

ОРИГИНАЛЬНЫЕ  
СТАТЬИ

УДК 630\*228.7:630\*228.8:630\*23

**БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕРЕВЬЕВ  
В СОСНОВЫХ МОЛОДНЯКАХ  
ЕСТЕСТВЕННОГО И ИСКУССТВЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ**

© 2013 г. Д. С. Собачкин, А. В. Бенькова, Р. С. Собачкин, В. Е. Бенькова

*Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН  
660036 Красноярск, Академгородок, 50/28  
E-mail: don\_375@mail.ru*

Поступила в редакцию 02.03.2012 г.

Приведены результаты исследования густотных рядов распределения деревьев по диаметру, высоте и протяженности кроны в сосновых молодняках естественного и искусственного происхождения. С использованием выравнивающих распределений  $\chi^2$  Пирсона установлено, что увеличение однородности строения естественных ценозов по диаметру, высоте и протяженности кроны с увеличением густоты проходит более быстрыми темпами, чем искусственных. Выявлены общие закономерности изменения распределения деревьев по биометрическим показателям в сосновых молодняках естественного и искусственного происхождения с густотой. Высказано утверждение, что они применимы для молодняков сосны естественного и искусственного происхождения той же возрастной группы, формирующихся в близких типах леса, и могут использоваться для планирования результатов при проведении хозяйственных мероприятий посредством регулирования их густоты.

*Молодняки сосны естественного и искусственного происхождения, густотные ряды распределения, лесоводственно-биометрические показатели.*

Настоящая статья посвящена установлению закономерности распределения деревьев по диаметру, высоте и протяженности кроны в сосновых разногустотных молодняках искусственного и естественного происхождения на основе сравнительного анализа результатов лесоводственно-таксационного исследования и является продолжением исследований, опубликованных нами ранее [12, 13].

В настоящее время лесное хозяйство переживает последствия интенсивной эксплуатации лесного фонда в прошлом, в результате чего большое значение приобретают вопросы эффективного лесовосстановления, формирования лесов и повышения их продуктивности. Для их решения требуется изучение закономерностей строения и роста древостоев [2–5, 7, 17, 20, 21]. В значениях таксационных показателей заключена информация (на уровне средних характеристик) о структуре, росте и продуктивности древостоев и тенденциях изменения их под влиянием определенных факторов, однако наиболее точное, наглядное и детальное представление

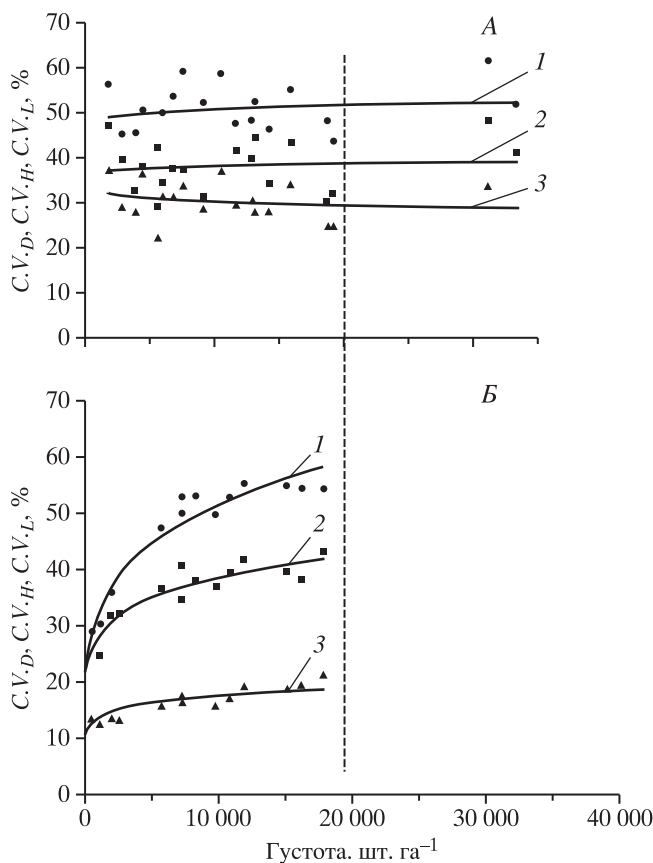
дают закономерности распределения деревьев в насаждении по этим показателям.

Работы по изучению закономерностей распределения деревьев в насаждениях по толщине, высоте, объемам, площадям сечения на высоте груди и другим таксационным показателям ведутся уже давно [6, 8, 9, 10, 11, 15, 18, 19]. Следует подчеркнуть, что большинство полученных результатов по рассматриваемому вопросу относится к спелым древостоям, работ же по молоднякам немного. К сожалению, в последнее время отмечается недостаток данных, получаемых в результате таксационных исследований, которые являются основой для изучения структуры и формирования молодняков. Уже имеющиеся сведения содержат существенные пробелы, когда речь идет о длинных промежутках времени, обширных территориях и широких пределах густоты. Особенно остро недостаток фактического материала ощущается при исследовании молодняков, формирующихся на обширной территории Сибири [9, 12, 14]. Таким образом, искусственно созданные

насаждения должны играть роль экспериментальных полигонов. Следует, однако, отметить, что напрямую переносить результаты, полученные на таких полигонах, на естественные древостои, просто подобрав временные пробные площади с соответствующей густотой, некорректно. Действительно, одну и ту же густоту могут иметь ценозы, находящиеся на разных ступенях продуктивности и имеющие разную историю формирования [16]. Вместе с тем, поиск вариантов переноса результатов “модельного эксперимента” на естественные древостои, носящих даже частный характер, то есть предназначенный для конкретных насаждений, несомненно, актуален. Решение этой задачи позволило бы существенно снизить затраты времени и средств при проведении таксационных и лесоводственных исследований соответствующих лесных объектов.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Для исследования были взяты разногустотные сосновые молодняки (*Pinus sylvestris* L.) естественного происхождения, произрастающие на



**Рис. 1.** Коэффициенты вариации у рядов распределения деревьев в разногустотных молодняках сосны естественного (А) и искусственного (Б) происхождения по диаметру  $C.V.D$  (1), протяженности кроны  $C.V.L$  (2) и высоте  $C.V.H$  (3).

территории Почетского участкового лесничества Абанского лесничества Красноярского края ( $57^{\circ} 12'$  с.ш.,  $96^{\circ} 30'$  в.д., юго-западное Приангарье). Для проведения сравнительного анализа исследовались разногустотные культуры сосны обыкновенной, созданные в 1982 г. сотрудниками Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН под руководством Бузыкина А.И. на территории Таловского участкового лесничества Большемуртинского лесничества ( $57^{\circ} 10'$  с.ш.,  $93^{\circ} 10'$  в.д.) Красноярского края в однородных лесорастительных условиях [2].

Описание условий произрастания исследуемых разногустотных молодняков искусственного и естественного происхождения, таксационно-биометрическая методика получения исходных данных, а также информация об использовании статистических критериев оценки распределений в [12, 13].

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

#### Коэффициенты вариации

Коэффициенты вариации эмпирических распределений деревьев по диаметру  $C.V.D$ , протяженности кроны  $C.V.L$  и высоте  $C.V.H$  рассчитывались по данным, полученным в результате измерений, по стандартной формуле:

$$C.V. = \sigma/x; \quad (1)$$

где  $\sigma$  – стандартные отклонения рядов распределения по диаметру, высоте и протяженности кроны  $\sigma_D$ ,  $\sigma_H$ ,  $\sigma_L$ , а  $x$  – средние значения диаметра  $D$ , высоты  $H$  и протяженности кроны  $L$  в разногустотных древостоях (таблица). Сравнительно высокие значения  $C.V.$  указывают на высокий уровень изменчивости соответствующих показателей во всех насаждениях исследуемых густотных рядов (рис. 1). Исключением составляет высота деревьев в искусственных древостоях (рис. 1Б, кривая 3), которая характеризуется невысоким уровнем изменчивости ( $13 \div 21\%$ ). Среди рассматриваемых биометрических показателей относительно высоким уровнем изменчивости отличается диаметр, низким – высота деревьев. Это характерно как для естественных, так и для искусственных насаждений.

Зависимость от густоты  $x$  всех выше перечисленных коэффициентов вариации (рис. 1), можно описать убывающими степенными функциями одинакового вида:

молодняки естественного происхождения:

$$\begin{aligned} C.V.D &= 41.5x^{0.02} (R^2 = 0.03); \\ C.V.H &= 42.8x^{0.04} (R^2 = 0.01); \\ C.V.L &= 32.9x^{0.02} (R^2 = 0.01); \end{aligned} \quad (2)$$

молодняки искусственного происхождения:

$$\begin{aligned} C.V._D &= 7.6x^{0.21} (R^2 = 0.97); \\ C.V._H &= 10.7x^{0.14} (R^2 = 0.92); \\ C.V._L &= 6.6x^{0.11} (R^2 = 0.80). \end{aligned} \quad (3)$$

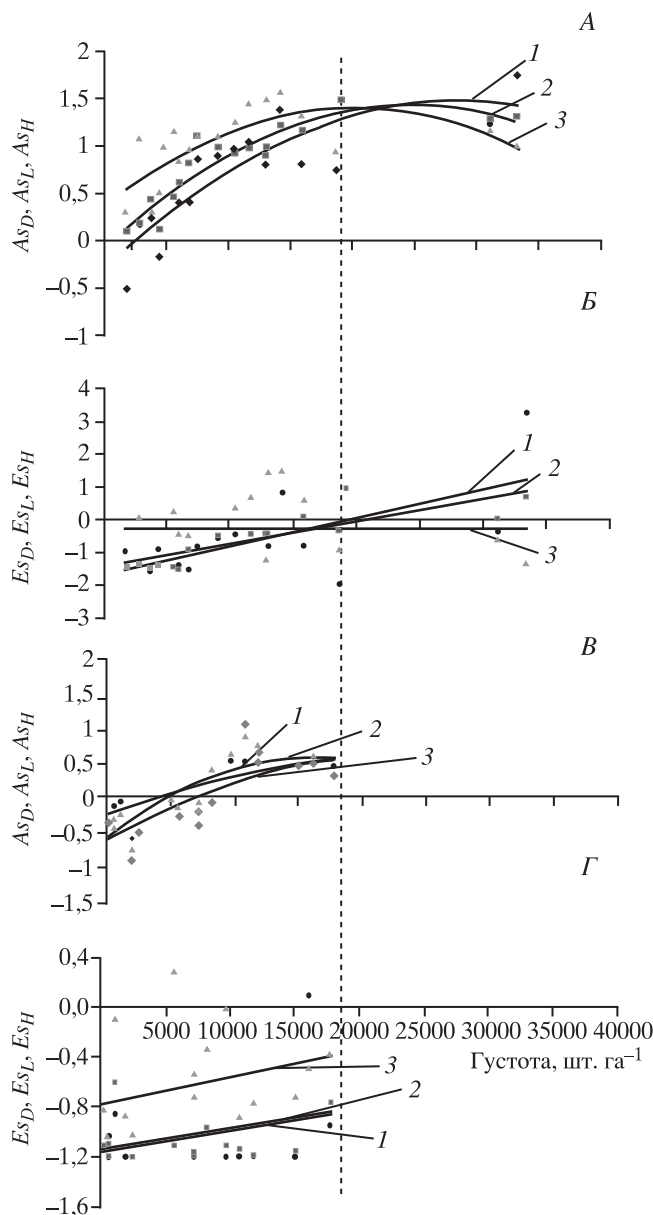
Коэффициенты вариации  $C.V._D$ ,  $C.V._L$  и  $C.V._H$  для естественных насаждений и  $C.V._H$  для искусственных очень слабо зависят от густоты. Очевидно, что средние значения этих показателей и стандартные отклонения, через которые определяются коэффициенты вариации, убывают при увеличении густоты примерно с одинаковой скоростью. В то же время в искусственных ценозах с увеличением густоты  $\sigma_D$  и  $\sigma_L$  убывают гораздо медленнее, чем средние значения диаметра и протяженности кроны (рис. 1Б, кривые 1 и 2).

Таким образом, разногустотные древостои искусственного и естественного происхождения характеризуются сравнительно низкой однородностью по диаметрам составляющих их деревьев и высокой однородностью по высоте. Диаметр деревьев, составляющих ценозы, отличается наибольшей чувствительностью к фактору густоты по сравнению с другими биометрическими показателями.

*Асимметрия и эксцесс*

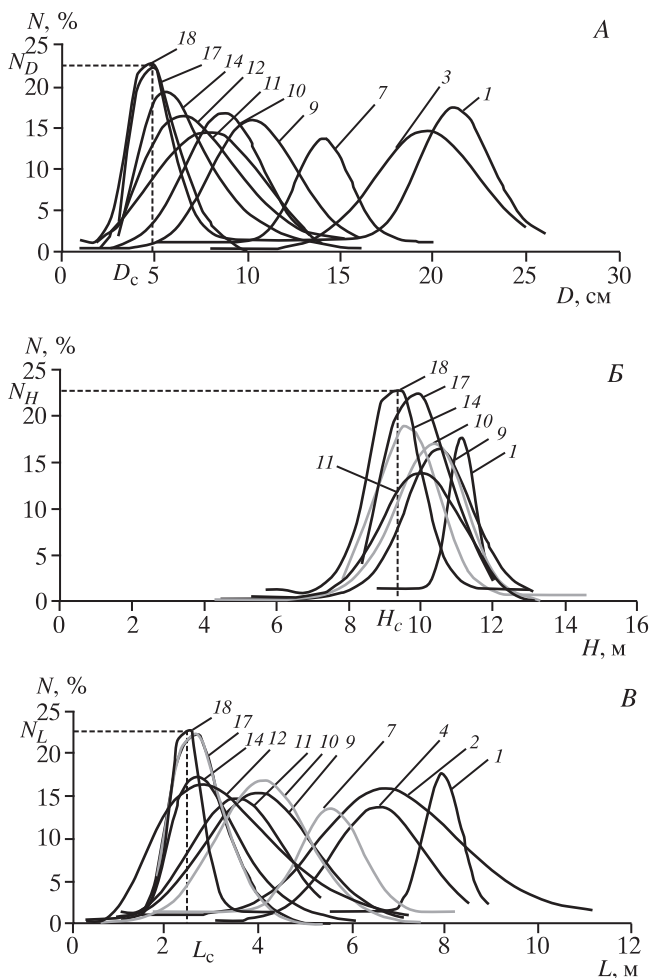
Судя по значениям, которые принимают коэффициенты асимметрии  $As_D$ ,  $As_H$ ,  $As_L$  и эксцесса  $Es_D$ ,  $Es_H$ ,  $Es_L$  у эмпирических густотных рядов распределения деревьев в естественных и искусственных насаждениях по ступеням толщины, высоты и протяженности кроны (рис. 2), все распределения отличаются от нормальных. Почти во всех молодняках естественного происхождения, составляющих густотный ряд, распределения деревьев имеют преимущественно правостороннюю асимметрию ( $As > 0.2$ , рис. 2А). Это значит, что вершина распределений сдвинута влево от положения среднего дерева. В то же время в молодняках искусственного происхождения преимущественно правостороннюю асимметрию ( $As > 0.2$ ) имеют распределения деревьев в загущенных ценозах, то есть с густотой выше 9742 шт. га<sup>-1</sup>; при относительно низкой густоте (до 2523 шт. га<sup>-1</sup>) большинство распределений имеют левостороннюю асимметрию ( $As < 0.2$ ), то есть вершина распределений сдвинута вправо от положения среднего дерева. В насаждениях с густотой от 2523 до 9742 шт. га<sup>-1</sup> распределения деревьев симметричны ( $0.2 \geq As \geq -0.2$ ).

В естественных молодняках коэффициенты асимметрии распределений  $As_D$ ,  $As_H$  и  $As_L$  при увеличении густоты возрастают, переходят че-



**Рис. 2.** Зависимость асимметрии и эксцесса рядов распределения деревьев естественного (А, Б) и искусственного (В, Г) происхождения по диаметру (1), протяженности кроны (2) и высоте (3) от густоты  $x$

рез максимум при густоте 17 800–28 000 шт. га<sup>-1</sup> и при дальнейшем увеличении густоты до 33 381 шт. га<sup>-1</sup> слабо убывают (рис. 2А). В искусственных молодняках  $As_D$ ,  $As_H$ ,  $As_L$  при увеличении густоты также возрастают, возрастание идет убывающими темпами, что свидетельствует о наличии максимума, положение максимума на графиках в исследуемом густотном диапазоне не выражено (рис. 2Б). Изменение с густотой  $x$  асимметрии распределений в искусственных (уравнения 4) и естественных [12] молодняках



**Рис. 3.** Густотные ряды распределения деревьев в искусственных молодняках по диаметру  $D$  (А), высоте  $H$  (Б) и протяженности кроны  $L$  (В) в ценозах с 18 вариантами густоты (соответствующие значения густоты приведены в таблице);  $D_c, N_D; H_c, N_H; L_c, N_L$  – характеристики максимума в соответствующих рядах распределения

удовлетворительно описывают уравнения одинакового типа:

$$\begin{aligned}
 As_D &= -1.4 \cdot 10^{-9}x^2 + 0.6 \cdot 10^{-4}x - 0.20 \\
 &\quad (R^2 = 0.66); \\
 As_H &= -3.5 \cdot 10^{-9}x^2 + 1.3 \cdot 10^{-4}x - 0.57 \\
 &\quad (R^2 = 0.64); \\
 As_L &= -5 \cdot 10^{-9}x^2 + 1.5 \cdot 10^{-4}x - 0.57 \\
 &\quad (R^2 = 0.76).
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Из уравнений (4) следует, что в искусственных насаждениях  $As_D, As_H$  и  $As_L$  должны переходить через максимум при густоте 15000–22000 шт. га<sup>-1</sup>. Ход коэффициентов асимметрии (рис. 2А, Б) свидетельствует, что при увеличении густоты (в пределах сравнительно низких густот) численность мелких деревьев в ценозах увеличивается быст-

рее, чем численность элиминированных крупных деревьев; однако при дальнейшем увеличении густоты разница между теми и другими в ценозах становится меньше.

Распределения деревьев по биометрическим показателям в естественных и искусственных молодняках слабо и умеренно эксцессивны. В естественных молодняках с густотой до 17 000 шт. га<sup>-1</sup> распределения по диаметру и протяженности кроны плосковершинны ( $Es_D, Es_L < 0$ ), а в более загущенных – островершинны ( $Es_D, Es_L > 0$ , рис. 2Б); эксцесс у ряда распределений по высоте не зависит от густоты и по значению близок к таковому для нормального распределения ( $Es_H = 0.27$ , рис. 2Б). Между тем, последние отличаются от нормальных распределений, так как асимметричны во всем густотном диапазоне ( $As_H > 0.4$ , рис. 2А). В отличие от естественных молодняков, все распределения деревьев по биометрическим показателям в разногустотных искусственных молодняках в исследуемом густотном диапазоне плосковершинны ( $Es_D, Es_H, Es_L < 0$ ). Изменение с густотой  $x$  эксцесса распределений деревьев в ценозах естественного [12] и искусственного происхождения удовлетворительно описывают линейные уравнения:

$$\begin{aligned}
 Es_D &= 2 \cdot 10^{-5}x - 1.16 \quad (R^2 = 0.10); \\
 Es_L &= 2 \cdot 10^{-5}x - 1.14 \quad (R^2 = 0.14); \\
 Es_H &= 2 \cdot 10^{-5}x - 0.77 \quad (R^2 = 0.10)
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Выравнивающие распределения, составляющие густотные ряды по диаметру, высоте и протяженности кроны в естественных и искусственных молодняках, имеют те же особенности, что и эмпирические (рис. 3). Они асимметричны и эксцессивны, имеют один выраженный максимум, с увеличением густоты становятся выше и уже, вершина распределений сдвигается в сторону меньших значений биометрического показателя. Однако эти тенденции гораздо менее выражены в искусственных молодняках и четко проявляются только в сравнительно загущенных насаждениях; вершина распределений смещается в сторону меньших значений биометрических показателей с меньшими темпами (рис. 3), чем в естественных ценозах [12]. С использованием выравнивающих распределений проведен анализ хода дифференциации деревьев по биометрическим показателям под воздействием фактора густоты.

*Гетерогенность строения разногустотных ценозов по диаметру деревьев (рис. 3А)*

В отличие от естественных ценозов, где при густоте 1826–7515 шт. га<sup>-1</sup> деревья сантиметровой ступени толщины составляли 1–2% и при даль-

**Таблица.** Значения биометрических показателей в естественных и искусственных молодняках

Молодняки естественного происхождения					Молодняки искусственного происхождения				
пробная площадь	густота, шт. га <sup>-1</sup>	средний диаметр, см	средняя высота, м	средняя протяженность кроны, м	пробная площадь	густота, шт. га <sup>-1</sup>	средний диаметр, см	средняя высота, м	средняя протяженность кроны, м
1	1826	5.2±0.8	5.9±0.5	2.6±0.4	1	228	20.8±0.6	11.1±0.2	8.0±0.3
2	2885	5.4±0.6	9.0±0.6	3.1±0.3	2	457	19.6±0.6	10.8±0.2	7.1±0.5
3	3822	4.0±0.6	5.1±0.4	2.3±0.3	3	587	19.3±0.9	11.3±0.3	6.8±0.2
4	4442	5.2±0.7	6.8±0.6	2.5±0.3	4	590	17.9±0.9	11.6±0.4	6.7±0.4
5	5645	4.5±0.6	7.8±0.5	2.6±0.2	5	1124	16.8±0.9	12.1±0.2	7.2±0.3
6	6032	2.6±0.5	4.1±0.4	1.7±0.2	6	1997	13.7±0.9	11.9±0.3	5.5±0.3
7	6830	3.9±0.7	6.3±0.5	2.4±0.3	7	2523	12.4±0.7	12.4±0.3	5.3±0.4
8	7515	2.9±0.7	4.6±0.5	1.9±0.3	9	5683	9.6±0.9	11.0±0.4	4.5±0.4
9	9172	3.2±0.6	5.0±0.4	2.2±0.2	10	7227	8.9±0.8	10.9±0.4	4.7±0.4
10	10 522	2.4±0.7	3.3±0.5	1.3±0.3	11	7236	8.2±0.7	10.5±0.3	3.9±0.3
11	11 732	3.0±0.6	4.6±0.4	1.4±0.3	12	8236	8.0±0.7	10.8±0.3	4.2±0.3
12	12 915	3.2±0.6	4.3±0.4	1.6±0.2	13	9742	8.4±0.5	12.0±0.2	4.2±0.2
13	13 128	2.7±0.6	4.2±0.4	1.2±0.2	14	10 826	7.5±0.7	11.6±0.4	3.8±0.3
14	14 199	2.4±0.6	3.9±0.4	1.3±0.2	15	11 890	6.9±0.6	10.6±0.4	3.5±0.3
15	15 919	2.9±0.6	4.6±0.5	2.0±0.3	16	15 062	6.5±0.6	11.4±0.3	3.6±0.3
16	18 741	2.7±0.5	4.2±0.3	2.0±0.2	17	16 155	6.3±0.5	11.3±0.3	3.6±0.3
17	19 208	2.6±0.6	4.6±0.4	1.9±0.3	18	17 795	6.0±0.5	10.6±0.3	3.1±0.2
18	31 188	2.2±0.5	3.8±0.4	1.2±0.2					
19	33 381	1.8±0.5	3.3±0.4	1.2±0.2					

нейшем увеличении густоты численность таких деревьев постепенно увеличивалась и составила 18%, в ценозах искусственного происхождения с густотой 228–2523 шт. га<sup>-1</sup> отсутствуют деревья диаметром меньше 4 см. При дальнейшем увеличении густоты встречаемость таких деревьев постепенно увеличивалась и составила всего 1–2% в ценозах с густотой 17 795 шт. га<sup>-1</sup>.

Самые крупные по толщине деревья были отмечены в наименее плотных ценозах. В естественных молодняках с густотой 1826–3822 шт. га<sup>-1</sup> они вошли в 11-сантиметровую ступень толщины, а в искусственных ценозах с густотой 228–590 шт. га<sup>-1</sup> в 26-сантиметровую ступень толщины и составили всего 3–5%. С увеличением густоты верхняя ступень толщины в ценозе становилась все ниже: в наиболее загущенном естественном ценозе с густотой 33 381 шт. га<sup>-1</sup> она оказалась равной 4 см, а в наиболее загущенном искусственном ценозе с густотой 17 795 шт. га<sup>-1</sup> – 11 см.

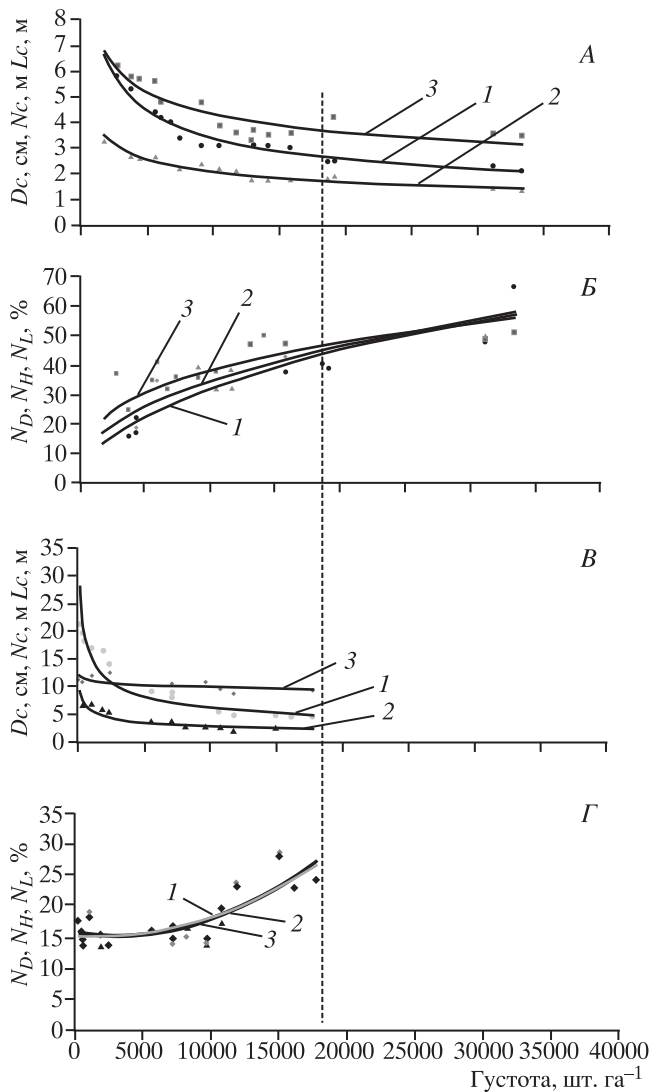
Заметим, что деревья наиболее часто встречающейся максимально представленной ступени толщины, высоты и протяженности кроны образуют группу, численность которой (%) соответствует максимуму распределений по этим показателям для данного ценоза. С увеличением густоты е-

стественных и искусственных ценозов ступень максимально представленной толщины имеет тенденцию к убыванию, а число деревьев этой ступени толщины для большинства ценозов – тенденцию к возрастанию<sup>1</sup>. Так, в искусственном ценозе с приблизительно такой же густотой, что и в естественных ценозах (1997 шт. га<sup>-1</sup>), 14% деревьев, имеющих ступень толщины 16 см, составляют максимально представленную группу. С густотой 17 795 шт. га<sup>-1</sup> – 23% деревьев имеют максимально представленную ступень толщины 4 см.

*Гетерогенность строения разногустотных ценозов по высоте деревьев (рис. 3Б)*

Самые высокие деревья были отмечены в наименее плотных ценозах. В искусственных молодняках с густотой 228–1124 шт. га<sup>-1</sup> они вошли в 15-метровую ступень высоты, а в естественных молодняках с густотой 1826–6032 шт. га<sup>-1</sup> – в 9-метровую ступень высоты и составили 1–3%. С увеличением густоты верхняя ступень высоты в естественном ценозе становилась все ниже, и при

<sup>1</sup> Исследование гетерогенности строения естественных молодняков по диаметру, высоте и протяженности кроны деревьев приведено в [12].



**Рис. 4.** Зависимость положения вершины  $D_c$ ,  $H_c$ ,  $L_c$  и  $N_D$ ,  $N_H$ ,  $N_L$  от густоты  $x$  у рядов распределения деревьев в естественных (А, Б) и искусственных (В, Г) ценозах по диаметру (1), протяженности кроны (2) и высоте (3)

33381 шт. га<sup>-1</sup> она оказалась равной 5 м. В искусственных же ценозах показатель изменялся с густотой довольно слабо: при густоте 17795 шт. га<sup>-1</sup> оказался всего на 2 ступени ниже, чем при густоте 228 шт. га<sup>-1</sup>, и составил 13 м.

С увеличением густоты максимально представленная ступень высоты в естественных [12] и искусственных ценозах имеет тенденцию к убыванию, а число деревьев этой ступени – тенденцию к возрастанию. Так, в искусственном ценозе с густотой 1997 шт. га<sup>-1</sup> 15% деревьев, имеющих ступень высоты 11 м, составляют максимально представленную группу, а с густотой 17795 шт. га<sup>-1</sup> 21% деревьев имеют максимально представленную ступень высоты 8 м.

*Гетерогенность строения разногустотных ценозов по протяженности кроны деревьев (рис. 3В)*

Наибольшая протяженность кроны наблюдалась у 2–3% деревьев, входящих в низкогустотные естественные и искусственные ценозы. В искусственных молодняках (при густоте 228 шт. га<sup>-1</sup>) этот показатель составил ступень протяженности кроны 11 м, а в естественных ценозах (при густоте 1826 шт. га<sup>-1</sup>) – 5–6 м. С увеличением густоты верхняя ступень протяженности кроны становилась все ниже: в искусственных ценозах с густотой 17795 шт. га<sup>-1</sup> она оказалась равной 4 м, а в естественном ценозе при густоте 33381 шт. га<sup>-1</sup> – 2 м.

С увеличением густоты как в естественных [12], так и в искусственных ценозах ступень максимально представленной протяженности кроны имеет тенденцию к убыванию, а число деревьев этой ступени – тенденцию к возрастанию. Так, в искусственном ценозе с приблизительно такой же густотой (1997 шт. га<sup>-1</sup>), что и в естественных ценозах максимально представленную группу составляют 13% деревьев с протяженностью кроны 6–7 м, а с густотой 17795 шт. га<sup>-1</sup> – 23% деревьев с протяженностью кроны 2–3 м.

Таким образом, естественные и искусственные молодняки при увеличении густоты становятся более тонкомерными, низкорослыми, с плохо развитой кроной. Гетерогенность их по биометрическим показателям уменьшается. Однако в искусственных молодняках эти тенденции выражены гораздо слабее, так что и в относительно высокогустотных ценозах довольно широко представлены крупные и мелкие деревья с хорошо и плохо развитой кроной.

Положение вершины распределения деревьев по биометрическим показателям в зависимости от густоты  $x$  ценоза в густотном ряду распределения описано через следующие параметры:  $D_c$ ,  $H_c$ ,  $L_c$  – максимально представленные значения ступеней толщины (диаметра), высоты и протяженности кроны;  $N_D$ ,  $N_H$ , и  $N_L$  – доля деревьев (%), встретившихся с этими показателями в ценозе с густотой  $x$  (рис. 4). Для искусственных молодняков эти характеристики вершины распределений описаны уравнениями:

$$\begin{aligned}
 D_c &= 240.0x^{-0.39} \quad (R^2 = 0.91); \\
 H_c &= 15.6x^{-0.05} \quad (R^2 = 0.47); \\
 L_c &= 49.4x^{-0.31} \quad (R^2 = 0.89); \\
 N_D &= 5 \cdot 10^{-8}x^2 - 0.002x + 15.4 \quad (R^2 = 0.73); \\
 N_H &= 5 \cdot 10^{-8}x^2 - 0.003x + 15.6 \quad (R^2 = 0.67);
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

$$N_L = 6 \cdot 10^{-8}x^2 + 0.0004x + 15.6 \quad (R^2 = 0.70). \quad (9)$$

Для естественных ценозов зависимость характеристик вершины распределений  $D_c$ ,  $H_c$ ,  $L_c$  от густоты более детально описаны [12]. Для естественных и искусственных молодняков характерны следующие общие тенденции. Параметр  $D_c$  в относительно низkogустотных ценозах (до 10 000 шт. га<sup>-1</sup>) убывает с густотой сравнительно быстро, а  $H_c$  – медленно (рис. 4А, В). При дальнейшем увеличении густоты темпы убывания  $D_c$ ,  $H_c$  и  $L_c$  различаются несущественно. Параметры  $N_D$ ,  $N_H$ , и  $N_L$  близки между собой по значению, и темпы их роста с густотой приблизительно одинаковы в пределах каждого густотного ряда (рис. 4Б, Г). Различия между искусственными и естественными ценозами по упомянутым параметрам заключаются в следующем. Значения показателей  $D_c$ ,  $H_c$ ,  $L_c$  в искусственных ценозах выше, а значения  $N_D$ ,  $N_H$ , и  $N_L$  – ниже, чем в естественных ценозах при соответствующих густотах (рис. 4). В искусственных ценозах темпы убывания  $D_c$ ,  $L_c$  с увеличением густоты заметно выше, а  $H_c$  – ниже, чем в естественных ценозах. С увеличением густоты до 5000 шт. га<sup>-1</sup> значения  $N_D$ ,  $N_H$ , и  $N_L$  возрастают в естественных ценозах и не изменяются в искусственных. Таким образом, искусственные ценозы при увеличении густоты до 5000 шт. га<sup>-1</sup>, несмотря на накопление тонкомера, не становятся более однородными по биометрическим характеристикам, и только при густоте выше 10 000 шт. га<sup>-1</sup> их однородность становится выше.

Общие характеристики естественных и искусственных ценозов заключаются в следующем. С увеличением густоты и те и другие древостои в целом становятся все более однородными по диаметру и протяженности кроны деревьев: возрастает процент тонкомера с плохо развитым фотосинтетическим аппаратом, численность наиболее крупных деревьев с хорошо развитой кроной уменьшается. Диаметр деревьев, составляющих ценозы, отличается сравнительно большей, а высота – меньшей чувствительностью к фактору густоты; у группы деревьев, представляющих большинство в ценозах, с увеличением густоты диаметр уменьшается быстрыми темпами, а высота – относительно медленными. Очевидно, что при увеличении густоты обостряется, прежде всего, конкуренция за свет, вследствие чего продукты фотосинтеза тратятся в первую очередь на прирост в высоту и поддержание фотосинтетического аппарата, обеспечивающего этот процесс, и только после – на радиальный прирост (что согласуется с результатами, полученными В.В. Мионовым с соавт. на других объектах [8]).

Искусственные молодняки превосходят естественные по средним значениям биометрических показателей: высоте, протяженности кроны и диаметру. Деревья, составляющие наиболее многочисленную группу в искусственных ценозах, почти в 2 раза крупнее по диаметру, высоте и протяженности кроны, но численность этой группы почти в 2 раза меньше по сравнению с естественными ценозами соответствующей густоты, и это справедливо для общего густотного диапазона (1997–17795 шт. га<sup>-1</sup>). У деревьев, представляющих большинство в искусственных ценозах, с увеличением густоты диаметр уменьшается более быстрыми темпами, а высота – более медленными, чем у таковых в естественных ценозах.

Ход дифференциации деревьев по биометрическим показателям в искусственных и естественных ценозах под влиянием фактора густоты также различен. Интересно, что гетерогенность искусственных молодняков по биометрическим показателям уменьшается с густотой гораздо медленнее, и ее уменьшение проявляется только в наиболее загущенных ценозах густотного ряда (примерно 10000 шт. га<sup>-1</sup>, рис. 4). В то же время у естественных ценозов уменьшение гетерогенности, наоборот, заметно проявляется в сравнительно редких ценозах при увеличении их густоты до 10 000 шт. га<sup>-1</sup>.

В начале развития любого насаждения густота регулируется приживаемостью семян и конкуренцией с травяной растительностью за ресурсы среды; по мере роста деревьев и увеличения сомкнутости полога конкуренция за ресурсы среды обостряется и определяется соседями [14]. Исследованные нами естественные ценозы развивались в худших условиях по влагообеспеченности и богатству почвы: процесс заселения древесными растениями происходил неравномерно по площади. В процессе заселения выделились господствующие деревья – “лидеры”, со-господствующие и угнетенные деревья, которые сформировали структуру древостоя. Постоянные волны возобновления обостряли конкуренцию между деревьями за свет и минеральное питание. В результате на момент наблюдения в естественных молодняках даже при сравнительно низкой густоте диапазон изменения биометрических показателей деревьев был не столь широк, и при дальнейшем повышении густоты этот диапазон становился все уже. В то же время в исследованных искусственных ценозах для деревьев изначально были заложены одинаковые стартовые условия для роста: двухлетние сеянцы высаживались равномерно по площади, отличающейся высокой однородностью. По мере взросления

конкуренция между деревьями за питание и свет также возрастала темпами, отличающимися от таковых в естественных ценозах. Как следствие, в искусственных ценозах более широко, чем в естественных соответствующей густоты, на момент наблюдения были представлены высокие и низкие ступени диаметра, высоты и протяженности кроны.

## ВЫВОДЫ

Анализ литературных и полученных закономерностей позволил заключить следующее:

1. В ходе дифференциации под воздействием фактора густоты гетерогенность строения молодняков сосны естественного и искусственного происхождения второго класса возраста уменьшается. Не зависимо от происхождения молодняков с увеличением густоты диаметр деревьев молодняков уменьшается быстрее, чем высота и протяженность кроны, а высота – наиболее медленно. Очевидно, что по мере увеличения густоты в них обостряется прежде всего конкуренция за свет.

2. Климатические и эдафические условия и технология создания искусственных ценозов обусловили появление упомянутых выше тенденций. Гетерогенность строения искусственных ценозов по биометрическим показателям уменьшается с густотой гораздо медленнее, и ее уменьшение проявляется только в наиболее загущенных ценозах густотного ряда (выше 10 000 шт. га<sup>-1</sup>); до упомянутой густоты численность крупных деревьев в искусственных ценозах не уменьшается, а при дальнейшем увеличении густоты она снижается более медленными темпами, чем в естественных насаждениях.

3. Густотные зависимости параметров распределений деревьев по таксационно-биометрическим показателям (высоте, диаметру, протяженности кроны) искусственных и естественных молодняков второго класса возраста имеют одинаковый характер, несмотря на то, что естественные ценозы формируются в заметно худших условиях. Распределения по упомянутым показателям для естественных разнотипных молодняков сосны обыкновенной в юго-западном Приангарье можно рассчитать по уравнениям, полученным на экспериментальных посадках (Большемуртинского лесничества Красноярского края) с заменой коэффициентов. Эти результаты могут использоваться для оценки стволовой продуктивности и планирования хозяйственных мероприятий в молодняках сосны близких типов леса посредством регулирования густоты.

Памяти Алексея Ивановича Бузыкина, продолжительное время руководившего научным направлением “Формирование лесных фитоценозов” в Институте леса им В.Н. Сукачева СО РАН.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бабинцева Р.М., Бузыкин А.И., Иванов В.В., Масленков П.Г., Пшеничникова Л.С.* Формирование лесных экосистем в условиях интенсивной лесоэксплуатации. Новосибирск: Наука, 1998. 184 с.
2. *Бузыкин А.И.* Изучение естественного формирования молодняков // Формирование молодняков хвойных пород. Новосибирск: Наука, 1982. С. 5–24.
3. *Бузыкин А.И., Пшеничникова Л.С.* Влияние густоты на морфоструктуру и продуктивность культур сосны // Лесоведение. 1999. № 3. С. 38–43.
4. *Бузыкин А.И., Пшеничникова Л.С., Суховольский В.Г.* Густота и продуктивность древесных ценозов. Новосибирск: Наука, 2002. 151 с.
5. *Кузьмичев В.В., Миндеева Т.Н., Черкашин В.П.* Оценка взаимодействия деревьев в лесных фитоценозах // Изв. СО АН СССР. Сер. биол. 1989. Вып. 3. С. 133–139.
6. *Лебков В.Ф.* Динамика распределения деревьев сосны по морфологическим признакам ствола и кроны // Лесоведение. 1990. № 5. С. 57–69.
7. *Макаренко А.А., Смирнов Н.Т.* Формирование сосновых и сосново-березовых насаждений. Алма-Ата: Кайнар, 1973. 187 с.
8. *Миронов В.В., Калякин А.Б., Шильников Н.Г.* Некоторые закономерности саморегуляции роста и его торможения у хвойных пород // Лесоведение. 1974. № 4. С. 9–15.
9. *Моисеев В.С.* Таксация молодняков. Л.: Изд-во Лесотехнической академии, 1971. 344 с.
10. *Молчанов А. А.* Методика изучения прироста древесных растений. М.: Наука, 1967. 99 с.
11. *Рубцов В.И.* Опыт сгущения посадок сосны в площадки // Бот. журн. 1954. № 3. С. 197–202.
12. *Собачкин Д.С., Бенькова В.Е., Бенькова А.В., Собачкин Р.С.* Влияние густоты сосновых молодняков на биометрические показатели деревьев // Лесоведение. 2011. № 3. С. 69–72.
13. *Собачкин Д.С., Бенькова В.Е., Собачкин Р.С., Бузыкин А.И.* Влияние густоты на таксационные показатели и продуктивность стволовой древесины сосновых молодняков естественного и искусственного происхождения. Структура и продуктивность разнотипных сосновых молодняков в юго-западном Приангарье // Лесоведение. 2009. № 2. С. 3–9.



14. *Собачкин Р.С.* Особенности формирования искусственных молодняков ели сибирской разной густоты // Лесн. хоз-во. 2010. № 3. С. 31–32.
15. *Третьякова В.А.* Динамика распределения деревьев по диаметрам в густых культурах сосны, ели и кедра // Лесоведение. 2005. № 5. С. 72–74.
16. *Усольцев В. А.* Расчленение эдафической и ценотической составляющих продуктивности древостоев по данным густотного эксперимента // Леса Урала и хозяйство в них. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1994. С. 77–85.
17. *Baskerville G.L.* Dry-matter production in immature balsam fir stands // For. Sci. Monogr. 2004. V. 9. P. 1–42.
18. *Chen W.* Tree size distribution functions of four boreal forest types for biomass mapping // For. Sci. 2004. V. 50. N 4. P. 436–449.
19. *Hozumi K., Shinozaki K.* Studies on the frequency distribution of the weight of individual trees in a forest stand. 2. Exponential distribution // Jap. J. Ecol. 1970. V. 20. N 1. P. 1–9.
20. *Pelt R. Van, Franklin J.F.* Influence of canopy structure on understory environment in tall, old-growth, conifer forests // Can. For. Res. 2000. N 30. P. 1231–1245.
21. *Tadaki Y.* Structure and productivity of young *Custanopsis cuspidate* forests growing in different densities // Bull. Nagoya Univ. For. 1995. N 14. P. 1–24.

## **Distribution of Trees According to Biometric Characters in Natural and Artificial Young Pine Forests**

**D. S. Sobackin, A. V. Ben'kova, R. S. Sobachkin, V. E. Ben'kova**

The results of analyzing a density series of tree distribution according to diameter, height, and crown length in young pine forests of natural and artificial origin are presented. With raising the stand density, the structure of natural cenoses (diameter, height, and crown length) was shown (using smoothing Pearson distributions  $\chi^2$ ) to become uniform faster than that of artificial stands. Total regularities of changes in the tree distribution by biometric characteristics related to density in the natural and artificial young pine forests were revealed. These regularities are shown to be used in young forests of the same age group that are formed in similar forest types. They may be applied for predicting the results when silvicultural measures are carried out through the regulation of forest density.

*Young pine plantations, density series of distribution, forestry-biometric parameters.*