

УДК 551.588.6:581.132 (470.22)

В. А. Усольцев, О.А.Петелина, Л.И. Аткина, И.В. Платонов, Е.В. Белоусов, В.В. Терентьев, Н.С. Ненашев  
(Уральский государственный лесотехнический университет)

## ТАБЛИЦЫ БИОПРОДУКТИВНОСТИ ЕСТЕСТВЕННЫХ СОСНЯКОВ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ И ИХ ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

*Впервые составлен комплект из 125 таблиц биологической продуктивности (ТБП) естественных сосняков для Северной Евразии на основе базы данных о их фитомассе и многофакторных моделей фитомассы, совмещенных с традиционными таблицами хода роста (ТХР) древостоев. Таблицы подразделены на две категории – для сомкнутых (нормальных) и модальных древостоев и в пределах каждой - на два уровня условий произрастания (относительно лучшие и относительно худшие). Фитомасса каждого проанализирована в связи с индексом континентальности. Установлено снижение фитомассы в направлении от атлантического и тихоокеанского побережий к полюсу континентальности в районе Якутска.*

Учет всех компонентов фитомассы лесных экосистем, как и углерода в ее составе, может быть осуществлен несколькими методами, в том числе с помощью таблиц их биологической продуктивности (ТБП). Сегодня можно считать общепризнанным метод стыковки фактических данных фитомассы с таблицами хода роста древостоев (ТХР) с помощью регрессионных моделей фитомассы.

Предложенная одним из авторов структурная форма регрессионной модели для фитомассы [1, 2] оправдала себя при построении модельных возрастных трендов фитомассы 13 лесообразующих пород Северной Евразии:

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

где  $P_i$  - фитомасса в абсолютно сухом состоянии стволов с корой, коры стволов, скелета ветвей, хвои, корней и нижних ярусов растительности (соответственно  $P_S$ ,  $P_{SB}$ ,  $P_B$ ,  $P_F$ ,  $P_R$  и  $P_U$ ), т/га;

$M$  - запас стволовой древесины, м<sup>3</sup>/га;

$A$  - возраст древостоя, лет;

$H$  – средняя высота деревьев, м; в качестве характеристики плотности ценоза вместо показателя относительной полноты включена совокупность двух таксационных признаков – среднего диаметра  $D$ , см и числа стволов  $N$ , тыс.экз./га.

От использования интегрального показателя полноты, обычно применяемого при оценке запасов стволовой древесины, в нашем исследовании пришлось отказаться, поскольку при одной и той же полноте, но диаметрально противоположных сочетаниях густоты и среднего диаметра ствола, фитомасса полого древостоя может различаться в два-три раза [1]. Главное достоинство уравнений (1) – многофункциональная применимость в комплексе исследований по созданию банка данных о фитомассе лесных экосистем.

Уравнения (1), как и другие подобные им эмпирические выражения, не могут быть использованы непосредственно, они работают по принципу «Что будет, если...?», и для получения запасов фитомассы в том или ином регионе необходимо задать характерный для него набор массоопределяющих показателей  $A$ ,  $H$ ,  $D$ ,  $N$  и  $M$ .

Цель предлагаемой работы – сформировать базу данных о фитомассе естественных сосняков Евразии, построить по ним систему региональных регрессионных моделей фитомассы, состыковать упомянутые модели с региональными ТХР и проанализировать географию полученных таблиц биопродуктивности.

В экологии многие явления и признаки характеризуются лишь на описательном уровне, их нельзя пока выразить числом и мерой, а одно из ограничений математического моделирования заключается в степени формализуемости исследуемых признаков. Описание признаков, которые можно закодировать, но нельзя упорядочить, получило в эконометрии распространение под названием блоковых фиктивных переменных [3]. В нашей работе подобная методология впервые применена для оценки степени дистанцирования показателей фитомассы по зональному и провинциальному градиентам.

База данных о фитомассе лесов дает уникальные возможности для анализа географии продуктивности лесных экосистем. Сформированная авторами база данных для естественных сосняков Северной Евразии состоит из 1260 определений (включая собственные) фракционного состава фитомассы, сопровождаемых их полной таксационной и частично лесотипологической характеристикой. Это наиболее представленная на сегодня база данных о фитомассе сосновых лесов. Обширный объем фактической

информации в силу действия закона больших чисел позволяет получить на основе применения математико-статистических методов достоверные результаты по биопродуктивности лесных экосистем.

Исходный массив данных о фитомассе сосны взят из 182 литературных источников и состоит из 1239 определений для сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. (провинции Средне-Европейская, Скандинавско-Русская, Восток Русской равнины, Уральская, Западно-Сибирская, Средне-Сибирская, Восточно-Сибирская, Забайкальская, Алтае-Саянская), 11 – для сосны черной *P. nigra* Arn. (Средне-Европейская провинция), 2 – для сосны приморской *P. pinaster* (Sol.) Ait. (Средне-Европейская провинция); 5 - для сосны крючковатой *P. hamata* D. Sosn. (Причерноморская провинция) и 3 – для сосны густоцветной *P. densiflora* S. et Z. (Япония).

Экспериментальные данные после нанесения на схему зонально-провинциального деления территории распределились по 31 региону. Схемы территориального распределения данных фитомассы и региональной кодировки блоковыми фиктивными переменными были даны в нашей предыдущей работе [4].

Поскольку совокупность показателей биопродуктивности в пределах региона сильно варьирует в связи с различиями возраста, добротности произрастания и морфологии полога, для обеспечения корректности сопоставлений анализируются не обезличенные совокупности наблюдений, а многофакторные уравнения вида (1), объясняющие изменчивость переводных коэффициентов фитомассы в пределах региона посредством включенных в них переменных и дополненные блоками фиктивных переменных ( $X_0, \dots, X_{30}$ ). За исходный (нулевой) принят уровень продуктивности *Pinus sylvestris* Средне-Европейской провинции, соответствующий подзоне широколиственных лесов. Каждый из остальных 30 регионов имеет в блоке одну единицу. Таким образом, уравнения (1) приведены к форме:

$$\ln (P_i/M) \text{ или } \ln P_i = f(X_0, \dots, X_{30}, \ln A, \ln H, \ln D, \ln N, \ln M), \quad (2)$$

и рассчитаны по стандартной программе модели фракционной структуры фитомассы (стволы, ветви, хвоя, корни, нижние ярусы). Результаты расчета, приведенные в нашей предыдущей работе [4], подтверждают их высокую адекватность фактическим данным ( $R^2 = 63-98\%$ ). В основе составленных ТБП использованы 125 ТХР сосняков Северной Евразии.

Таблица 1

Таблицы биологической продуктивности сосняков Уральской провинции, совмещенные с традиционными ТХР

А, лет	H, м	D, см	G, м <sup>2</sup> /га	N, тыс.экз/га	M, м <sup>3</sup> /га	Ф и т о м а с с а, т/га							
						P <sub>S</sub>	P <sub>SB</sub>	P <sub>F</sub>	P <sub>B</sub>	P <sub>убо</sub>	P <sub>R</sub>	P <sub>У</sub>	P <sub>гор</sub>
<i>Средняя тайга</i>													
1. Сомкнутые сосняки Среднего Урала (ТХР: Д. А. Милованович; цит. по: [5])													
Бонитет I													
20	8,4	7,0	19,2	4,990	86	34,4	4,7	6,47	6,4	47,3	10,6	2,83	60,7
40	16,4	13,8	28,8	1,925	228	91,8	8,7	7,15	10,6	109,6	25,5	3,55	138,6
60	21,7	20,6	35,0	1,050	348	141,4	11,3	7,67	14,6	163,7	38,7	4,30	206,7
80	25,4	27,0	38,4	0,671	438	179,5	12,9	7,96	17,9	205,4	49,0	5,11	259,5
100	27,8	32,9	40,4	0,475	501	207,0	13,9	8,18	20,9	236,1	57,1	5,99	299,2
120	29,6	38,0	41,6	0,367	548	228,0	14,6	8,26	23,3	259,6	63,1	6,85	329,5
140	30,8	42,0	42,2	0,305	583	244,2	15,2	8,29	25,1	277,6	67,8	7,78	353,2
160	31,6	45,0	42,6	0,268	604	254,6	15,5	8,20	26,1	288,9	70,7	8,67	368,3
180	32,1	46,9	42,8	0,248	615	260,8	15,7	8,02	26,4	295,2	72,1	9,52	376,8
200	32,3	48,0	42,8	0,236	620	264,5	15,8	7,84	26,5	298,8	72,9	10,46	382,2
220	32,5	48,8	42,7	0,228	624	267,6	15,9	7,64	26,3	301,5	73,2	11,34	386,1
240	32,7	49,4	42,4	0,221	624	268,9	15,9	7,42	26,0	302,3	73,0	12,20	387,5
Бонитет II													
20	7,0	5,8	18,0	6,813	68	27,4	4,2	6,02	5,4	38,8	9,1	3,07	51,0
40	13,8	11,6	25,2	2,384	171	69,6	7,3	6,38	8,7	84,7	20,7	3,87	109,3
60	18,8	17,1	31,8	1,384	280	114,6	9,9	6,96	12,0	133,6	32,8	4,64	171,0
80	22,2	21,7	35,6	0,963	370	152,5	11,9	7,34	14,8	174,6	42,9	5,57	223,1
100	24,4	26,0	37,9	0,714	434	180,2	13,1	7,60	17,3	205,1	50,8	6,56	262,5
120	26,0	30,1	39,3	0,552	478	199,8	13,9	7,72	19,3	226,8	56,6	7,51	290,9
140	27,2	34,0	40,2	0,443	510	214,6	14,4	7,79	21,2	243,6	61,1	8,43	313,1
160	27,9	37,2	40,8	0,375	533	225,7	14,8	7,85	22,7	256,3	64,7	9,46	330,4
180	28,3	39,5	40,9	0,334	546	232,5	15,0	7,81	23,7	264,0	66,8	10,50	341,3
200	28,6	41,2	41,0	0,308	554	237,2	15,1	7,69	24,1	269,0	68,1	11,48	348,6
220	28,8	42,0	40,9	0,295	559	240,6	15,2	7,53	24,1	272,2	68,7	12,51	353,4
240	29,0	42,7	40,8	0,285	562	243,1	15,3	7,35	24,0	274,5	68,8	13,44	356,7
Бонитет III													
20	5,9	5,2	16,6	7,815	55	22,4	3,7	5,89	5,1	33,4	8,1	3,44	44,9
40	11,4	10,2	23,0	2,815	131	53,8	6,2	6,03	7,8	67,6	17,6	4,26	89,5
60	16,0	14,8	28,6	1,663	223	92,0	8,7	6,54	10,6	109,1	28,2	5,15	142,5
80	19,1	18,8	33,2	1,196	296	122,9	10,4	6,78	12,8	142,5	36,8	5,90	185,2
100	21,2	22,4	35,9	0,911	356	148,8	11,7	7,06	14,9	170,8	44,3	6,90	222,0
120	22,9	25,8	37,4	0,715	401	168,7	12,6	7,18	16,7	192,6	49,9	7,88	250,4
140	23,8	28,6	38,4	0,598	430	182,0	13,2	7,27	18,1	207,4	54,1	8,93	270,4
160	24,5	30,8	38,8	0,521	452	192,5	13,6	7,28	19,2	219,0	57,1	10,04	286,1
180	24,9	32,7	39,1	0,466	469	200,8	14,0	7,31	20,1	228,2	59,7	11,21	299,1
200	25,2	34,3	39,2	0,424	482	207,4	14,2	7,30	20,9	235,6	61,7	12,41	309,7
220	25,4	35,4	39,3	0,399	491	212,3	14,4	7,24	21,3	240,8	63,0	13,56	317,4

Продолжение табл. 1

А, лет	H, м	D, см	G, м <sup>2</sup> /га	N, тыс.экз/га	M, м <sup>3</sup> /га	Фитомасса, т/га							
						P <sub>S</sub>	P <sub>SV</sub>	P <sub>F</sub>	P <sub>B</sub>	P <sub>abo</sub>	P <sub>R</sub>	P <sub>U</sub>	P <sub>tot</sub>
240	25,6	36,2	39,3	0,382	494	214,6	14,5	7,08	21,3	243,0	63,2	14,53	320,7

## 2. Сомкнутые сосняки Среднего Урала, не пройденные рубками (ТХР: [6])

Брусничный тип													
20	9,9	7,2	21,4	5,256	160	62,7	7,8	9,58	9,5	81,8	17,5	3,71	103,0
40	15,5	14,2	29,1	1,837	273	109,3	10,3	9,33	14,1	132,7	32,1	4,58	169,4
60	18,7	17,8	31,8	1,278	300	122,5	10,5	7,66	13,6	143,8	35,7	5,02	184,5
80	20,5	20,0	32,8	1,044	305	126,5	10,4	6,59	12,8	145,9	36,7	5,58	188,2
100	21,5	21,4	33,2	0,923	306	128,6	10,3	5,94	12,2	146,7	37,2	6,26	190,2
120	22,1	22,4	33,3	0,845	306	129,9	10,3	5,51	11,9	147,3	37,5	7,03	191,8

## Ягодниковый тип

20	7,8	7,0	22,0	5,717	100	39,8	5,5	8,02	8,0	55,8	13,0	3,20	72,0
40	14,2	12,9	31,4	2,402	239	96,1	9,5	8,58	12,4	117,1	29,2	4,19	150,5
60	18,3	17,8	35,5	1,427	336	136,7	11,7	8,58	15,2	160,5	40,6	5,20	206,3
80	21,0	21,9	37,2	0,988	385	158,5	12,5	8,17	16,6	183,3	46,7	6,03	236,0
100	22,7	25,3	37,9	0,754	406	168,9	12,7	7,72	17,4	194,0	49,8	6,81	250,6
120	23,8	28,2	38,2	0,612	415	174,3	12,7	7,34	17,8	199,4	51,5	7,59	258,5

## Южная тайга

## 1. Нормальные сосняки Центральной Башкирии (ТХР: А. В. Попова, П. М. Верхунов, 1986; цит. по : [7])

Разнотравный тип													
20	8,0	6,8	26,7	7,417	144	56,7	5,3	7,89	10,6	75,2	18,9	1,57	95,7
40	15,9	15,3	39,3	2,136	316	126,0	8,1	7,58	16,4	150,0	38,8	1,66	190,4
60	20,0	21,6	42,6	1,164	402	162,7	9,1	7,24	19,5	189,4	50,1	2,01	241,6
80	22,4	27,2	44,2	0,760	453	185,6	9,6	7,10	22,3	215,0	58,1	2,41	275,5
100	23,8	31,6	45,1	0,575	484	200,4	9,9	6,96	24,2	231,6	63,6	2,83	298,0
120	25,0	35,6	45,6	0,458	508	212,2	10,2	6,82	25,8	244,8	67,7	3,22	315,7
140	25,8	39,2	46,0	0,381	526	221,4	10,3	6,73	27,3	255,4	71,1	3,63	330,2

## 2. Высокоплотные сосняки Камско-Чусовского Предуралья, Пермская область (ТХР: [8])

20	7,7	7,9	22,0	4,490	98	39,1	3,8	6,39	9,3	54,8	13,9	1,41	70,1
40	15,1	17,1	31,2	1,355	232	93,5	6,2	6,66	15,4	115,6	30,6	1,68	147,8
60	19,1	24,7	34,0	0,709	309	126,2	7,2	6,68	19,4	152,3	41,5	2,11	195,9
80	22,1	30,4	35,5	0,489	366	151,1	7,9	6,51	21,7	179,3	49,0	2,51	230,8
100	24,5	33,7	36,4	0,408	411	171,1	8,5	6,19	22,3	199,6	53,9	2,87	256,4
120	26,0	36,0	37,1	0,364	441	185,1	8,9	5,95	22,6	213,7	57,3	3,26	274,2

## 3. Модальные сосняки Камско-Чусовского Предуралья, Пермская область (ТХР: [8])

20	6,9	8,6	14,8	2,548	60	24,4	2,5	5,20	8,0	37,6	9,4	1,53	48,5
40	14,1	17,8	20,8	0,836	150	61,4	4,3	5,31	12,6	79,3	21,1	1,81	102,2
60	18,8	24,9	22,5	0,462	204	84,5	5,0	5,01	14,6	104,1	27,8	2,16	134,1
80	22,1	30,4	23,5	0,324	245	102,5	5,6	4,82	16,0	123,3	32,8	2,54	158,7
100	24,5	33,7	24,0	0,269	271	114,5	5,9	4,53	16,2	135,2	35,5	2,89	173,6
120	26,0	36,0	23,9	0,235	288	122,6	6,1	4,33	16,4	143,3	37,4	3,31	184,0

Окончание табл. 1

А, лет	H, м	D, см	G, м <sup>2</sup> /га	N, тыс.экз/га	M, м <sup>3</sup> /га	Фитомасса, т/га							
						P <sub>S</sub>	P <sub>SB</sub>	P <sub>F</sub>	P <sub>B</sub>	P <sub>abo</sub>	P <sub>R</sub>	P <sub>U</sub>	P <sub>tot</sub>
4. Сосняки Припышминских боров Среднего Урала (ТХР: Чудников, Козловский: цит. по : [9])													
Бонитет I													
20	7,2	6,3	22,9	7,347	85	34,1	3,5	5,36	7,0	46,5	11,8	1,27	59,5
40	15,5	12,3	35,5	2,988	261	104,8	7,1	5,96	11,4	122,2	30,6	1,54	154,3
60	21,1	18,9	42,3	1,508	415	167,8	9,4	6,54	16,3	190,6	47,7	1,91	240,3
80	25,5	25,2	45,5	0,912	533	217,2	10,8	6,73	20,0	243,9	60,6	2,26	306,8
100	29,1	30,6	47,0	0,669	624	256,1	11,8	6,64	22,3	285,0	69,9	2,47	357,4
120	32,0	35,0	47,6	0,495	693	286,4	12,5	6,60	24,2	317,2	76,4	2,91	396,5
140	33,7	38,4	47,6	0,411	727	302,6	12,8	6,43	25,2	334,2	80,0	3,26	417,5
Бонитет II													
20	5,6	5,2	20,4	9,604	62	25,1	2,9	5,09	6,1	36,3	9,8	1,48	47,6
40	13,0	10,6	29,8	3,377	193	78,3	5,9	5,39	9,7	93,4	24,7	1,74	119,8
60	18,1	15,6	35,7	1,868	314	128,2	7,9	5,74	13,0	146,9	38,2	2,11	187,3
80	22,1	20,4	38,4	1,175	407	167,4	9,2	5,83	15,6	188,8	48,4	2,48	239,7
100	25,5	24,9	40,1	0,824	486	201,2	10,1	5,84	17,7	224,7	56,5	2,82	284,1
120	28,1	28,5	41,0	0,643	545	227,1	10,8	5,77	19,1	252,0	62,3	3,17	317,4
140	29,6	31,3	41,3	0,537	577	242,1	11,1	5,67	20,0	267,8	65,8	3,54	337,1
5. Сомкнутые сосняки Среднего Урала, не пройденные рубками (ТХР: [6])													
Ягодниковый тип													
20	7,3	6,9	21,6	5,777	126	49,9	4,8	8,28	11,3	69,5	17,8	1,97	89,3
40	16,1	13,9	34,4	2,267	286	114,4	7,5	6,65	13,6	134,7	33,8	1,67	170,1
60	20,9	20,8	36,4	1,071	367	149,0	8,4	6,37	16,7	172,1	43,7	2,01	217,8
80	23,9	26,3	37,0	0,681	409	168,2	8,7	6,05	18,5	192,8	49,4	2,36	244,5
100	25,8	30,1	37,2	0,523	432	179,6	8,9	5,72	19,2	204,5	52,7	2,71	259,9
120	27,2	32,6	37,2	0,446	446	187,1	9,0	5,39	19,3	211,8	54,4	3,04	269,2
Разнотравный тип													
20	7,3	6,2	16,0	5,300	81	32,5	3,3	5,44	7,0	44,9	11,1	1,70	57,7
40	16,5	13,9	33,3	2,194	265	106,3	7,0	6,02	12,3	124,6	30,7	1,54	156,9
60	21,8	22,0	36,9	0,971	405	163,9	8,9	6,81	18,4	189,1	47,6	2,07	238,8
80	24,8	28,5	37,3	0,585	441	180,9	9,1	6,45	20,6	208,0	53,1	2,40	263,5
100	26,5	33,1	37,3	0,433	447	185,6	9,0	5,99	21,2	212,8	55,0	2,71	270,5
120	27,4	36,0	37,3	0,366	448	187,9	8,9	5,63	21,3	214,8	55,9	3,04	273,8

Примечание. P<sub>abo</sub> - надземная и P<sub>tot</sub> - общая (надземная и подземная) фитомасса, т/га.

Регрессионные модели (2) при соответствующих значениях фиктивных переменных протабулированы по значениям A, N, H, D и M упомянутых ТХР и в результате получено 125 ТБП сосняков. Некоторые из них для двух подзон Уральской провинции приведены в табл. 1.

При изложенном способе составления таблиц биопродуктивности региональные различия запасов фитомассы раскладываются на две состав-

ляющие: с помощью уравнений (2) оценивается степень региональных различий в структуре фитомассы при условии равенства таксационных показателей, а ТХР, в свою очередь, характеризуют региональные особенности возрастной динамики последних.

Когда речь заходит о выявлении какой-либо природной закономерности, то вполне правомерно ставится вопрос о статистической достоверности связи исследуемых признаков, показателей, величин. В нашем случае предполагается анализ показателей надземной и общей фитомассы (биопродуктивности) той или иной лесообразующей породы в зависимости от некоторых географических характеристик территории Северной Евразии, которые можно было бы выразить числом и мерой.

Определяющее влияние на характер лесной растительности (при соответствующем вкладе также эдафических и биотических факторов) оказывает одна из основных характеристик географического ландшафта - *климат*, понятие которого непрерывно эволюционирует со времен М.В. Ломоносова: А.А. Борисов [10] приводит перечень из 54 его определений. Сложность с понятием климата находит выражение в достаточно высокой неопределенности его количественных характеристик, поскольку «в отличие от ряда других элементов географического ландшафта, климат не является материальным телом» [11. С. 289].

Основные изменения растительного покрова происходят не только в широтном направлении вследствие изменения интенсивности солнечной радиации, но и в меридиональном (от морских побережий внутрь континента) в результате изменения континентальности климата [12, 13]. Известно более 20 способов количественной оценки степени континентальности. Перечислим лишь некоторые из них, наиболее приемлемые для севера Евразийского материка:

- формула Ценкера (цит. по: [14], в % от 8 до 100

$$K = (A / \varphi) 100; \quad (3)$$

- то же, Горчинского [15], в % от 0 до 100

$$K = (1,7A / \sin \varphi) - 20,4; \quad (4)$$

- то же, Конрада [16], в % от 0 до 100

$$K = [1,7A / \sin(\varphi + 10^\circ)] - 14; \quad (5)$$

- то же, Хромова [17], в % от 0 до 92

$$K = [(A - 5,4 \sin \varphi) / A] 100, \quad (6)$$

где  $A$  – годовая амплитуда температуры;

$\varphi$  – географическая широта.

Большинство формул, предназначенных для расчета индекса континентальности климата, различаются главным образом разными вкладами и соотношениями основных двух составляющих – географической широты и амплитуды температур самого теплого и самого холодного месяцев. Иными словами, эти формулы включают годовую амплитуду температуры с поправкой на географическую широту, т.е. с косвенным учетом природной зональности. Практически все схемы изолиний континентальности климата, построенные для Северной Евразии, имеют одно общее свойство: показывают максимальное значение (полнос) континентальности в районе Якутска и верховий Яны с постепенным снижением как в западном (к Атлантике), так и в восточном (к Тихоокеанскому побережью) направлениях.

Как каждая таблица биопродуктивности в отдельности, так и их совокупность в пределах региона, представлены довольно широкими, но в то же время чрезвычайно различающимися по размаху диапазонами условий произрастания, выраженными либо классами бонитета, либо типами леса. Поскольку диапазон локальных флуктуаций производительности насаждений, опосредованный в региональных наборах ТБП классами бонитета или типами леса, превышает таковой, обусловленный индексом континентальности климата, все таблицы подразделяются на две категории. В первую категорию вошли ТБП нормальных (сомкнутых), а во вторую – ТБП модальных древостоев. В каждой из названных категорий таблиц выделяются два уровня: сравнительно лучших (I) и сравнительно худших (II) условий произрастания. Это подразделение носит условный характер и имеет целью частичное вычленение вклада индекса континентальности в общее варьирование нормативных показателей фитомассы спелых насаждений путем анализа последних в более узких диапазонах условий произрастания, чем они представлены в совокупности таблиц.

Более дробное их деление по производительности в целях получения устойчивых зависимостей фитомассы каждого из упомянутых уровней от индекса континентальности пока не представляется возможным, поскольку далеко не все регионы представлены исходными ТХР, составленными для полного диапазона упомянутых флуктуаций, или спектров типов леса.

Мы предприняли попытку схематического анализа географического распределения нормативных показателей фитомассы сосновых насаждений по градиенту континентальности климата. Под нормативными показателями понимаются значения надземной  $P_{abm}$  т/га, и общей  $P_{tot}$  т/га, фитомассы насаждений, взятые из ТБП в возрасте 100 лет. Эти показатели проанализированы в связи с индексом континентальности  $IC$ , снятым со схе-



мы ее изолиний – изоконт (рис. 1), построенной А.А. Борисовым [14] по формуле Ценкера (3).

С учетом конфигурации поля распределения анализируемых данных в координатах *фитомасса - индекс континентальности* принята следующая структура уравнения связи:

$$\ln P_{abo} \text{ или } \ln P_{tot} = a_0 + a_1 (\ln IC) - a_2 (\ln IC)^2 . \quad (7)$$

характеристика констант которого приведена в табл. 2, а результаты табулирования (7) – в табл. 3. Положение расчетных кривых относительно поля распределения нормативных (табличных) показателей фитомассы в возрасте 100 лет показано на рис. 2. Уравнения объясняют 42-54% общей изменчивости нормативных значений для сравнительно лучших и 41-67% - для сравнительно худших условий произрастания.

Таблица 2

Характеристика уравнений (7), описывающих зависимость нормативных показателей надземной и общей фитомассы спелых естественных сосняков от индекса континентальности климата

Зависимые переменные	Константы и независимые переменные уравнений (7)			R <sup>2</sup>
	a <sub>0</sub>	a <sub>1</sub> (ln IC)	a <sub>2</sub> (ln IC) <sup>2</sup>	
<i>Нормальные естественные сосняки (А)</i>				
Сравнительно лучшие условия произрастания				
ln P <sub>abo</sub> , т/га	-1,5104	4,1771	-0,6051	0,505
ln P <sub>tot</sub> , т/га	0,8006	3,1201	-0,4724	0,537
Сравнительно худшие условия произрастания				
ln P <sub>abo</sub> , т/га	1,2929	2,3317	-0,3604	0,413
ln P <sub>tot</sub> , т/га	0,8584	2,7544	-0,4234	0,488
<i>Модальные естественные сосняки (Б)</i>				
Сравнительно лучшие условия произрастания				
ln P <sub>abo</sub> , т/га	-4,0647	5,1786	-0,7213	0,418
ln P <sub>tot</sub> , т/га	-0,9161	3,6990	-0,5352	0,418
Сравнительно худшие условия произрастания				
ln P <sub>abo</sub> , т/га	-0,4741	3,2264	-0,4959	0,533
ln P <sub>tot</sub> , т/га	2,5286	1,8549	-0,3253	0,668

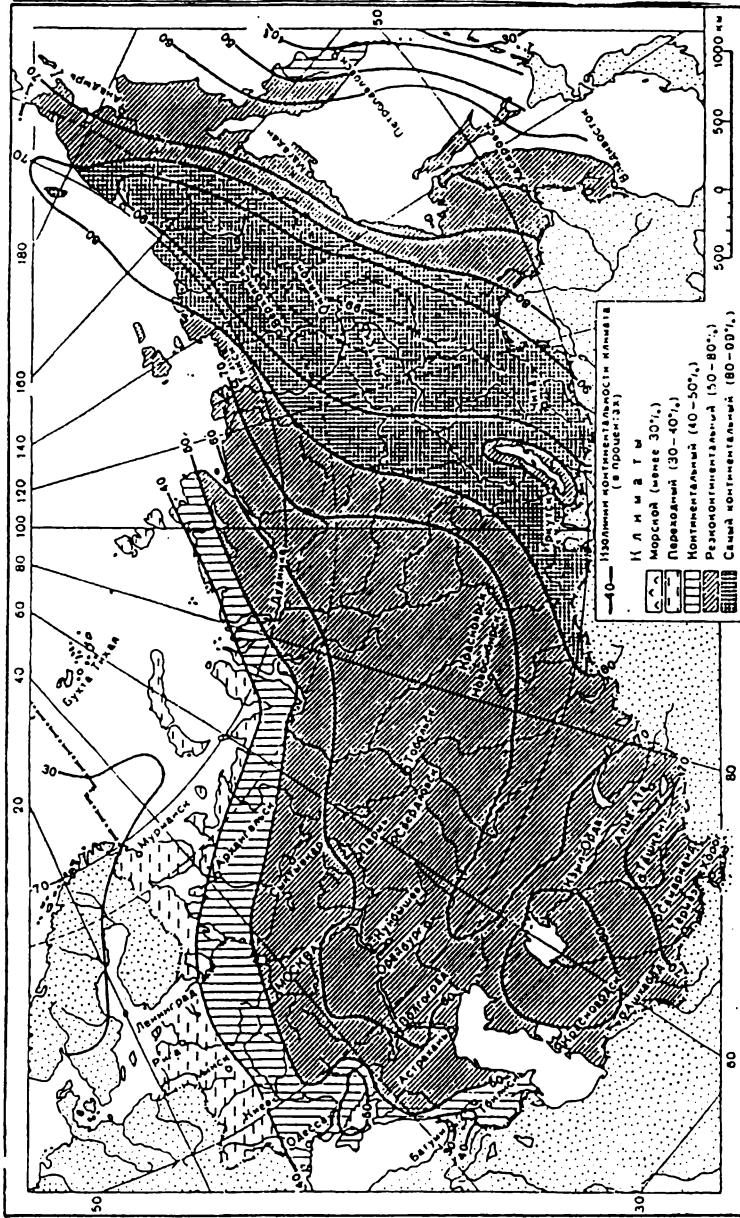


Рис. 1. Схема изолиний континентальности климата в Евразии, рассчитанных А. А. Борисовым [14] по упрощенной формуле Ценкера (3). Изоконты указаны в процентах

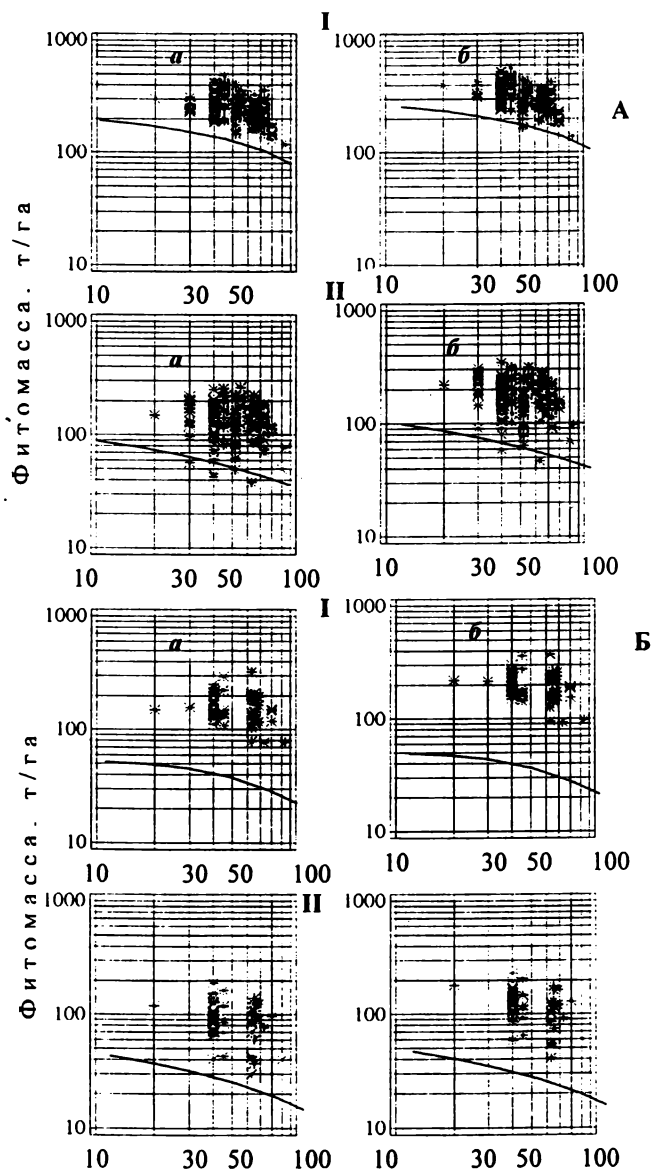


Рис. 2. Связь показателей надземной (*a*) и общей (*б*) фитомассы, взятой из таблиц биопродуктивности нормальных (А) и модальных (Б) естественных сосняков в возрасте 100 лет в разных регионах Северной Евразии для сравнительно лучших (I) и сравнительно худших (II) условий произрастания с индексом континентальности климата, по Ценкеру (3)

Таблица 3

Соотношение нормативных показателей подземной и надземной фитомассы спелых естественных сосняков в зависимости от индекса континентальности

Фракции фитомассы	Индекс континентальности							
	30	40	50	60	70	80	90	100
<i>Нормальные естественные сосняки (А)</i>								
Сравнительно лучшие условия произрастания								
Надземная $P_{abo}$ , т/га	298	288	262	232	203	177	153	133
Подземная $P_R$ , т/га	85	70	60	54	49	45	42	39
Отношение $P_R : P_{abo}$	0,29	0,24	0,23	0,23	0,24	0,25	0,27	0,29
Сравнительно худшие условия произрастания								
Надземная $P_{abo}$ , т/га	157	147	134	121	109	98	89	80
Подземная $P_R$ , т/га	50	45	39	33	28	23	19	16
Отношение $P_R : P_{abo}$	0,32	0,31	0,29	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19
<i>Модальные естественные сосняки (Б)</i>								
Сравнительно лучшие условия произрастания								
Надземная $P_{abo}$ , т/га	182	185	173	155	137	119	103	89
Подземная $P_R$ , т/га	56	47	40	37	34	32	31	29
Отношение $P_R : P_{abo}$	0,31	0,25	0,23	0,24	0,25	0,27	0,30	0,33
Сравнительно худшие условия произрастания								
Надземная $P_{abo}$ , т/га	117	108	95	83	72	63	55	48
Подземная $P_R$ , т/га	43	33	27	23	21	19	18	17
Отношение $P_R : P_{abo}$	0,37	0,30	0,28	0,28	0,29	0,31	0,33	0,36

Надземная фитомасса 100-летних сосняков снижается в направлении от Западной Европы до Забайкалья по мере повышения индекса континентальности климата, а в Японии при пониженном  $IC$  вновь возрастает. В нормальных сосняках это снижение составляет в первом случае соответственно с 300 до 150 т/га, а во втором – от 160 до 90 т/га, в модальных – соответственно со 180 до 100 и со 120 до 55 т/га.

Таким образом, в результате создания базы данных о фитомассе естественных сосняков Северной Евразии в количестве 1260 определений и применения рекурсивно-блочного метода моделирования ее запасов впервые создан комплект из 125 ТБП, совмещенных с традиционными ТХР. Впервые установлено снижение фитомассы в ТБП естественных сосняков в направлении от атлантического и тихоокеанского побережий к полюсу континентальности в районе Якутска.

*Работа поддержана РФФИ (гранты № 00-05-64532 и 01-04-96424).*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Усольцев В.А. Формирование банков данных о фитомассе лесов. - Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1998. - 541 с.
2. Усольцев В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: база данных и география. - Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2001.- 708 с.
3. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. - М.: Статистика, 1973. - 392 с.
4. Усольцев В. А. и др. Фитомасса естественных сосняков Северной Евразии: база данных и география // Леса Урала и хоз-во в них. - Екатеринбург: УГЛТУ, 2002.- Вып. 22. - С. 88 -101.
5. Козловский В.Б., Павлов В.М. Ход роста основных лесообразующих пород СССР.- М.: Лесн. пром-сть, 1967.- 327 с.
6. Залесов С.В., Лобанов А.Н., Луганский Н.А. Рост и производительность сосняков искусственного и естественного происхождения. - Екатеринбург: УГЛТУ, 2002.- 112 с.
7. Лесотаксационный справочник для лесов Урала. - М.: Госкомлес СССР, 1991. - 483 с.
8. Попова А.В. Особенности хода роста сосняков и ельников естественного и искусственного происхождения Камско-Чусовского лесорастительного района Пермской области: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. - Воронеж: ВЛТИ, 1973. - 25 с.
9. Типы леса и таблицы хода роста насаждений сосны, ели и березы Среднего Урала. - Свердловск: Свердловская аэрофотолесостроительная экспедиция В/О «Леспроект», 1955. - 39 с.
10. Борисов А.А. Определение понятия «климат» в связи с развитием климатологии в Советском Союзе // Изв. ВГО. 1952. Т. 84. Вып. 4. С. 391-398.
11. Хромов С.П. Климат, макроклимат, местный климат, микроклимат // Изв. ВГО. 1952. Т. 84. № 3. С. 289-298.
12. Курнаев С.Ф. Лесорастительное районирование СССР. - М.: Наука, 1973. - 203 с.
13. Назимова Д.И. Климатическая ординация лесных экосистем как основа их классификации // Лесоведение. 1995. № 4. С. 63-73.
14. Борисов А.А. Климаты СССР. - М.: Просвещение, 1967. - 296 с.
15. Gorczynski W. Sur le calcul du degré du continentalisme et son application dans la climatologie // Geogr. Annaler. 1920. N. 2.
16. Conrad V. Usual formulas of continentality and their limits of validity // Trans. Amer. Geophys. Union. 1946. Vol. 27. P. 663-664.
17. Хромов С.П. К вопросу о континентальности климата // Изв. ВГО. 1957. Т. 89. № 3. С. 221-225.