

М.С. Князев, Л.В. Марина, Л.М. Прозорова и др. – М.: Наука, 1994. – 525 с.

4. Родин Л.Е. Методические указания к изучению динамики и биологического кру-

говорота в фитоценозах / Л.Е. Родин, Н.П. Ремезов, Н.И. Базилевич. – Л.: Наука, 1968. – 144 с.



УДК 630\*231

А.А. Маленко,  
В.А. Усольцев

## РАЗНОГУСТОТНЫЕ КУЛЬТУРЫ СОСНЫ В ЛЕНТОЧНЫХ БОРАХ АЛТАЙСКОГО КРАЯ: ФИТОМАССА И ОШИБКИ ЕЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

**Ключевые слова:** лесные культуры, надземная фитомасса, абсолютно сухое состояние, фракционный состав, густота посадки, текущая густота.

### Введение

Вопрос густоты посадки лесных культур обсуждается с середины XVIII века и до настоящего времени остается одним из наиболее важных и в то же время неопределенных в лесоводстве [1]. В нашей предыдущей работе дан обзор густотных экспериментов сосны обыкновенной, заложенных в течение столетия в разных природных зонах [2]. Установлено, что в течение первых 15-29 лет после посадки, т.е. до смыкания крон и корней, запас насаждения одного и того же возраста пропорционален густоте посадки. Затем с определенного возраста начинается перегруппировка густотных вариантов по продуктивности, однако имеющихся экспериментальных данных по разногустотным культурам недостаточно для конкретизации возраста начала названной перегруппировки и для оптимизации начальной густоты посадки по критериям биологической продуктивности и устойчивости. Поэтому необходима приемлемая исходная база данных по разногустотным экспериментам, заложенным в культурах в разных условиях произрастания.

Определения фитомассы имеют ошибку. Несмотря на очевидные преимущества в точности и логику многофакторного регрессионного моделирования фитомассы, в литературе продолжают попытки применения ее парной связи с диаметром ствола на основе аллометрической (степенной) функции в качестве «всеобщей»

модели. Например, она рекомендовалась к использованию на региональном уровне в качестве унифицированной зависимости для нескольких десятков видов древесных, кустарниковых и травянистых растений на том основании, что объясняла 99,7% изменчивости надземной фитомассы (Freedman, 1984). Но эта же зависимость лишь для одной древесной породы – сосны обыкновенной, произрастающей в Финляндии и Испании, дает 8-кратное расхождение (Lehtonen, Vayred, 2002). Выводы исследователей о возможности построения «всеобщих» моделей фитомассы, применимых повсеместно на локальном уровне, противоречивы и неопределены независимо от того, включена в модель одна независимая переменная – диаметр ствола или таких переменных несколько – диаметр и высота ствола, возраст, длина кроны и др.

Т. Куниа (Cunia, 1987) выделяет четыре составных части ошибки модели при оценке фитомассы дерева: 1 – ошибка выборки; 2 – ошибка измерения; 3 – ошибка структуры статистической модели фитомассы и 4 – ошибка применения модели. Последняя связана с расхождением между истинными аллометрическими соотношениями в генеральной совокупности деревьев, для которой рассчитаны параметры модели, и теми соотношениями, которые имеют место в другой генеральной совокупности, к которой модель применяется в данный момент. Наибольший вклад в совокупную ошибку вносят два ее последних источника – структура модели и применение модели. Поэтому сегодня при расчетах углеродного пула лесов уделяется большое внимание выбору оп-

тимальной структуры модели и возможности применения «всеобщих» моделей фитомассы деревьев.

По мнению зарубежных «математизированных» экологов, описание природных объектов лежит за пределами евклидовой геометрии (Mandelbrot, 1983), «живой мир управляется законами, основанными на фрактальной геометрии и размерах организмов», и хотя лес – очень сложная система, «в основе этой сложности лежат очень простые правила» (Whitfield, 2001).

Согласно теоретической модели Г. Веста (West et al., 1999), представляющей собой симбиоз теории фракталов (Mandelbrot, 1983) и пайп-модели (Shinozaki et al., 1964), надземная фитомасса дерева связана с диаметром ствола аллометрическим уравнением при среднем значении аллометрической константы  $8/3$  (или  $\approx 2,67$ ), которое Г. Вест считает независимым от структурных и морфологических характеристик исследуемых деревьев.

Цель настоящей работы – пополнить упомянутую базу данных по разнототным экспериментам новыми материалами и на наших экспериментальных данных проанализировать точность «всеобщей» модели фитомассы, включая модель Г. Веста, в сравнении с локальными моделями.

#### Объекты и методы исследований

Исследования проведены в разнототных культурах сосны обыкновенной, заложенных в 1935 г. В.Е. Смирновым в Лебяжинском лесхозе Алтайского края ( $52^{\circ}$  с.ш.,  $77^{\circ}52'$  в.д.). Климат района расположения лесхоза резко континентальный: суровая зима, жаркое лето, короткие переходные сезоны, поздние ве-

сенние и ранние осенние заморозки, короткий безморозный период, резкие колебания температур. Среднегодовая температура воздуха составляет  $+2,7^{\circ}\text{C}$ , максимальная –  $+39,1^{\circ}\text{C}$ , минимальная –  $-43,4^{\circ}\text{C}$ . Среднее количество осадков в год – 350 мм. Продолжительность вегетационного периода 160 дней, последние заморозки весной отмечены 15 июня, а первые заморозки – 25 августа. Направление преобладающих ветров Ю-З, относительная влажность воздуха – 60%.

Культуры были заложены в типе леса сухой бор по среднебугристому рельефу, наиболее распространенному в средней части ленточных боров, на сплошной гари после пожара 1907 г. Посадка произведена в апреле полторалетними сеянцами сосны, выращенными в питомнике Лебяжинской ЛОС. В культурах осуществлялся обычный уход за почвой: ручной – в рядах и конный – в междурядьях. В возрасте 23 года культуры имели удовлетворительное состояние, под их пологом сформировалась лесная обстановка [3]. К настоящему времени культуры достигли возраста 69-73 года.

Исследования проведены на трех пробных площадях, расположенных на плоской вершине небольшой дюны с общим слабым уклоном в восточном направлении, рельеф слабо волнистый (табл. 1). Пробная площадь № 3 имеет превышение рельефа на 2-3 м, и посадка на этом участке произведена на 4 года позднее относительно двух других. Грунтовая вода находится на глубине 5-6 м, малодоступна для корней сосны. В этих условиях корневая система сосны пользуется смешанным (атмосферно-грунтовым) увлажнением. Самосев и травяной покров под пологом полностью отсутствуют.

Таблица 1

Таксационная характеристика культур сосны различной густоты

№ пробной площади	Возраст, лет	Густота, тыс. экз/га		Средние		Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup> /га	Полнота	Класс бонитета	Запас, м <sup>3</sup> /га	
		начальная	текущая	диаметр, см	высота, м				живых деревьев	отмерших деревьев
1	73	20, 0	5,343	11,8	15,3	58,5	1,7	IV	424,5	40,8
2	73	10, 0	3,452	12,1	15,4	39,9	1,2	IV	309,4	8,9
3	69	3,6	1,371	17,2	16,8	31,9	0,9	III	259,4	2,4

Почва слабоподзолистая, маломощная песчаная с невыраженным профилем;

подготовлена под посадку культур в августе 1934 г. сплошной ранней зяблевой па-

хотой с боронованием ранней весной 1935 г. После боронования конным однолемешным плугом вдоль участка в направлении с запада на восток были нарезаны борозды глубиной 10-12 см. Расстояние между бороздами соответствовало ширине междурядий в культурах, которое составило на пробных площадях № 1-3, соответственно, 1, 2 и 4 м, а между саженцами в ряду – соответственно, 0,5; 0,5 и 0,7 м.

Закладка разногустотных насаждений имеет целью оптимизацию начальной густоты посадки и в конечном итоге –

максимизацию их биологической продуктивности, выраженной запасом фитомассы в тоннах на 1 га.

Пробные площади заложены по ОСТ 56-69-83. Надземная фитомасса по полному фракционному составу определена по модельным деревьям, взятым в диапазоне ступеней толщины, с использованием методики А.А. Молчанова и В.В. Смирнова [4]. От каждой фракции взяты навески для определения содержания сухого вещества, по значениям которого фитомасса в свежем состоянии, полученная взвешиванием, пересчитана на абсолютно сухое состояние (табл. 2). Средние показатели содержания сухого вещества показаны в таблице 3.

Таблица 2

Фитомасса модельных деревьев в абсолютно сухом состоянии

№	Диаметр на высоте 1,3 м	Высота дерева, м	Фитомасса дерева, кг				
			хвоя	ветви живые	древесина ствола	кора ствола	итого
Пробная площадь № 1							
1	4	7,3	0,342	0,407	2,03	0,358	3,14
2	8	12,5	0,489	0,494	14,2	1,34	16,5
3	10	13,9	1,14	1,046	22,0	1,36	25,5
4	12	15,0	1,65	1,45	27,8	1,88	32,8
5	16	16,4	4,89	4,28	58,1	5,26	72,5
6	18	17,8	6,18	5,98	89,4	6,29	107,8
7	23	18,8	9,38	10,8	133,3	9,16	162,6
Пробная площадь № 2							
8	5	8,0	0,342	0,375	2,30	0,416	3,43
9	8	14,2	0,501	0,62	15,0	1,93	18,05
10	12	15,6	1,99	1,914	32,6	2,62	39,1
11	14	16,3	3,27	3,40	45,0	3,48	55,2
12	18	17,7	7,22	5,74	93,3	5,81	112,1
13	22	18,3	9,28	9,51	118,9	9,45	147,1
14	28	19,8	12,98	17,59	191,3	13,69	235,6
Пробная площадь № 3							
15	5	6,16	0,199	0,268	2,49	0,607	3,56
16	8	10,26	1,003	0,836	10,46	1,21	13,51
17	14	16,6	3,11	3,34	50,84	4,11	61,4
18	19	17,2	6,82	6,85	84,3	7,28	105,3
19	22	18,2	11,00	11,79	124,3	9,81	156,9
20	25	18,6	13,78	18,04	158,5	12,5	202,8
21	28	18,6	16,66	24,70	197,4	15,9	254,7

Таблица 3

Средние показатели содержания сухого вещества в фракциях фитомассы, %

Фракции фитомассы			
хвоя	ветви живые	древесина ствола	кора ствола
Пробная площадь № 1			
49,5±0,82	52,1±2,79	50,6±2,67	49,2±2,18
Пробная площадь № 2			
49,7±0,89	50,8±1,59	51,8±2,10	48,1±1,23
Пробная площадь № 3			
51,2±0,77	51,5±3,08	51,3±2,35	51,4±1,80

Обработка материала выполнена по стандартным программам статистического и регрессионного анализа.

**Результаты и их обсуждение**

Полученные фактические данные фитомассы модельных деревьев используются далее для получения значений ее запасов на 1 га разнотравных насаждений. Поскольку модельные деревья на каждой пробной площади взяты в диапазоне их варьирования в древостоях, расчет показателей фитомассы на 1 га древостоя в таких случаях обычно выполняется регрессионным методом, т.е. рассчитывается зависимость фитомассы дерева от его таксационного диаметра; затем по данным перечета деревьев по ступеням толщины путем табулирования уравнения по значениям ступеней с последующим умножением на число деревьев в каждой и суммированием итоговых значений получаем значение фитомассы на пробной площади и на 1 га древостоя.

В настоящее время общепризнано, что наиболее информативной переменной при оценке фитомассы дерева является диаметр ствола на высоте груди, а лучшей

формой их связи – аллометрическая (степенная) функция, имеющая биологическое обоснование. Путем логарифмирования она приводится к линейному виду. Подобные уравнения мы рассчитали для древостоев каждой пробной площади:

$$\ln P_i = a_0 + a_1 \ln D, \quad (1)$$

где  $P_i$  – фитомасса  $i$ -той фракции (соответственно  $P_F$ ,  $P_{BR}$ ,  $P_{ST}$ ,  $P_{BAR}$  и  $P_{TOT}$  для хвои, ветвей, древесины ствола, коры ствола и общей надземной) в абсолютно сухом состоянии, кг;

$D$  – диаметр на высоте груди, см.

Полученные уравнения объясняют от 87 до 99% изменчивости той или иной фракции фитомассы (табл. 4).

Аллометрическая константа  $a_1$  в уравнении (1) варьирует от 2,33 до 2,45, что существенно ниже соответствующей константы в теоретической модели Г. Веста (2,67). В предыдущей работе (Усольцев и др., 2006) рассчитали по методу Дж. Чейва (Chave et al., 2001) величину свободного члена аллометрического уравнения, и теоретическая модель Г. Веста получила следующее выражение:

$$\ln P_{TOT} = -3,145 + 2,67 \ln D. \quad (2)$$

Таблица 4

Характеристика уравнений (1), (3) и (6)

Густота древостоя, экз/га	Константы и $R^2$	Обозначения фракций фитомассы				
		$P_F$	$P_{BR}$	$P_{ST}$	$P_{BAR}$	$P_{TOT}$
Уравнение (1)						
Пробная площадь № 1						
5343	$a_0$	-4,466	-4,306	-2,472	-3,779	-1,992
	$a_1$	2,097	2,028	2,377	1,899	2,268
	$R^2$	0,915	0,881	0,993	0,967	0,996
Пробная площадь № 2						
3452	$a_0$	-5,111	-5,024	-2,808	-3,740	-2,367
	$a_1$	2,353	2,342	2,486	1,919	2,402
	$R^2$	0,966	0,982	0,974	0,971	0,984
Пробная площадь № 3						
1371	$a_0$	-5,504	-5,591	-2,973	-3,699	-2,582
	$a_1$	2,527	2,608	2,517	1,933	2,465
	$R^2$	0,993	0,996	0,992	0,997	0,996
Уравнение (3)						
-	$a_0$	-10,719	-12,007	-5,492	-3,146	-5,529
	$a_1$	4,681	5,502	3,200	2,047	3,429
	$a_2$	0,714	0,881	0,344	-0,075	0,403
	$a_3$	-0,295	-0,398	-0,093	-0,016	-0,132
	$R^2$	0,965	0,964	0,986	0,980	0,992
Уравнение (6)						
-	$a_0$	-3,228	-1,201	-3,337	-2,859	-2,213
	$a_1$	1,435	0,341	2,154	1,275	1,807
	$a_2$	-0,128	-0,248	0,166	-0,0257	0,101
	$a_3$	0,0596	0,124	-0,0277	0,0283	-0,0037
	$R^2$	0,966	0,979	0,996	0,979	0,996

Для суждения о возможности или невозможности использования модели фитомассы деревьев в качестве «всеобщей» наличия высокого коэффициента детерминации недостаточно (Усольцев и др., 2006), и модель должна быть верифицирована на уровне не только деревьев, но и конкретных древостоев в локальных условиях. Но прежде, чем оценивать фитомассу на 1 га по моделям (1) и (2) (модели первого уровня, включающие в себя лишь одну независимую переменную), необходимо рассчитать более «продвинутые» модели второго уровня, включающие в себя две независимые переменные.

Анализ констант уравнений (1) в таблице 4 показывает, что для основных фракций фитомассы (хвоя, ветви живые, древесина ствола) значения  $a_0$  снижаются, а значения  $a_1$  возрастают по мере снижения густоты древостоя. Это означает, что линия регрессии  $\ln P_i \sim \ln D$  при переходе от менее густого древостоя к наиболее густому разворачивается в координатных осях по часовой стрелке. Это дает нам основание включить в уравнение (1) кроме диаметра  $D$  еще одну переменную – густоту древостоя  $N$ , экз/га:

$$\ln P_i = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln N + a_3 \ln D \ln N, \quad (3)$$

характеристика которого приведена в таблице 4. В уравнении (2) синергизм  $\ln D \ln N$  учитывает упомянутый «разворот» линии регрессии в координатных осях.

В нашем исследовании при перечете деревьев на трех пробных площадях для каждой ступени толщины учтено не только число деревьев, но и средняя высота дерева в ступени толщины. Поэтому значения фитомассы на 1 га можно получить путем расчета и табулирования уравнений не по одному лишь диаметру, а по двум показателям одновременно – диаметру и высоте дерева.

В пределах одного древостоя диаметры и высоты деревьев обычно настолько тесно коррелированы, что один из названных показателей (обычно это высота дерева) оказывается статистически не значимым, и расчет уравнения и на его основе фитомассы на 1 га выполняется только по диаметру. Однако наши три объекта представлены разногустотными древостоями, каждый из которых имеет специфичное соотношение диаметров и высот.

Для оценки степени достоверности различия названного соотношения между тремя разногустотными древостоями мы рассчитали регрессионные уравнения двух видов:

$$H = -3,306 + 1,252X_1 + 1,378X_2 + 6,808 \ln D; R^2 = 0,954; \quad (4)$$

$$H = -7,626 + 0,981X_1 + 1,213X_2 + 10,130 \ln D - 0,269D; R^2 = 0,970, \quad (5)$$

где  $H$  – высота дерева, м;

$X_1$  и  $X_2$  – блоковые фиктивные переменные, предназначенные в уравнениях (4) и (5) для выявления степени достоверности различий соотношения  $H \sim D$  между тремя разногустотными древостоями [14].

Принята следующая кодировка для пробных площадей:  $X_1 = 1$  и  $X_2 = 0$  – для № 1;  $X_1 = 0$  и  $X_2 = 1$  – для № 2 и  $X_1 = 0$  и  $X_2 = 0$  – для № 3. Если значения критерия Стьюдента для констант  $a_1$  (при  $X_1$ ) и  $a_2$  (при  $X_2$ ) в уравнениях (4) и (5) больше 2,0, это означает, что зависимость  $H \sim \ln D$  для пробной площади № 3 достоверно отличается от таковых для проб 1 и 2. Мы получили в результате расчетов в уравнении (4), соответственно,  $t_{\text{факт}} = 2,44$  и  $2,73$ , что больше  $t_{05} = 2,0$  и в уравнении (5) – соответственно,  $t_{\text{факт}} = 2,25$  и  $2,86$ , что больше  $t_{05} = 2,0$ .

Из двух полученных уравнений (4) и (5) мы выбираем в качестве наиболее адекватного уравнение (5) не только по причине более высокого коэффициента детерминации, но также потому, что уравнение (4) завышает теоретические значения высоты деревьев в низших и высших ступенях толщины и занижает в средних (рис.).

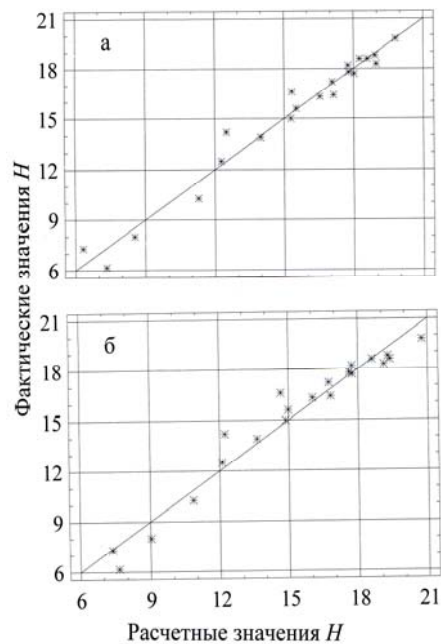


Рис. Соотношение фактических и расчетных значений  $H$ , рассчитанных: а – по уравнению (5) и б – по уравнению (4). На нижней диаграмме очевидна корреляция остатков – завышение значений на нижнем и верхнем уровнях и занижение на среднем

На основании изложенного второй вариант «продвинутой» модели фитомассы деревьев мы представляем уравнением:

$$\ln P_i = a_0 + a_1 \ln D + a_2 H + a_3 H \ln D. \quad (6)$$

Синергизм  $H \ln D$  введен в уравнение (6) для коррекции на смещение, вызванное стереометрически не однозначным положением таксационного диаметра по профилю ствола у деревьев разной высоты. Высота дерева  $H$  введена в (6) без логарифмирования, поскольку зависимость  $P_i \sim H$  аппроксимируется не аллометрической, а экспоненциальной функцией [15]. Характеристика уравнения (6) приведена в таблице 4. Результаты расчета фитомассы на 1 га по уравнениям (1), (2), (3) и (6) приведены в таблице 5.

Расчет ошибок определения запасов фитомассы на 1 га по полученным уравнениям показал, что наименьшие смещения и случайные отклонения дает уравнение (3), несколько большие – уравнение (6) и наибольшие – уравнение (2). Хотя в

последнем случае занижение оценки теоретической моделью Г. Веста составило почти 4%, случайную ошибку  $\pm 8\%$  для уравнения, полученного не по фактическим данным, а исходя из теоретических предпосылок, можно считать невысокой (табл. 6).

**Заключение**

При посадке сосны в диапазоне начальных густот от 3,6 до 20,0 тыс. экз/га наиболее густые посадки имеют наибольшую фитомассу на единице площади, т.е. перегруппировки древостоев по продуктивности в данном диапазоне начальных густот не происходит в течение всего периода роста, по крайней мере, до 70 лет. При расчете фитомассы на 1 га можно применять как парную зависимость фитомассы дерева от его диаметра, так и двухфакторную, в которую в качестве второй переменной входит густота древостоя.

Таблица 5

Результат расчета фитомассы на 1 га по уравнениям (1), (2), (3) и (6), т/га

№	Густота древостоя, экз/га	$P_F$	$P_{BR}$	$P_{ST}$	$P_{BAR}$	$P_{ТОГ}^*$	$P_{ТОГ}^{**}$
Фитомасса, рассчитанная по уравнению (1)							
1	5343	10,4	10,2	157,0	12,5	190,1	191,5
2	3452	7,8	8,2	110,9	9,8	136,7	137,8
3	1371	7,9	9,3	96,6	8,2	122,0	122,2
Фитомасса, рассчитанная по уравнению (3)							
1	5343	10,5	10,3	156,5	12,7	190,0	190,4
2	3452	7,8	8,0	111,2	9,5	136,6	136,7
3	1371	8,0	9,3	96,5	8,3	122,1	121,6
Фитомасса, рассчитанная по уравнению (6)							
1	5343	10,1	9,9	163,4	13,4	196,8	198,3
2	3452	7,7	7,8	118,9	9,7	144,0	145,0
3	1371	7,3	7,8	96,1	7,5	118,7	119,0
Фитомасса, рассчитанная по уравнению (2)							
1	5343	-	-	-	-	-	171,4
2	3452	-	-	-	-	-	130,2
3	1371	-	-	-	-	-	128,6

Примечание.  $P_{ТОГ}^*$  и  $P_{ТОГ}^{**}$  – значения надземной фитомассы, полученные соответственно суммированием масс фракций и расчетом уравнений.

Таблица 6

Ошибки значений фитомассы на 1 га, рассчитанных по уравнениям (2), (3) и (6) относительно таковых, рассчитанных по (1), т/га

Ошибка определения, %	$P_F$	$P_{BR}$	$P_{ST}$	$P_{BAR}$	$P_{ТОГ}$
Ошибки расчетов, выполненных по уравнению (3) относительно таковых, выполненных по (1)					
Систематическая	+1,1	-0,73	-0,05	-0,1	-0,62
Случайная	0,22	2,4	0,30	2,6	0,16
Ошибки расчетов, выполненных по уравнению (6) относительно таковых, выполненных по (1)					
Систематическая	-5,2	-8,0	+3,6	-0,8	+2,1
Случайная	3,3	7,1	3,9	7,9	4,1
Ошибки расчетов, выполненных по уравнению (2) относительно таковых, выполненных по (1)					
Систематическая	-	-	-	-	-3,6
Случайная	-	-	-	-	8,0

**Библиографический список**

1. Нартов А.А. О посеве леса / А.А. Нартов // Тр. Вольного экономического общества. – СПб., 1756. – Вып. 3.
2. Усольцев В.А. Культуры сосны разной густоты посадки и проблема ее оптимизации / В.А.Усольцев, А.А. Маленко // Ботанические исследования в Сибири. – 2008. – Вып. 16. – С. 136-164.
3. Cunia T. Construction of tree biomass tables by linear regression techniques / T. Cunia // Estimating tree biomass regressions and their error: Proc. of the workshop on tree biomass regression functions and their contribution to the error of forest inventory estimates. USFA Forest Service. Northeastern Forest Experiment Station. – 1987. – NE-GTR-117. – P. 27-36.
4. Freedman B. The relationship between the aboveground dry weight and diameter for a wide size range of erect land plants / B. Freedman // Can. J. Botany. – 1984. – Vol. 62. – P. 2370-2374.
5. Lehtonen A. Biomass expansion factors for Scots pine (*Pinus sylvestris*), comparison between Catalonia and Finland / A. Lehtonen, J. Vayred // COST E21, WG-1 workshop on biomass (4-5 July 2002, Besalь). – Spain. – 5 p.
6. Mandelbrot B.B. The fractal geometry of nature / B.B. Mandelbrot. – New York: W.N. Freeman, 1983. – 468 p.
7. Whitfield J. All creatures great and small / J. Whitfield // Nature. – 2001. – Vol. 413. – P. 342-344.
8. West G.B. A general model for the structure and allometry of plant vascular system / G.B. West, J.H. Brown, B.J. Engquist

// Nature. – 1999. – Vol. 400. – P. 664-667.

9. Shinozaki K. A quantitative analysis of plant form – the pipe model theory. II. Further evidence of the theory and its application in forest ecology / K. Yoda, K. Shinozaki, K. Hozumi, T. Kira // Japan. J. Ecol. – 1964. – Vol. 14. – P. 133-139.

10. Смирнов В.Е. Полувековой опыт лесовосстановления в ленточных борах Казахстана и Алтая / В.Е. Смирнов. – Алма-Ата, 1966. – 130 с.

11. Молчанов А.А. Методика изучения прироста древесных растений / А.А. Молчанов, В.В. Смирнов. – М.: Наука, 1967. – 100 с.

12. Chave J. Estimation of biomass in a neotropical forest of French Guiana: spatial and temporal variability / J. Chave, B. Rierra, M.A. Dubois // J. Trop. Ecol. – 2001. – Vol. 17. – P. 79-96.

13. Усольцев В.А. Исследование ошибок при оценке углеродного пула лесов посредством аллометрических моделей / В.А. Усольцев, О.В. Канунникова, И.В. Платонов // Современные проблемы устойчивого управления лесами, инвентаризации и мониторинга лесов: матер. Междунар. конф. – СПб.: СПбГЛТА, 2006. – С. 363-370.

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

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



УДК 533.6:628.5

**В.В. Реуцкая,  
Ю.Ф. Арефьев**

**БИОРАЗНООБРАЗИЕ  
И БИОТИЧЕСКАЯ ИНТЕГРАЦИЯ  
В ДУБРАВАХ СРЕДНЕРУССКОЙ  
ЛЕСОСТЕПИ**

**Ключевые слова:** зеленая зона, биоразнообразие, биоинтеграция, Среднерусская лесостепь.

**Введение**

Лесные массивы Среднерусской лесостепи (преимущественно дубравы и со-

сняки) занимают территории между пашнями и частично сохранившимися степными участками, которые наряду с общими климатообразующими факторами (солнечной радиацией, атмосферной циркуляцией, рельефом) леса участвуют в формировании климатического и водного ре-