^3$	-0,0045	0,3619	0,622	0,006
$Z_F/M, \text{ т/м}^3$	-0,0037	0,5412	0,604	0,010
$Z_R/M, \text{ т/м}^3$	-0,0449	5,4785	0,629	0,095
$Z_U/M, \text{ т/м}^3$	-0,0424	6,1645	0,303	0,131

Окончание табл. 7

Зависимые переменные	Константы и независимые переменные		R^2	SE
	a_0	$a_1(1/A)$		
Ель				
$Z_S/M, \text{ т/м}^3$	-0,0059	1,3787	0,879	0,011
$Z_B/M, \text{ т/м}^3$	-0,0013	0,6886	0,718	0,009
$Z_F/M, \text{ т/м}^3$	-0,0091	2,3735	0,776	0,028
$Z_R/M, \text{ т/м}^3$	-0,002	0,884	0,721	0,012
$Z_U/M, \text{ т/м}^3$	0,0364	-2,7132	0,019	0,028
Береза				
$Z_S/M, \text{ т/м}^3$	0,008	0,6558	0,861	0,011
$Z_B/M, \text{ т/м}^3$	0,0035	0,2889	0,44	0,011
$Z_F/M, \text{ т/м}^3$	0,0172	0,8188	0,602	0,027
$Z_R/M, \text{ т/м}^3$	0,1239	-1,4813	0,015	0,221
$Z_U/M, \text{ т/м}^3$	0,0566	-0,8762	0,16	0,035
Осина				
$Z_S/M, \text{ т/м}^3$	0,0003	0,6355	0,81	0,007
$Z_B/M, \text{ т/м}^3$	0,0044	0,1109	0,244	0,004
$Z_F/M, \text{ т/м}^3$	0,0065	0,2904	0,687	0,004
$Z_R/M, \text{ т/м}^3$	0,0036	-0,0363	0,221	0,001
$Z_U/M, \text{ т/м}^3$	0,0007	0,1788	0,287	0,006
Ольха				
$Z_S/M, \text{ т/м}^3$	0,0107	0,4582	0,845	0,002
$Z_B/M, \text{ т/м}^3$	-0,0532	2,496	0,902	0,007
$Z_F/M, \text{ т/м}^3$	-0,1206	5,5784	0,939	0,012
$Z_R/M, \text{ т/м}^3$	-0,0231	1,1987	0,844	0,004
$Z_U/M, \text{ т/м}^3$	-0,1184	5,2774	0,9	0,014
Липа				
$Z_S/M, \text{ т/м}^3$	0,0107	0,275	0,337	0,008
$Z_B/M, \text{ т/м}^3$	-0,0027	0,4501	0,68	0,006
$Z_F/M, \text{ т/м}^3$	0,0074	0,3173	0,161	0,014
$Z_R/M, \text{ т/м}^3$	-0,0231	1,1987	0,844	0,004
$Z_U/M, \text{ т/м}^3$	0,002	0,2133	0,079	0,015

Алгоритмы совмещения моделей, приведенных в табл. 7 и 8, с матрицами лесоустроительных данных по запасам и лесопокрытым площадям аналогичны алгоритму совмещения моделей (1), описанному выше, с той лишь разницей, что при табулировании моделей по второму методу (см. табл. 8) подставляются данные не только запасов стволовой древесины, но и массы хвои, корней и нижних ярусов из таблиц, в которых выполнены расчеты фитомассы (см. табл. 3). Примеры расчета годичной продукции

Окончание табл. 8

Зависимые переменные	Константы и независимые переменные						R^2	SE
	a_0	$a_1(\ln A)$	$a_2(\ln M)$	$a_3(\ln P_F)$	$a_4(\ln P_R)$	$a_5(\ln P_U)$		
$\ln(Z_U), \tau/\text{м}^3$	1,2652	-0,46	-	-	-	-	0,630	0,382
Осина								
$\ln(Z_S), \tau/\text{м}^3$	0,3858	-1,3983	1,0479	0,5213	-	-	0,779	0,299
$\ln(Z_B), \tau/\text{м}^3$	-3,9275	-2,0074	2,0914	0,527	-	-	0,856	0,393
$\ln(Z_F), \tau/\text{м}^3$	-1,6959	-0,1799	0,6461	-	-	-	0,759	0,194
$\ln(Z_R), \tau/\text{м}^3$	-6,1004	-	-	-	1,853	-	0,186	0,415
$\ln(Z_U), \tau/\text{м}^3$	1,4016	1,8999	-1,7136	-	-	0,4294	0,907	0,308
Ольха								
$\ln(Z_S), \tau/\text{м}^3$	-1,1480	-	-	1,9345	-	-	0,684	0,995
$\ln(Z_B), \tau/\text{м}^3$	-0,8091	-	0,2209	-	-	-	0,672	0,299
$\ln(Z_F), \tau/\text{м}^3$	0,0454	-	0,1949	-	-	-	0,999	0,009
$\ln(Z_R), \tau/\text{м}^3$	-2,7974	-	-	-	0,9250	-	0,985	0,111
$\ln(Z_U), \tau/\text{м}^3$	-0,5127	-	-	-	-	0,5308	0,372	0,691
Липа								
$\ln(Z_S), \tau/\text{м}^3$	-1,6226	-0,5418	0,8865	0,1865	-	-	0,804	0,289
$\ln(Z_B), \tau/\text{м}^3$	1,7170	-0,8566	0,2942	0,3127	-	-	0,61	0,312
$\ln(Z_F), \tau/\text{м}^3$	-0,8529	0,1047	0,2624	-	-	-	0,387	0,339
$\ln(Z_R), \tau/\text{м}^3$	-2,7974	-	-	-	0,9250	-	0,985	0,111
$\ln(Z_U), \tau/\text{м}^3$	-0,0338	0,4685	-0,4589	-	-	0,2594	0,463	0,373

Окончание табл. 8

Зависимые переменные	Константы и независимые переменные						R^2	SE
	a_0	$a_1(\ln A)$	$a_2(\ln M)$	$a_3(\ln P_f)$	$a_4(\ln P_d)$	$a_5(\ln P_U)$		
$\ln(Z_U), \tau/M^3$	1,2652	-0,46	-	-	-	0,4269	0,630	0,382
Осenna								
$\ln(Z_S), \tau/M^3$	0,3858	-1,3983	1,0479	0,5213	-	-	0,779	0,299
$\ln(Z_B), \tau/M^3$	-3,9275	-2,0074	2,0914	0,527	-	-	0,856	0,293
$\ln(Z_F), \tau/M^3$	-1,6959	-0,1799	0,6461	-	-	-	0,759	0,194
$\ln(Z_R), \tau/M^3$	-6,1004	-	-	-	1,853	-	0,186	0,415
$\ln(Z_U), \tau/M^3$	1,4016	1,8999	-1,7136	-	-	0,4294	0,907	0,308
Ольха								
$\ln(Z_S), \tau/M^3$	-1,1480	-	-	1,9345	-	-	0,684	0,995
$\ln(Z_B), \tau/M^3$	-0,8091	-	0,2209	-	-	-	0,672	0,299
$\ln(Z_F), \tau/M^3$	0,0454	-	0,1949	-	-	-	0,999	0,009
$\ln(Z_R), \tau/M^3$	-2,7974	-	-	-	0,9250	-	0,985	0,111
$\ln(Z_U), \tau/M^3$	-0,5127	-	-	-	-	0,5308	0,372	0,691
Липа								
$\ln(Z_S), \tau/M^3$	-1,6226	-0,5418	0,8865	0,1865	-	-	0,804	0,289
$\ln(Z_B), \tau/M^3$	1,7170	-0,8566	0,2942	0,3127	-	-	0,61	0,312
$\ln(Z_F), \tau/M^3$	-0,8529	0,1047	0,2624	-	-	-	0,387	0,339
$\ln(Z_R), \tau/M^3$	-2,7974	-	-	-	0,9250	-	0,985	0,111
$\ln(Z_U), \tau/M^3$	-0,0338	0,4685	-0,4589	-	-	0,2594	0,463	0,373

Таблица 10

Расчет годичных приростов фитомассы (в тыс. т) лесобразующих пород на покрытой лесом площади Алапаевского лесхоза по известным запасам ствольной древесины и возрастным группам (2-й метод)

По- ро- да*	Приrost фитомассы в абсолютно сухом состоянии															Z _{до} т/га	Z _{до} т/га			
	Стволы					Хвоя					Ветви									
	1**	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5					
	Всего	Всего	Всего	Всего	Всего	Всего	Всего	Всего	Всего	Всего	Всего	Всего	Всего	Всего	Всего					
10,17	31,11	90,53	40,4	27,19	199,40	23,59	21,92	49,50	21,02	16,72	132,74	11,97	10,97	25,32	9,34	5,58	63,18			
Е	10,21	8,84	16,18	7,19	8,04	50,46	13,89	11,77	24,73	13,93	20,62	84,94	3,52	3,16	6,99	4,71	8,84	27,23		
П	1,04	1,19	1,37	0,42	0,20	4,21	3,59	1,82	1,94	0,70	4,45	8,50	1,12	0,50	0,55	0,23	0,18	2,57		
Лц	-	-	0,01	0,01	0,06	0,08	-	-	0,01	0,01	0,04	0,05	-	-	-	-	-	0,01		
К	0,09	0,27	6,46	2,69	1,15	10,65	0,29	0,40	6,95	2,43	0,93	11,00	0,14	0,20	3,03	0,91	0,30	4,58		
Б	42,70	41,43	221,86	20,46	28,90	355,35	33,10	44,84	271,38	29,82	47,15	426,29	18,42	12,62	64,32	6,63	10,39	112,37		
Ос	42,40	18,40	46,99	9,05	6,33	123,17	8,49	9,81	42,59	13,63	10,66	85,19	3,17	2,79	10,33	2,10	1,74	20,14		
Ол	0,03	0,01	0,04	0,02	0,13	0,23	0,14	0,13	0,57	0,07	0,25	1,17	0,06	0,06	0,27	0,04	0,12	0,55		
Лп	-	-	0,01	-	-	0,02	-	-	0,02	-	-	0,02	-	-	0,01	-	-	0,01		
Ито- го	106,64	101,24	383,44	80,24	72,00	743,56	83,08	90,69	397,70	81,61	96,83	749,91	38,41	30,30	110,82	23,95	27,15	230,63		
По- ро- да*	Приrost фитомассы в абсолютно сухом состоянии															Z _{до} т/га	Z _{до} т/га			
	Корни					Нижние ярусы					Z _{до} ***									
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Всего	Всего	Всего	Z _{до} ***	Z _{до} ***					
	Всего	Всего	Всего	Всего	Всего	Всего	Всего	Всего	Всего	Всего	Всего	Всего	Всего	Z _{до} ***	Z _{до} ***					
1	2,19	22,72	114,42	80,12	66,99	286,43	5,59	6,69	13,81	9,77	22,49	58,35	453,67	740,11	4,53	7,39				
Е	5,99	4,85	9,94	5,22	7,08	33,09	-	0,03	0,16	0,64	8,83	9,67	172,29	205,38	4,94	5,89				
П	1,48	0,75	0,78	0,27	0,16	3,42	-	-	0,01	0,03	0,16	0,19	15,47	18,89	7,07	8,63				
Лц	-	-	-	-	0,06	0,06	-	-	-	-	-	-	0,14	0,20	4,17	6,10				
К	0,01	0,23	9,96	5,03	2,58	17,62	0,15	0,14	3,54	2,11	1,31	7,25	33,48	51,10	4,21	6,42				
Б	19,19	19,45	79,25	7,98	12,75	138,63	41,96	28,21	75,04	6,49	10,0	161,70	1055,71	1194,34	7,59	8,58				
Ос	0,17	0,91	9,62	4,82	5,43	20,94	14,50	7,06	21,10	8,44	5,38	56,48	284,98	305,92	5,76	6,18				
Ол	0,01	0,03	0,11	0,01	0,03	0,19	0,03	0,05	0,26	0,04	0,16	0,53	2,48	2,68	4,72	5,09				
Лп	-	-	0,01	-	-	0,02	-	-	0,01	-	-	0,01	0,06	0,08	5,60	7,09				
Ито- го	29,05	48,94	224,09	103,45	94,87	500,40	62,23	42,18	113,92	27,53	48,32	294,19	2018,29	2518,69	6,03	7,53				

*Обозначения см. в табл. 3.

фитомассы по двум методам для Алапаевского лесхоза Свердловской области даны в табл. 9 и 10.

Путем деления полученных приростов фитомассы на лесопокрытую и общую площади лесхозов получены распределения по лесхозам приростов фитомассы, отнесенных к 1 га соответственно лесопокрытой и общей площадей. Примеры для Свердловской области приведены в табл. 11 и 12.

Сравнение итоговых данных по годовичному приросту фитомассы на лесопокрытой площади Свердловской области (см. табл. 11 и 12) показывает, что оценка по 1-му методу в 2,6 раза (15,3 против 5,8 т/га) выше, чем по 2-му. Разница в оценках массы корней еще больше: по Алапаевскому лесхозу, например, в 4 раза (ср. табл. 9 и 10). Двух-трехкратное превышение имеет место и по остальным административным образованиям, за исключением Ямало-Ненецкого и Ханты-Мансийского автономных округов (табл. 13).

Доля годовичного прироста фитомассы корней по отношению к общему, полученная по 2-му методу, снижается в направлении с севера на юг (табл. 14), и эта закономерность объясняется известным увеличением ФАР и соответственно снижением жесткости условий произрастания, тогда как аналогичный показатель, полученный по 1-му методу, напротив, повышается, что может быть объяснено лишь неточностью метода.

Поскольку оценки 2-го метода получены с привлечением данных о массе ассимиляционного аппарата и биологически обусловлены и поскольку массив экспериментальных данных о фитомассе на порядок выше, нежели таковой по первичной продукции, есть основание отдать предпочтение результатам 2-го метода как более близким к истинным. По результатам расчетов по 2-му методу получено территориальное распределение первичной продукции по УрФО, показатели которой пересчитаны на депонирование углерода по коэффициенту 0,5 и составлена карта-схема (рис. 3). Закономерность изменения стока углерода по зональному градиенту в этом случае повторяет таковую для запасов углерода (см. рис. 1).

Под депонированием углерода в нашем случае понимается величина, аналогичная первичной нетто-продукции (NPP). В других же случаях этот показатель оценивается по изменению средних запасов насаждений в регионе за определенный период, т.е. имеется в виду не NPP, а NEP (NEE)- чистая экосистемная продукция (чистый экосистемный баланс). При таком подходе годовичное депонирование углерода на лесопокрытых площадях Европейско-Уральской части РФ оценивается величиной 0,656 т/га (Исаев, Коровин, 1997) против наших показателей, варьирующих от 0,47 для Ямало-Ненецкого округа до 4,0 т/га для Челябинской области.

Таким образом, установлено, что общий годовичный сток атмосферного углерода в фитомассу насаждений на территории УрФО составляет 164,8 млн т и распределен по административным образованиям следующим образом, млн т: Ямало-Ненецкий округ – 25,4; Ханты-Мансийский

Таблица 11

Распределение общих и в расчете на 1 га приростов фитомассы по лесхозам Свердловской области (1-й метод)

№*	Общие приросты фитомассы по лесхозам области, тыс. т						В расчете			
							на лесопокрытую площадь, т/га		на общую площадь, т/га	
	Z _S	Z _F	Z _B	Z _У	Z _R	Итого	Z _{abo}	Z _{tot}	Z _{abo}	Z _{tot}
1	815	942	310	1696	2112	5875	11,3	17,6	10,2	16,0
2	243	316	107	388	501	1554	14,4	21,3	13,2	19,6
3	149	125	43	647	610	1574	18,4	30,0	15,7	25,6
4	223	306	103	381	475	1489	15,5	22,8	14,5	21,3
5	96	109	37	239	309	790	10,3	16,9	9,5	15,5
6	245	238	78	949	980	2490	22,2	36,7	19,3	31,9
8	457	590	193	994	1332	3565	21,0	33,5	18,8	30,3
7	419	615	203	536	879	2652	12,2	18,3	11,3	17,0
9	134	121	37	516	530	1337	25,9	43,0	22,8	37,6
10	586	733	234	1170	1725	4448	14,0	22,8	13,1	21,5
11	1713	1965	624	3976	5245	13524	8,8	14,3	5,6	9,2
12	222	199	69	825	839	2155	14,0	22,9	12,6	20,6
13	1312	1769	554	2001	3185	8821	7,0	10,9	3,5	5,5
14	245	270	96	567	691	1870	10,3	16,3	9,6	15,1
15	379	500	160	933	1286	3259	15,6	25,9	14,5	24,0
16	130	149	47	417	498	1241	22,6	37,8	19,6	32,6
17	108	144	43	248	419	960	17,1	30,4	12,7	22,4
18	1166	1464	504	3423	3472	10029	11,5	17,7	10,6	16,1
21	189	246	78	416	557	1486	15,0	24,0	13,3	21,2
19	248	322	103	570	823	2066	11,9	19,8	10,5	17,5
20	506	706	235	661	967	3075	13,9	20,2	12,9	18,7
22	519	753	242	4205	4195	9914	28,3	49,1	26,2	45,2
23	238	219	76	914	884	2331	14,3	23,1	12,2	19,6
24	573	840	277	866	1264	3820	15,0	22,4	13,1	19,6
25	1291	1790	571	2337	3375	9363	14,2	22,3	12,8	20,1
26	1651	2006	641	4595	5729	14622	15,7	25,9	14,5	24,0
26а	65	73	24	212	230	604	18,8	30,3	16,6	26,8
46	899	885	323	3087	3191	8385	7,2	11,7	5,8	9,3
27	404	453	147	1188	1333	3524	19,5	31,4	17,4	28,0
28	212	261	82	496	721	1772	14,7	24,9	12,4	20,8
29	289	349	115	782	925	2460	20,7	33,1	17,8	28,8
30	233	185	66	1045	960	2488	17,3	28,2	15,1	24,5
31	371	481	155	663	973	2643	12,3	19,5	10,1	16,0

Окончание табл. 11

№*	Общие приросты фитомассы по лесхозам области, тыс. т						В расчете			
							на лесопокрытую площадь, т/га		на общую площадь, т/га	
	Z _S	Z _F	Z _B	Z _У	Z _R	Итого	Z _{лбо}	Z _{лот}	Z _{обо}	Z _{от}
32	169	141	47	739	711	1806	24,4	40,2	21,0	34,5
33	436	412	154	1905	1772	4680	12,5	20,2	10,9	17,5
34	877	990	318	2586	3077	7848	14,2	23,4	11,6	18,9
34а	841	973	330	1628	2103	5876	9,1	14,2	7,9	12,1
35	111	123	40	270	359	904	12,4	20,5	10,8	18,1
36	1129	1227	421	3466	3895	10139	10,5	17,1	8,5	13,6
37	339	375	117	1085	1307	3223	22,1	37,1	19,6	32,8
38	368	308	97	1431	1496	3699	21,3	35,8	18,6	31,3
40	1127	1432	451	1995	3014	8019	8,4	13,5	5,1	8,1
39	925	1123	368	1674	2494	6583	12,8	20,6	7,9	12,7
41	420	502	162	872	1281	3237	15,4	25,5	13,1	21,7
42	402	404	137	1435	1532	3910	17,1	28,0	14,8	24,4
43	586	702	234	1027	1527	4077	9,4	15,1	8,1	13,1
44	178	164	53	639	680	1714	18,0	29,8	14,7	24,4
47	521	748	244	741	1174	3428	12,9	19,6	10,7	16,2
45	444	692	227	532	895	2790	10,5	15,5	9,8	14,3
Итого по области										
	25205	30439	9977	63965	78533	208118	12,3	19,7	9,5	15,3

*Обозначения см. в табл. 2.

Таблица 12

Распределение общих и в расчете на 1 га приростов фитомассы по лесхозам Свердловской области (2-й метод)

№*	Общие приросты фитомассы по лесхозам области, тыс. т						В расчете			
							на лесопокрытую площадь, т/га		на общую площадь, т/га	
	Z _S	Z _F	Z _B	Z _У	Z _R	Итого	Z _{лбо}	Z _{лот}	Z _{обо}	Z _{от}
1	744	750	231	294	500	2519	6,0	7,5	5,5	6,8
2	215	252	79	49	152	747	8,1	10,2	7,5	9,4
3	132	109	42	32	148	462	6,0	8,8	5,1	7,5
4	192	235	75	42	128	671	8,3	10,3	7,8	9,6
5	86	90	29	82	53	340	6,1	7,3	5,7	6,7
6	208	178	66	44	199	696	7,3	10,2	6,3	8,9
8	374	402	132	56	265	1228	9,1	11,5	8,1	10,4
7	356	476	133	93	198	1256	7,3	8,7	6,7	8,1

Продолжение табл. 12

№	Общие приросты фитомассы по лесхозам области, тыс. т						В расчете			
							на лесопокрытую площадь, т/га		на общую площадь, т/га	
	Z _S	Z _F	Z _B	Z _У	Z _R	Итого	Z _{abo}	Z _{tot}	Z _{abo}	Z _{tot}
9	113	88	35	17	136	389	8,1	12,5	7,1	10,9
10	516	522	162	135	298	1634	6,9	8,4	6,4	7,9
11	1554	1738	536	830	1223	5882	4,9	6,2	3,1	4,0
12	197	184	65	66	204	716	5,4	7,6	4,9	6,9
13	1161	1580	480	702	997	4920	6,7	8,4	3,4	4,3
14	229	243	77	103	155	805	5,7	7,0	5,3	6,5
15	303	362	112	80	192	1050	6,8	8,3	6,3	7,7
16	106	102	33	23	76	340	8,0	10,4	7,0	8,9
17	84	96	27	27	52	286	7,5	9,1	5,5	6,7
18	1004	1248	429	353	892	3926	5,3	6,9	4,9	6,3
21	158	182	53	41	111	545	7,0	8,8	6,2	7,8
19	203	244	73	80	133	732	5,7	7,0	5,1	6,2
20	435	548	158	91	275	1507	8,1	9,9	7,5	9,2
22	435	554	165	126	233	1513	6,3	7,5	5,9	6,9
23	212	198	70	63	211	754	5,4	7,5	4,6	6,4
24	453	612	176	83	302	1627	7,8	9,5	6,8	8,4
25	1059	1250	370	259	692	3629	7,0	8,6	6,3	7,8
26	1354	1445	460	347	1030	4636	6,4	8,2	5,9	7,6
26a	55	57	19	11	49	191	7,1	9,6	6,3	8,5
46	822	999	362	593	880	3657	3,9	5,1	3,1	4,1
27	342	338	114	65	301	1161	7,7	10,3	6,8	9,2
28	178	192	57	64	116	607	6,9	8,5	5,8	7,1
29	242	250	84	40	177	793	8,3	10,7	7,2	9,3
30	209	174	70	56	242	750	5,8	8,5	5,0	7,4
31	314	342	99	99	185	1038	6,3	7,7	5,1	6,3
32	146	112	46	26	172	501	7,3	11,2	6,3	9,6
33	389	406	149	148	349	1440	4,7	6,2	4,1	5,4
34	744	758	251	244	598	2595	5,9	7,7	4,8	6,2
34a	821	819	265	376	495	2776	5,5	6,7	4,8	5,7
35	108	100	34	35	74	350	6,3	8,0	5,5	7,0
36	1015	1078	353	508	739	3694	5,0	6,2	4,0	5,0
37	279	258	87	58	229	911	7,9	10,5	7,0	9,3
38	317	261	104	60	448	1190	7,2	11,5	6,3	10,1
40	1050	1199	370	550	742	3911	5,3	6,6	3,2	3,9
39	845	821	253	256	454	2629	6,8	8,2	4,2	5,1

Окончание табл. 12

№	Общие приросты фитомассы по лесхозам области, тыс. т						В расчете			
							на лесопокрытую площадь, т/га		на общую площадь, т/га	
	Z _S	Z _F	Z _B	Z _У	Z _R	Итого	Z _{abo}	Z _{tot}	Z _{abo}	Z _{tot}
41	371	360	109	102	223	1164	7,4	9,2	6,3	7,8
42	359	322	116	96	287	1180	6,4	8,5	5,6	7,4
43	570	562	170	240	298	1839	5,7	6,8	4,9	5,9
44	155	132	49	37	182	555	6,5	9,7	5,3	7,9
47	441	544	161	104	236	1486	7,2	8,5	5,9	7,0
45	356	504	154	94	192	1299	6,1	7,2	5,7	6,7
Итого по области										
	22012	24274	7740	7978	16523	78527	5,9	7,4	4,5	5,8

*Обозначения см. в табл. 2.

Таблица 13

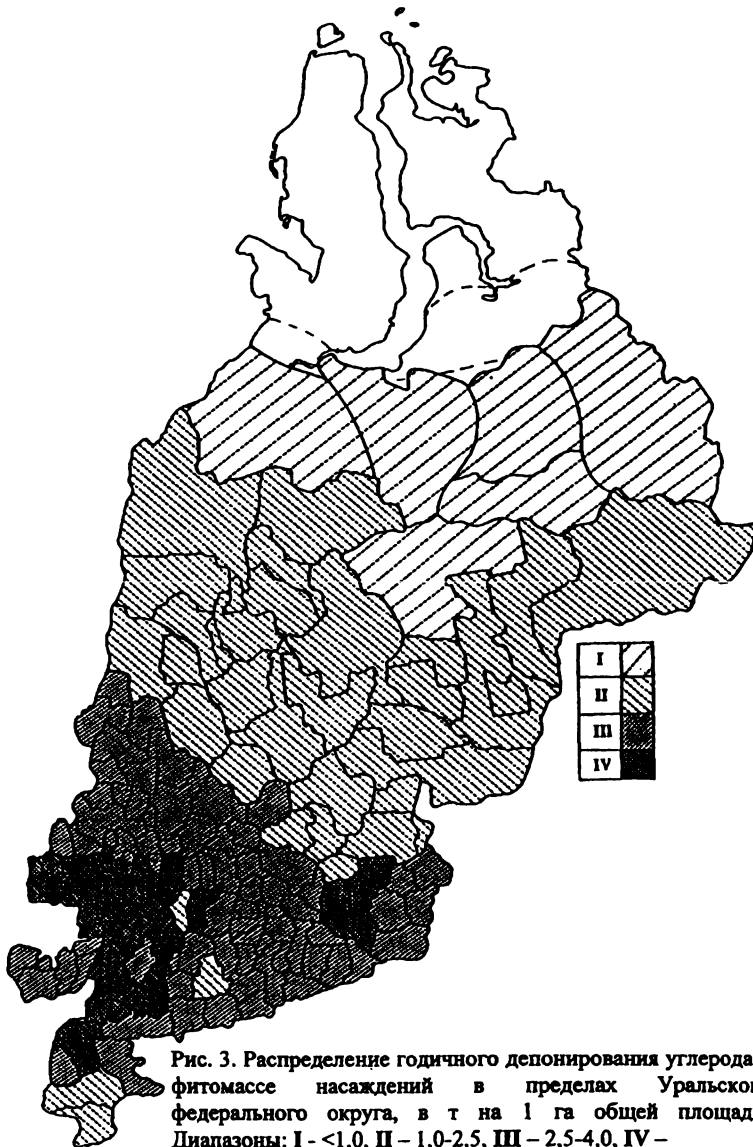
Соотношение полученных по двум методам средних оценок годовичного прироста фитомассы на территории административных образований УрФО

Административный регион	Годичный прирост фитомассы, т/га		
	1-й метод	2-й метод	Отношение 1-го ко 2-му
Ямало-Ненецкий АО	1,05	0,94	1,1
Ханты-Мансийский АО	1,68	2,73	0,6
Тюменская область	10,9	4,21	2,6
Свердловская область	15,3	5,8	2,6
Курганская область	11,4	6,42	1,8
Челябинская область	23,1	7,89	2,9

Таблица 14

Соотношение полученных по двум методам долей годовичного прироста подземной фитомассы в процентах к общей

Административный регион	Доля годовичного прироста массы корней, % к общей		
	1-й метод	2-й метод	Отношение 1-го ко 2-му
Ямало-Ненецкий АО	17	24	0,7
Ханты-Мансийский АО	12	24	0,5
Тюменская область	47	18	2,6
Свердловская область	38	21	1,8
Курганская область	37	18	2,1
Челябинская область	36	17	2,1



округ – 63,8; собственно Тюменская область – 21,1; Свердловская область – 39,3; Курганская область – 4,8 и Челябинская область – 10,4.

Полученные значения запасов углерода в фитомассе, отнесенные на 1 га лесопокрытой площади в пределах административных областей УрФО, оказались близкими к аналогичным данным, показанным В.А. Алексеевым и Р.А. Бердси (1994). Однако наши результаты дают более детальную информацию, поскольку рассчитаны на уровне лесхозов, а не областей. Данные по годичному депонированию углерода получены для УрФО впервые.

Поскольку средняя плотность органического углерода лесов на территории Свердловской и Челябинской областей почти в 10 раз выше, чем на территории Западной Европы, это обеспечивает Уральскому федеральному округу существенные экологические и экономические выгоды в ходе межрегиональных и межгосударственных расчетов при выполнении обязательств российских регионов по Протоколу Киото.

Работа поддержана РФФИ, грант № 04-05-96083.

Библиографический список

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

Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И. Система конверсионных отношений для расчета чистой первичной продукции лесных экосистем по запасам насаждений // Лесоведение. 2000. № 6. С. 54-63.

Исаев А.С., Коровин Г.Н. Депонирование углерода в лесах России // Чтения памяти академика В.Н. Сукачева. Углерод в биогеоценозах. М.: ЦЭПЛ, 1997. Вып. 15. С. 59-98.

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

Кобак К. И. Биотические компоненты углеродного цикла. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 248 с.

Лавренко Е.М., Андреев В.Н., Леонтьев В.Л. Профиль продуктивности надземной части природного растительного покрова СССР от тундр к пустыням // Ботан. журн. 1955. Т. 40. № 3. С. 415-419.

Усольцев В.А. Биоэкологические аспекты таксации фитомассы деревьев. Екатеринбург: УрО РАН, 1997. 216 с.

Усольцев В.А. Формирование банков данных о фитомассе лесов. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 541с.

Усольцев В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: база данных и география. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 708 с.

Усольцев В.А., Азаренок В.А., Ефименко О.А. База данных о первичной продукции ельников Евразии // Лесной комплекс: состояние и перспективы развития. Вып. 3. Брянск: БГИТА, 2002. С. 54-58.

Усольцев В.А., Фимушин А.Б., Колтунова А.И. Региональные особенности распределения годичной продукции фитомассы лиственничников // Лесной комплекс: состояние и перспективы развития. Вып. 1. Брянск: БГИТА, 2001. С. 13-16.

Уткин А.И., Замолодчиков Д.Г., Пряжников А.А. Методы определения депонирования углерода фитомассы и нетто-продуктивности лесов (на примере Республики Беларусь) // Лесоведение. 2003. № 1. С. 48-57.

Cannell M.G.R., Milne R. Carbon pools and sequestration in forest ecosystems in Britain // Forestry. 1995. Vol. 68. No. 4. P. 361-378.

Hartig R. Wachstumsuntersuchungen an Fichten // Forstlich-Naturwissenschaftl. Zeitschrift. 1896. Bd. 5. S. 1-15, 33-45.

Usoltsev V.A., Koltunova A.I., Kajimoto T., Osawa A., Koike T. Geographical gradients of annual biomass production from larch forests in Northern Eurasia // Eurasian J. For. Res. 2002. Vol. 5. P. 55-62.