

исходным материалом для планирования и выполнения рубок ухода в древостоях искусственного происхождения при рациональном использовании леса.

ЛИТЕРАТУРА

Мелехов И. С., Корконосова Л. И., Чертовской В. Г. Руководство по изучению концентрированных вырубок. Изд. 2-е. М.: Наука, 1965.

Соловьев В. М. Всеобщая и динамическая классификация деревьев по относительному положению// Информ. листок № 730-82. Свердловск, 1982. 4 с.

Сукачев В. Н., Зонн С. В., Мотовилов Г. П. Методические указания к изучению типов леса. М.: АН СССР, 1957. 114 с.

УДК 630*532

В. А. Усольцев, В. И. Марковский, О. А. Крапивина
(Уральский государственный лесотехнический университет)

ИЗМЕНЕНИЕ ФИТОМАССЫ СОСНЯКОВ ПО УРАЛЬСКОМУ МЕРИДИАНУ И ЕВРАЗИЙСКОЙ ЮЖНОЙ ТАЙГЕ

Установлено повышение показателей надземной и общей фитомассы спелых сосняков от северной тайги (соответственно 67,9 и 86,4 т/га) до степи (186,4 и 303,5 т/га) по Уральскому меридиану и снижение их в подзоне южной тайги по мере повышения континентальности климата от Скандинавско-Русской (180,6 и 216,6 т/га) до Забайкальской (74,5 и 97,0 т/га) провинций.

Характер растительности складывается под влиянием большого числа факторов (климатических, эдафических, биотических, исторических), однако главнейшим и всеобщим из них является климатический. Основные изменения климата происходят в широтном направлении в результате изменения интенсивности солнечной радиации и в меридиональ-

ном направлении – от морских побережий внутрь континента – в результате изменения степени континентальности. Соответственно в этих же направлениях происходят основные изменения в растительном покрове (Курнаев, 1973).

Е. М. Лавренко с соавт. (1955) была предпринята первая попытка построения профиля продуктивности растительного покрова по природным зонам и подзонам европейской части России. Для доминирующих лесных экосистем северной, средней и южной тайги (ельники) и широколиственных лесов (дубравы) они приводят значения надземной фитомассы соответственно 90, 130, 220 и 260 т/га и ее годовичного прироста – 1,5; 3,0; 5,0 и 5,6 т/га. Для естественных сосняков брусничных северной, средней и южной тайги, лесостепи и степных боров Западной Сибири В. Н. Габеев (1990) дает значения надземной фитомассы соответственно 65, 164, 240, 202 и 106 т/га. При исследовании биопродуктивности культур сосны по зональному профилю (северная и средняя тайга, лесостепь и степь) был подтвержден колоколообразный характер профиля продуктивности по надземной фитомассе древостоев, однако оказалось, что на южном пределе ареала продуктивность культур варьирует в очень широком диапазоне и находится в обратной взаимосвязи с их устойчивостью к действию лимитирующего фактора - влагообеспеченности (Усольцев и др., 1999).

Согласно картосхемам биопродуктивности основных типов растительности (Базилевич, Родин, 1967) общая (надземная и подземная) фитомасса лесных экосистем северной, средней и южной тайги и широколиственных лесов европейской России составляет соответственно 50-150, 150-300, 300-400 и 400-500 т/га. Для ельников северной тайги, средней и южной тайги (вместе), зон хвойно-широколиственных и широколиственных лесов установлены предельные показатели общей фитомассы соответственно 249, 382, 571 и 732 т/га (Усольцев, 1998), что в 1,5 – 1,7 раза выше соответствующих верхних пределов, даваемых по зональному градиенту Н. И. Базилевич и Л. Е. Родиным (1967). Наличие профиля продуктивности по зональному градиенту было подтверждено также расчетом величины годовичного прироста естественного растительного покрова по совокупности двух гидротермических показателей – радиационного баланса и индекса сухости (Будыко, Ефимова, 1968).

По градиенту континентальности климата выявлено изменение структуры растительного покрова (Курнаев, 1973; Назимова, 1995), однако в динамике его продуктивности по названному градиенту имеется неопределенность. Н. И. Базилевич и Л. Е. Родин (1967) для подзон средней (от Скандинавии до Сахалина) и южной тайги (от Зауралья до Дальнего

Востока) дают один общий диапазон фитомассы растительного покрова – 150 - 300 т/га. Не выявлено какой-либо закономерности также в изменении биопродуктивности, рассчитанной по гидротермическим показателям, по градиенту континентальности к востоку от Урала (Будыко, Ефимова, 1968). Имеют место и противоположные зависимости продуктивности от индекса континентальности: положительная для сосняков (Тябера, 1988) и отрицательная для лиственничников (Усольцев, 2000).

В нашей работе предпринята первая попытка установления географических закономерностей распределения фитомассы сосны обыкновенной в пределах Северной Евразии, как по зональному (Уральский меридиан), так и по провинциальному (южная тайга) градиентам.

В результате проведенного авторами поиска опубликованных данных о запасах фитомассы сосняков с полной характеристикой морфоструктуры полого создана база данных из 290 (включая 90 собственных) определений ее фракционного состава, позаимствованных из 37 источников. Экспериментальные данные фитомассы после нанесения на схему зонально-провинциального деления распределились по соответствующим регионам (рис. 1 и табл. 1). Все регионы закодированы блоковыми фиктивными переменными (Дрейпер, Смит, 1973), см. табл. 1. Описание общего методического подхода к моделированию географических закономерностей распределения фитомассы дано на примере рода *Populus* в статье В. А. Усольцева и А. Н. Грибенникова настоящего сборника.

Таблица 1

Схема кодирования* блоковыми переменными региональных массивов данных о фитомассе сосняков Уральской провинции (по подзонам) и подзоны южной тайги (по провинциям)

Регион	Блоковые переменные					
	X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
УРюж	0	0	0	0	0	0
УРсев	0	1	0	0	0	0
УРст	0	0	1	0	0	0
СР	0	0	0	1	0	0
СС	0	0	0	0	1	0
ЗБ	0	0	0	0	0	1

* По Уральскому меридиану УРсев, УРюж и УРст – соответственно северная, южная тайга и степь; по подзоне южной тайги СР, СС и ЗБ – соответственно Скандинавско-Русская, Средне-Сибирская и Забайкальская провинции.

По итоговому массиву данных фитомассы 290 пробных площадей рассчитаны многофакторные регрессии общего вида (табл. 2)

$$P_i/M \text{ или } P_i = f(X_1, \dots, X_s, A, D, H, N, M), \quad (1)$$

где A – возраст древостоя, лет; D – средний диаметр стволов, см; H – средняя высота древостоя, м; N – число стволов на 1 га, тыс. экз./га; M – запас стволовой древесины, м³/га; P_i – фитомасса i -й фракции ($P_S, P_{SB}, P_P, P_B, P_R$ и P_U – соответственно стволов с корой, коры стволов, хвои, ветвей, корней и нижних ярусов растительности) в абсолютно сухом состоянии, т/га.

Средний возраст насаждений пробных площадей в разных регионах варьирует от 40 до 110 лет. Чтобы при сопоставлении их биопродуктивности исключить влияние возраста, обеспечить согласованный ход возрастных кривых и последовательное накопление региональных различий в возрастной динамике массообразующих показателей и запасов стволовой древесины, рассчитана цепочка взаимозависимых уравнений:

$$\begin{aligned} \ln H &= f(X_0, \dots, X_s, \ln A) \textcircled{R} \ln D = f(X_0, \dots, X_s, \ln A, \ln H) \longrightarrow \\ \longrightarrow \ln N &= f(X_0, \dots, X_s, \ln A, \ln H, \ln D) \longrightarrow \ln M = f(X_0, \dots, X_s, \ln H, \ln D, \ln N). \quad (2) \end{aligned}$$

Структура уравнений (1) и (2) обеспечивает хорошее соответствие фактических и расчетных данных (рис. 2), а их независимые переменные объясняют 76-97 % изменчивости зависимых переменных (табл. 2). Последовательным табулированием рекурсивных систем уравнений (2) и (1) по задаваемым значениям возраста получены возрастные тренды всех массообразующих показателей и запасов фитомассы по фракциям (стволы, ветви, хвоя, корни, нижние ярусы) для каждого региона (табл. 3).

Темпы накопления запасов фитомассы в насаждениях сохраняются до III-V классов возраста, а затем снижаются до отрицательных значений. Среднепериодический годичный прирост общей фитомассы в I, III, V и X классах возраста составляет по Уральскому меридиану в северной тайге соответственно 1,8; 0,9; 0,4 и –0,1 т/га/год, а в степи 2,7; 4,0; 1,7 и –0,2 т/га/год. В южно-таежной подзоне названный показатель равен по провинциям соответственно: Скандинавско-Русской 2,5; 2,7; 1,1 и –0,1 т/га/год, Уральской 2,1; 2,8; 1,1 и –0,2 т/га/год и Забайкальской 1,4; 1,2; 0,5 и –0,1 т/га/год (см. табл. 3). Связь общей фитомассы сосняков южной тайги с индексом континентальности отрицательная с коэффициентом корреляции –0,92.

Таким образом, биопродуктивность сосняков снижается по мере возрастания континентальности климата в пределах подзоны южной тайги,

а по Уральскому меридиану увеличивается от северо-таежной до степной подзон по всем фракциям фитомассы, включая подземную. Особенно высоким отношением подземной фитомассы к надземной (0,62) отличаются сосняки степной зоны в Тургайском прогибе, видимо, вследствие высокой доли тонкой фракции, достигающей в сухих условиях степи 70 % от общей массы корней и пней (Усольцев, 1988).

ЛИТЕРАТУРА

Базилевич Н. И., Родин Л. Е. Картограммы продуктивности и биологического круговорота главнейших типов растительности суши // Изв. ВГО. 1967. Т. 99. № 3. С. 190-194.

Будыко М. И., Ефимова Н. А. Использование солнечной энергии природным растительным покровом на территории СССР // Бот. журн. 1968. Т. 53. № 10. С. 1384-1389.

Габеев В. Н. Экология и продуктивность сосновых лесов. Новосибирск: Наука, 1990. 228 с.

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

Курнаев С. Ф. Лесорастительное районирование СССР. М.: Наука, 1973. 203 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.

Назимова Д. И. Климатическая ординация лесных экосистем как основа их классификации // Лесоведение. 1995. № 4. С. 63-73.

Тябера А. П. Географические закономерности производительности сосновых древостоев // Лесная таксация и лесоустройство. Каунас: ЛитСХА, 1988. С. 139-147.

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

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

Усольцев В. А. Биологическая продуктивность лиственниц Евразии в связи с зональностью и континентальностью климата // Лесная таксация и лесоустройство: Межвуз. сб. научн. работ. Красноярск: СибГТУ, 2000. С. 228-236.

Усольцев В. А., и др. Органическая масса культур сосны обыкновенной в разных природных зонах // Лесная таксация и лесоустройство: Межвуз. сб. научн. работ. Красноярск: СибГТУ, 1999. С. 16-24.

Таблица 2

Характеристика уравнений (1) и (2)

Зависимые переменные	Константы и независимые переменные уравнений									
	a_0	$a_1 X_1$	$a_2 X_2$	$a_3 X_3$	$a_4 X_4$	$a_5 X_5$	$a_6 X_6$	$a_7 X_7$	$a_8 (\ln A)$	$a_9 (\ln A)^2$
$\ln(H)$, м	-3,5227	-0,4215	0,0384	0,2097	0,0040	-0,2207	-0,2207	2,4260	-0,2196	
$\ln(D)$, см	2,6692	0,2265	0,0537	0,1233	0,0747	0,3036	0,3036	-1,7043	0,2221	
$\ln(N)$, тыс. шт/га	4,4418	-0,1811	0,2111	-0,2059	-0,1557	-0,1659	-0,1659	-0,2533	-	
$\ln(M)$, м ³ /га	-0,9765	-0,4563	0,0848	-0,1456	-0,0934	-0,3681	-0,3681	0,1649	-	
$\ln P_s$, т/га	-0,8215	0,0411	-0,0548	0,1769	-0,0223	-0,0185	-0,0185	0,0769	-	
$\ln P_{sb}$, т/га	1,3309	0,6719	0,3611	0,1049	0,4069	-0,1555	-0,1555	-0,1891	-	
$\ln(P_F/M)$, т/м ³	1,8717	0,6397	0,0541	0,1763	-0,1458	0,5634	0,5634	-0,5546	-	
$\ln(P_B/M)$, т/м ³	-0,9861	-0,0602	-0,2781	-0,0347	-0,1073	0,1231	0,1231	-	-	
$\ln(P_R/M)$, т/м ³	-3,2161	0,1504	0,5841	-0,1031	-0,2581	0,1481	0,1481	0,3656	-	
$\ln(P_U/M)$, т/м ³	-1,8895	2,6337	-0,3650	1,8842	-0,0094	-0,0009	-0,0009	-	-	

Окончание табл. 2

Зависимые переменные	Константы и независимые переменные уравнений									
	$a_4 (\ln D)$	$a_5 (\ln H)$	$a_6 (\ln N)$	$a_7 (\ln M)$	$a_8 (\ln P_s)$	$a_9 \ln(P_F/M)$	R^2	SE*		
$\ln(H)$, м	-	-	-	-	-	-	0,837	0,262		
$\ln(D)$, см	-	1,1421	-	-	-	-	0,919	0,216		
$\ln(N)$, тыс. шт/га	-2,5506	1,5012	-	-	-	-	0,929	0,339		
$\ln(M)$, м ³ /га	0,7517	1,2437	0,5948	-	-	-	0,936	0,252		
$\ln P_s$, т/га	-	-	0,0139	0,9223	-	-	0,974	0,159		
$\ln P_{sb}$, т/га	-0,8293	0,9823	-	-	0,0077	-	0,860	0,204		
$\ln(P_F/M)$, т/м ³	-	-1,2110	-0,2734	-	-	-	0,873	0,349		
$\ln(P_B/M)$, т/м ³	0,7524	-0,5672	-	-	-	0,6611	0,854	0,234		
$\ln(P_R/M)$, т/м ³	0,4087	-0,5643	0,2227	-	-	-	0,761	0,181		
$\ln(P_U/M)$, т/м ³	1,2719	-2,5446	-	-	-	-	0,945	0,408		

*SE – стандартная ошибка уравнения

Таблица 3

**Возрастная динамика массообразующих показателей и фитомассы сосняков по подзонам
Уральского меридиана и провинциям южной тайги**

А, лет	Н, м	D, см	N, тыс. экз/га	M, м ³ /га	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, т/га						Итого
					P _S	P _{SV}	P _F	P _B	P _R	P _U	
УРАЛЬСКИЙ МЕРИДИАН, СЕВЕРНАЯ ТАЙГА											
10	1,6	2,0	13,670	5,0	2,5	4,3	4,8	2,2	0,99	7,68	18,2
30	5,9	5,4	5,830	38,6	17,7	5,6	5,2	4,7	6,76	7,58	41,9
50	8,9	8,4	3,070	66,6	30,2	5,3	4,9	6,0	11,58	8,06	60,7
70	11,0	11,1	1,910	85,1	38,6	4,9	4,6	6,8	14,97	8,56	73,5
90	12,5	13,6	1,290	96,0	43,8	4,5	4,3	7,4	17,15	9,03	81,7
110	13,6	16,0	0,920	101,8	46,7	4,1	4,0	7,7	18,50	9,50	86,4
130	14,3	18,2	0,680	102,5	47,4	3,7	3,8	8,0	18,96	9,92	88,1
150	14,9	20,4	0,520	102,6	47,8	3,4	3,6	8,2	19,29	10,34	89,2
170	15,2	22,4	0,410	100,0	47,0	3,2	3,4	8,3	19,17	10,79	88,7
190	15,5	24,5	0,330	98,1	46,4	2,9	3,2	8,4	19,15	11,29	88,4
УРАЛЬСКИЙ МЕРИДИАН, ЮЖНАЯ ТАЙГА											
10	2,5	2,6	16,390	18,6	8,1	2,8	5,2	3,6	2,84	0,92	20,7
30	8,9	6,9	6,930	135,2	54,2	3,5	5,6	7,6	18,56	0,92	86,9
50	13,6	10,8	3,670	239,1	94,5	3,4	5,3	9,8	32,47	0,97	143,0
70	16,8	14,3	2,260	304,2	120,3	3,1	4,9	11,1	41,74	1,03	179,1
90	19,1	17,6	1,510	342,1	135,9	2,8	4,6	12,0	47,63	1,09	201,2
110	20,7	20,6	1,090	362,3	144,9	2,6	4,3	12,6	51,45	1,15	214,4
130	21,8	23,5	0,810	367,6	148,1	2,4	4,1	13,1	53,23	1,21	219,7

Продолжение табл.3

А, лет	Н, м	D, см	N, тыс. экз/га	M, м/га	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, т/га						Итого
					P _S	P _{SB}	P _F	P _B	P _R	P _U	
150	22,6	26,2	0,620	364,3	148,0	2,2	3,8	13,2	53,65	1,26	219,9
170	23,2	28,9	0,490	359,6	147,1	2,0	3,7	13,7	53,96	1,31	219,8
190	23,6	31,6	0,390	349,3	144,0	1,9	3,5	13,9	53,30	1,37	216,1
УРАЛЬСКИЙ МЕРИДИАН, СТЕПЬ											
10	2,6	2,9	16,260	23,0	9,3	3,8	6,5	3,7	6,44	0,82	26,8
30	9,3	7,7	6,910	168,5	62,9	4,8	6,9	7,5	42,30	0,81	120,4
50	14,1	11,9	3,740	296,1	109,0	4,6	6,6	9,7	73,82	0,86	200,0
70	17,4	15,7	2,320	376,9	138,8	4,3	6,1	10,9	95,03	0,92	251,8
90	19,8	19,3	1,560	425,5	157,4	3,9	5,7	11,8	108,90	0,97	284,8
110	21,5	22,7	1,110	449,6	167,4	3,5	5,4	12,6	117,09	1,02	303,5
130	22,7	25,9	0,820	456,0	171,1	3,3	5,1	13,0	120,77	1,06	311,0
150	23,5	28,9	0,630	452,4	171,1	3,0	4,8	13,3	122,10	1,11	312,4
170	24,1	31,9	0,500	447,4	170,4	2,8	4,6	13,6	123,25	1,17	313,0
190	24,5	34,8	0,400	434,8	166,9	2,6	4,3	13,7	121,86	1,22	308,0
ЮЖНАЯ ТАЙГА, СКАНДИНАВСКО-РУССКАЯ ПРОВИНЦИЯ											
10	3,0	3,7	7,130	16,1	8,4	2,7	5,4	4,0	1,92	5,17	24,9
30	11,0	10,0	3,010	122,4	58,3	3,6	5,8	8,5	13,00	5,10	90,7
50	16,7	15,5	1,620	215,3	101,2	3,4	5,5	10,9	22,69	5,41	145,7
70	20,7	20,5	1,000	275,2	129,4	3,1	5,2	12,5	29,26	5,72	182,1
90	23,5	25,2	0,670	309,1	146,1	2,9	4,8	13,4	33,37	6,05	203,7
110	25,5	29,6	0,480	327,3	155,6	2,6	4,5	14,1	36,01	6,38	216,6

Продолжение табл. 3

А, лет	Н, м	D, см	N, тыс. экз/га	M, м ³ /га	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, т/га								Итого
					P _s	P _{sb}	P _f	P _b	P _r	P _u	P _u		
130	26,9	33,7	0,360	334,1	160,0	2,4	4,3	14,8	37,49	6,71	223,3		
150	27,9	37,7	0,270	328,1	158,5	2,2	4,0	14,9	37,32	6,92	221,6		
170	28,6	41,6	0,210	320,3	156,0	2,0	3,8	15,2	37,02	7,19	219,2		
190	29,1	45,3	0,170	313,5	153,8	1,9	3,6	15,4	36,92	7,50	217,2		
ЮЖНАЯ ТАЙГА, СРЕДНЕ-СИБИРСКАЯ ПРОВИНЦИЯ													
10	2,5	2,8	11,610	14,6	6,3	3,9	3,9	2,6	1,65	0,79	15,2		
30	9,0	7,6	4,710	106,7	42,4	5,0	4,2	5,6	10,73	0,79	63,7		
50	13,6	11,7	2,560	186,7	73,2	4,7	3,9	7,0	18,68	0,83	103,6		
70	16,9	15,5	1,590	240,6	94,3	4,4	3,7	8,1	24,29	0,88	131,3		
90	19,1	18,9	1,080	269,3	106,1	4,0	3,4	8,6	27,68	0,93	146,7		
110	20,8	22,3	0,770	286,6	113,6	3,6	3,2	9,1	29,98	0,99	156,9		
130	21,9	25,4	0,570	289,6	115,7	3,3	3,0	9,4	30,85	1,03	160,0		
150	22,7	28,4	0,440	289,1	116,3	3,1	2,9	9,8	31,42	1,08	161,5		
170	23,3	31,3	0,340	281,3	114,1	2,8	2,7	9,8	30,98	1,12	158,7		
190	23,7	34,2	0,270	272,7	111,5	2,6	2,6	10,0	30,52	1,16	155,8		
ЮЖНАЯ ТАЙГА, ЗАБАЙКАЛЬСКАЯ ГОРНАЯ ПРОВИНЦИЯ													
10	2,0	2,8	8,220	6,8	3,1	1,8	5,3	3,6	1,21	0,65	13,9		
30	7,2	7,4	3,570	51,1	21,5	2,3	5,7	7,4	8,14	0,65	43,4		
50	10,9	11,4	1,940	89,6	37,2	2,2	5,4	9,5	14,18	0,69	67,0		
70	13,5	15,1	1,200	114,7	47,6	2,0	5,1	10,9	18,34	0,73	82,7		

Окончание табл.3

А, лет	Н, м	D, см	N, тыс. экз/га	M, м ³ /га	Фитомасса в абсолютно сухом состоянии, т/га							
					P _S	P _{SR}	P _F	P _B	P _R	P _U	Итого	
90	15,3	18,5	0,810	128,8	53,7	1,8	4,7	11,6	20,94	0,77	91,7	
110	16,6	21,7	0,580	136,1	57,1	1,7	4,4	12,2	22,53	0,81	97,0	
130	17,5	24,7	0,430	137,8	58,3	1,6	4,2	12,7	23,22	0,84	99,3	
150	18,2	27,7	0,330	138,0	58,8	1,4	3,9	12,9	23,68	0,89	100,2	
170	18,6	30,5	0,260	135,0	58,0	1,3	3,7	13,2	23,62	0,93	99,5	
190	18,9	33,2	0,210	131,7	57,0	1,2	3,6	13,5	23,48	0,97	98,6	

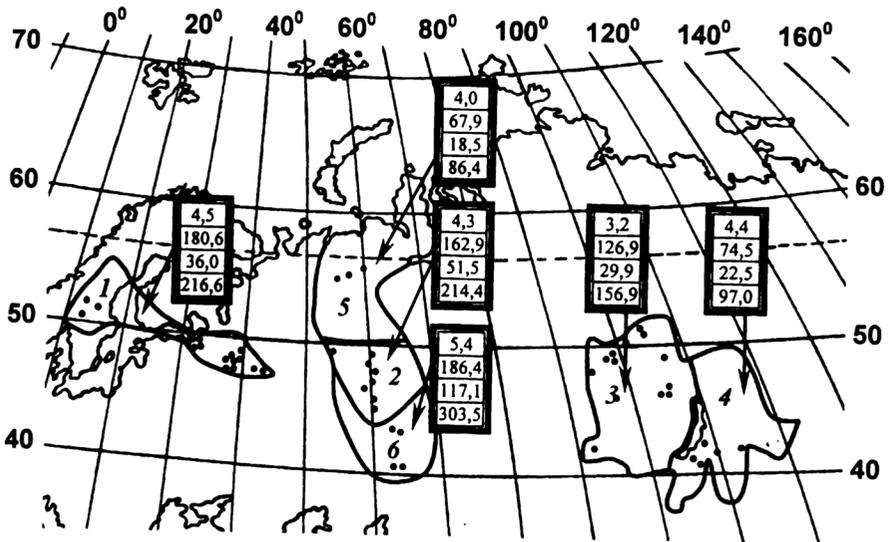


Рис. 1. География экспериментальных данных о фитомассе сосновых насаждений и приведенные к VI классу возраста по уравнениям (2) и (1) запасы фитомассы в абсолютно сухом состоянии по фракциям (сверху вниз):

хвоя, общая надземная, корни, общая, т/га.

Обозначения провинций по южной тайге: 1 – Скандинавско-Русская, 2 – Уральская, 3 – Средне-Сибирская, 4 – Забайкальская. Обозначения подзон по Уральскому региону: 5 – северная тайга; 2 – южная тайга; 6 – степь

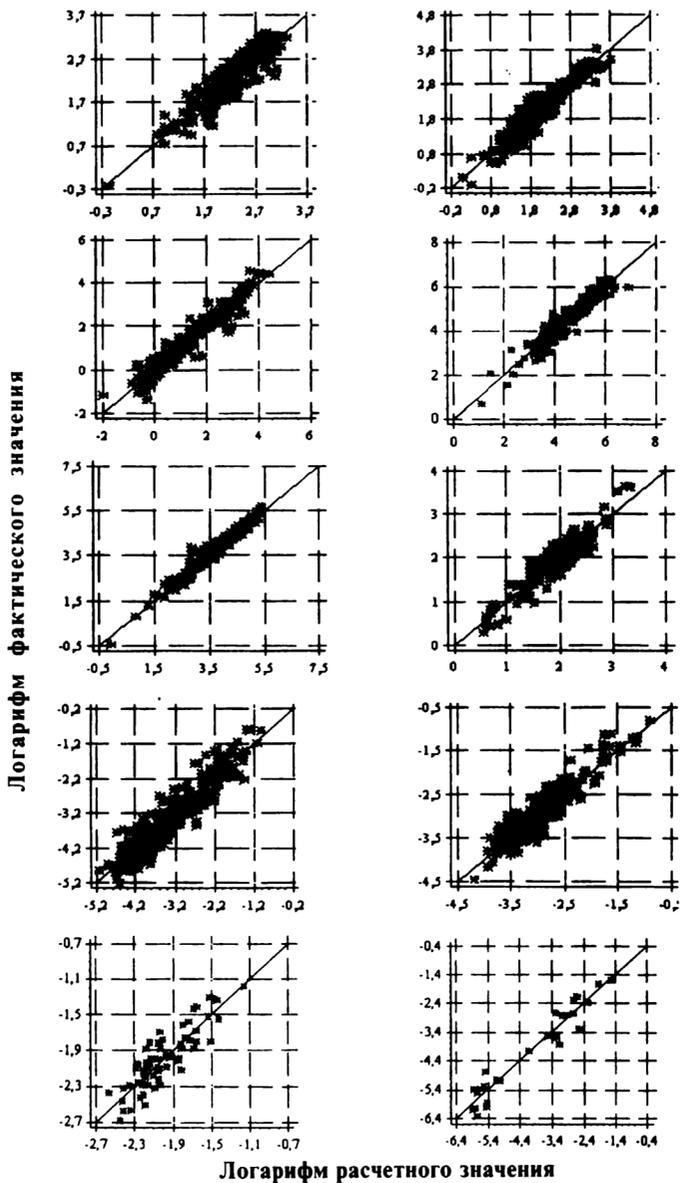


Рис. 2. Соотношение фактических и расчетных значений $H, D, N, M, P_s, P_{sb}, P_f/M, P_b/M, P_r/M, P_u/M$ соответственно а, б, в, г, д, е, ж, з, и, к, полученных по уравнениям (2) и (1)