

ОРИГИНАЛЬНЫЕ
СТАТЬИ

УДК 630*228.7:630*228.8:630*23

**ВЛИЯНИЕ ГУСТОТЫ СОСНОВЫХ МОЛОДНЯКОВ
НА БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕРЕВЬЕВ***

© 2011 г. Д. С. Собачкин, В. Е. Бенькова, А. В. Бенькова, Р. С. Собачкин

*Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН
660036 Красноярск, Академгородок, 50/28
E-mail: benkova@ksc.krasn.ru; dens@ksc.krasn.ru
Поступила в редакцию 12.05.2009 г.*

Приведены результаты исследования густотных рядов распределения деревьев по диаметру, высоте и протяженности кроны в сосновых молодняках естественного происхождения второго класса возраста, формирующихся на вырубках юго-западного Приангарья Красноярского края. Установлены зависимости основных статистических характеристик рядов распределения от густоты: стандартного отклонения, асимметрии, эксцесса и положения вершины распределений. Высказано утверждение, что зависимости применимы для молодняков сосны естественного происхождения той же возрастной группы, формирующихся в близких типах леса, и могут использоваться для планирования результатов целевого хозяйственного воздействия, связанного с регулированием их густоты. С использованием выравнивающих распределений χ^2 Пирсона проведен анализ и установлены темпы уменьшения гетерогенности строения ценозов по биометрическим показателям с увеличением густоты.

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

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. 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. Следуя В.С. Моисееву [13], "...ряд распределения деревьев по толщине является основным таксационным показателем элементов леса. Он характеризует степень участия деревьев каждой ступени толщины в образовании древостоя и определяет его производные таксационные

признаки". Соответственно, ряды распределения деревьев по ступеням высоты и протяженности кроны характеризуют степень участия деревьев каждой ступени в образовании древесного полога.

Работы по изучению закономерностей распределения деревьев в насаждениях по толщине, высоте, объемам, площадям сечения на высоте груди и другим таксационным показателям начались еще в конце XIX в. Было установлено, что среднее дерево в однородном древостое имеет толщину, которой соответствует 55–60% деревьев (Вейзе, 1880; Вимменауэр, 1890; Фекете, 1896; Шиффель, 1902) (цит. по: [13]). Позднее было показано, что закономерности строения чистых и одновозрастных насаждений свойственны также древостоям элементов леса смешанных и сложных насаждений [18]. Эмпирическим закономерностям строения древостоев чистых и смешанных насаждений было дано математическое обоснование [2, 12, 14 и др.].

Следует подчеркнуть, что большинство полученных результатов по рассматриваемому вопросу относится к спелым древостоям, работ же

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (09-04-00179 и 09-04-00803).

по молоднякам немного. Между тем решающим периодом в формировании лесных фитоценозов являются первые 30 лет жизни, поэтому именно молодняки представляют собой объект для наиболее эффективного управления ростом и развитием насаждений [3, 6]. Задачи по установлению закономерностей распределения деревьев в молодняках решаются гораздо труднее, чем в спелых древостоях. В молодняках нет “среднего” дерева, которое одновременно было бы “средним” по всему набору таксационно-биометрических показателей. Изменение распределения деревьев в ценозе по какому-то из показателей далеко не всегда сопровождается изменением среднего значения этого показателя. Последнее может иметь место (с некоторым приближением) в здоровом, спелом, чистом, одновозрастном древостое, характеризующемся близким к нормальному распределением биометрических характеристик деревьев [1, 9]. Среди работ по исследованию молодняков особое место занимает крупная монография В.С. Моисеева [13], большая часть которой посвящена изучению закономерностей распределения деревьев в молодняках по возрасту, диаметру, высоте, объему стволов в лесах европейской части России. Отдельное научное направление образуют работы, посвященные исследованию влияния густоты на рост и развитие молодняков [3–6, 16, 20, 22, 23 и др.]. К сожалению, в последнее время отмечается недостаток данных, получаемых в результате таксационных исследований, которые являются основой для изучения структуры и формирования молодняков, а уже имеющиеся данные 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 [15, 19, 21].

Из всего вышесказанного следует, что задачи установления закономерностей распределения деревьев в молодняках по возрасту, диаметру, высоте и другим таксационно-биометрическим показателям и выявления изменения их с густотой не утратили своей актуальности. Цель настоящей работы – на основе лесоводственно-таксационного исследования разногустотных сосновых молодняков естественного происхождения, формирующихся после рубок в юго-западном Приангарье, установить закономерности распределения в них деревьев по основным биометрическим показателям – диаметру, высоте и протяженности кроны.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Исследование сосновых молодняков естественного происхождения проводили в Почетском лесничестве Абанского лесхоза Красноярского края (юго-западное Приангарье, 57°12' с.ш., 96°30' в.д.). Молодняки сформировались в результате быстрого заселения вырубок и на момент исследования относились ко второму классу возраста. Подобранные для исследования ценозы имели средний возраст 28±5 лет и представляли собой густотный ряд с 19 вариантами густоты в пределах ее изменения от 1826 до 33381 шт. га⁻¹ (более подробно информация об объектах исследования, месте произрастания и методике сбора первичных данных изложена в работе [17]).

Эмпирические распределения деревьев в молодняках по диаметру, высоте и протяженности кроны анализировались по их основным статистическим характеристикам: стандартному отклонению σ , коэффициенту вариации $C.V.$, значениям асимметрии As и эксцесса Es , которые вычислялись по совокупности результатов измерений с использованием программного пакета “Microsoft Excel” (закономерности изменения с густотой средних значений биометрических показателей для этих же ценозов установлены ранее в работе [16]). Анализ асимметрии и эксцесса проводился по известным критериям: смещение вершины распределения относительно среднего считается малым, если $+0.2 < As < +0.5$ и $-0.2 > As > -0.5$, средним, если $0.5 < As < 1.0$ и $-0.5 > As > -1.0$ и большим при $As > 1$ и $As < -1$. При $Es < 0$ распределения плосковершинны, а при $Es > 0$ – островершинны относительно нормального распределения. Если $0.2 \geq As \geq -0.2$ и $-0.5 < Es < 0.5$, то распределение можно считать нормальным [8, 10]. Очевидно, что асимметрия и эксцесс могут определенным образом характеризовать важные биологические особенности объекта исследования.

Эмпирические густотные ряды распределений по биометрическим показателям выравнивали с использованием распределения χ^2 Пирсона. Статистика χ^2 , рассматриваемая как случайная переменная, имеет Γ -распределение и характеризуется плотностью распределения f :

$$f(x^2, \nu) = \frac{(\chi^2)^{\nu/2-1} e^{-\chi^2/2}}{2^{\nu/2} \Gamma\left(\frac{\nu}{2}\right)}, \chi^2 > 0 \quad (1)$$

Плотность распределения χ^2 непрерывна, асимметрична и унимодальна. Она зависит от числа степеней свободы ν . Этот параметр определяется числом случайных величин, сумма квадратов которых составляет χ^2 . С ростом ν плотность рас-

предела становится более пологой и симметричной. Распределение χ^2 Пирсона имеет очень широкий спектр применения. По нему можно выравнивать эмпирические кривые распределения разного вида – от резко асимметричного (включая *J*-образную кривую) до близкого к нормальному [7, 10, 12]. Широкие возможности закона распределения χ^2 Пирсона определили его применение в настоящей работе. Используя только один тип теоретического распределения, нами были выровнены эмпирические ряды распределения по диаметру, высоте и протяженности кроны, что позволило провести по ним совместный анализ. Оценка достоверности различия между распределениями (эмпирическим и теоретическим) проводилась по общему правилу оценки расхождений между гипотезой и данными наблюдений с помощью специальной таблицы χ^2 -распределения [10]. При расчете выравнивающих χ^2 -распределений использовали программный пакет “Статистика-6”.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Зависимости от густоты x стандартных отклонений рядов распределения по диаметру, высоте и протяженности кроны (σ_D , σ_H , σ_L соответственно), приведенные на рис. 1, удовлетворительно описываются убывающими степенными функциями:

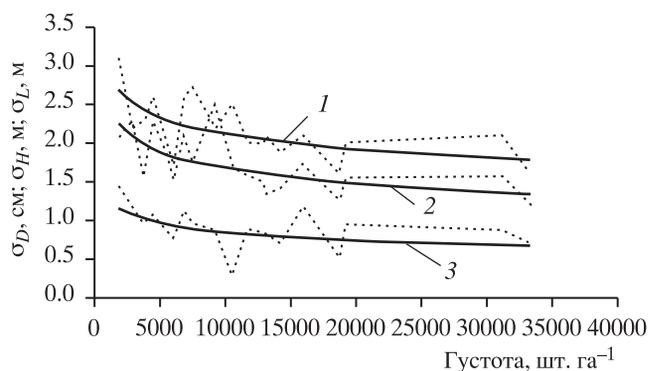


Рис. 1. Стандартное отклонение у рядов распределения деревьев в разногустотных молодняках сосны естественного происхождения по диаметру σ_D (1), σ_H (2), σ_L (3).

$$\sigma_D = 8.28 x^{-0.15} (R^2 = 0.42); \sigma_H = 8.68 x^{-0.18} (R^2 = 0.58); \sigma_L = 4.7 x^{-0.18} (R^2 = 0.52). \quad (2)$$

С использованием критерия Фишера показано, что убывание σ_D , σ_H , σ_L с увеличением густоты достоверно. Следовательно, ценозы с увеличением густоты становятся более однородными по всем трем биометрическим показателям. Темпы изменения σ_D , σ_H , σ_L с увеличением густоты практически одинаковы (рис. 1).

Коэффициенты вариации $C.V.$ (таблица) принимают довольно высокие значения во всем гу-

Коэффициенты вариации $C.V.$ эмпирических распределений деревьев в разногустотных ценозах по диаметру (D), высоте (H) и протяженности кроны (L)

Номер ценоза	Густота ценозов, шт. га ⁻¹	$C.V.(D)$, см	$C.V.(H)$, м	$C.V.(L)$, м
1	1826	56.4	37.0	47.2
2	2885	45.3	29.0	39.6
3	3822	45.6	28.0	32.8
4	4442	50.7	36.4	38.2
5	5645	42.2	22.5	29.3
6	6032	50.0	31.7	34.5
7	6830	53.7	31.5	37.6
8	7515	59.2	34.0	37.6
9	9172	52.4	29.0	31.5
10	10522	58.8	37.0	50.8
11	11732	47.7	29.6	41.7
12	12915	48.4	30.6	39.6
13	13128	52.6	28.0	44.7
14	14199	46.4	28.0	34.4
15	15919	55.2	34.2	43.3
16	18741	48.4	24.9	30.4
17	19208	43.9	25.0	32.2
18	31188	61.8	34.0	48.2
19	33381	51.8	29.0	41.1

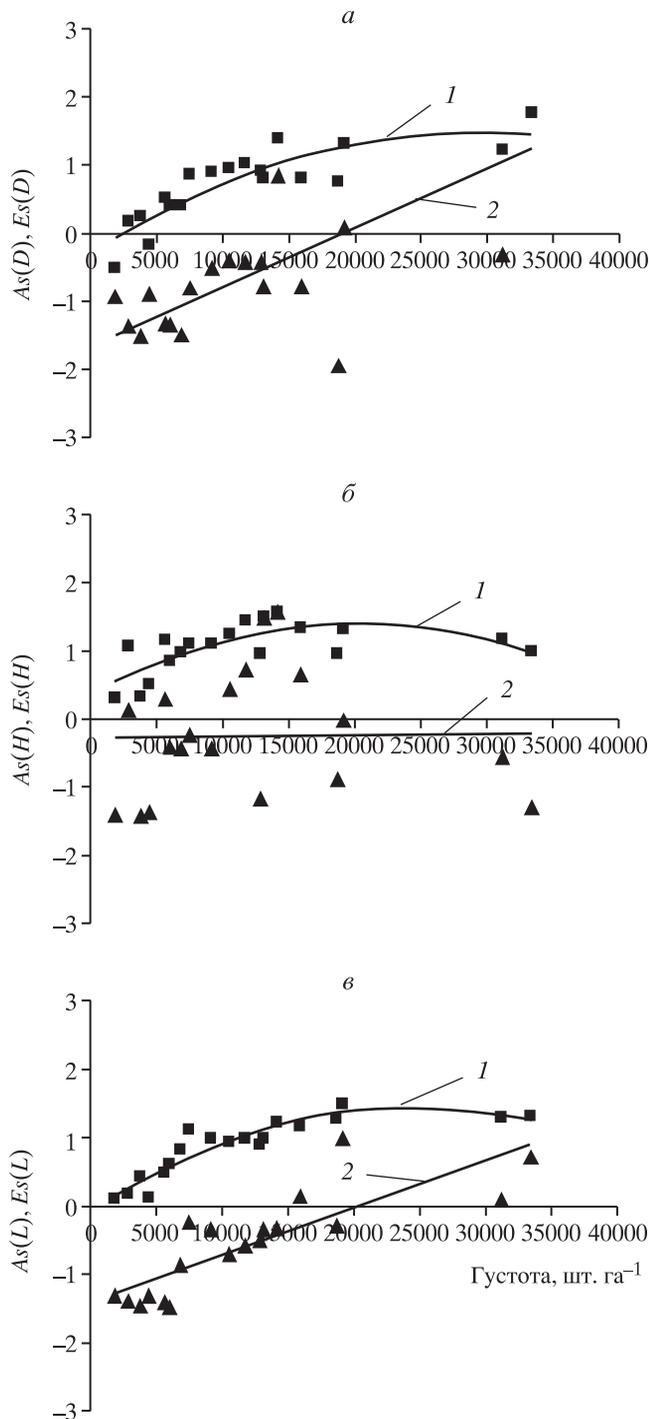


Рис. 2. Асимметрия (1) и эксцесс (2) у эмпирических густотных рядов распределения деревьев в молодняках по диаметру (а), высоте (б) и протяженности кроны (в).

стотном диапазоне, что указывает на среднюю и высокую степень изменчивости биометрических показателей [8]. Коэффициенты вариации фактически не зависят от густоты. Это, очевидно, является следствием того, что оба параметра, т.е. стандартное отклонение (рис. 1) и среднее [17],

через которые определяется коэффициент вариации, являются убывающими функциями густоты. Важно отметить (таблица), что степень изменчивости протяженности кроны (30–50%) выше, чем высоты (22–37%), но значительно ниже, чем диаметра (42–59%). Таким образом, исследованные ценозы наименее однородны по диаметру и наиболее однородны по высоте деревьев.

Зависимости от густоты асимметрии As_D , As_H , As_L и эксцесса Es_D , Es_H , Es_L у рядов распределения по ступеням толщины, высоты и протяженности кроны приведены на рис. 2 (кривые 1 и 2 соответственно). Исходя из критериев, приведенных выше, все распределения отличаются от нормальных. Абсолютное большинство распределений имеют правостороннюю асимметрию (As_D , As_H , $As_L > 0$). Это значит, что вершина распределений сдвинута влево от положения среднего дерева. As_D , As_H , As_L плавно возрастают с увеличением густоты, переходят через максимум при густоте 22000–26000 шт. га⁻¹ и при дальнейшем увеличении густоты до 33381 шт. га⁻¹ слабо убывают (рис. 2а, б, в кривая 1). Следовательно, при увеличении густоты возрастание количества мелких деревьев в ценозе происходит быстрее, чем исчезновение наиболее крупных.

Эмпирические распределения деревьев по диаметру, высоте и протяженности кроны слабо и умеренно эксцессивны. В “низкогустотных” ценозах (1826–7515 шт. га⁻¹) распределения по диаметру и протяженности кроны плосковершинны, а в загущенных (густотой более 25000 шт. га⁻¹) – островершинны (рис. 2а–2в, кривая 2). Эксцесс у ряда распределения деревьев по высоте (рис. 2б, кривая 2) по значению близок к значениям для нормального распределения и фактически не зависит от густоты. Изменение с густотой x асимметрии и эксцесса распределений по диаметру (As_D , Es_D), высоте (As_H , Es_H) и протяженности кроны (As_L , Es_L) удовлетворительно описывают уравнения:

$$As_D = -2 \cdot 10^{-9} x^2 + 10^{-4} x - 0.295 \quad (R^2 = 0.76),$$

$$As_H = -3 \cdot 10^{-9} x^2 + 10^{-4} x + 0.36 \quad (R^2 = 0.74), \quad (3)$$

$$As_L = -2 \cdot 10^{-9} x^2 + 10^{-4} x - 0.070 \quad (R^2 = 0.87),$$

$$Es_D = 9 \cdot 10^{-5} X - 1.65 \quad (R = 0.67),$$

$$Es_H = 10^{-6} X - 0.27 \quad (R = 0.015),$$

$$Es_L = 7 \cdot 10^{-5} X - 1.42 \quad (R = 0.83). \quad (4)$$

В литературе высказана гипотеза, что асимметрия и эксцесс могут возникать у распределений

вследствие модифицирующих влияний условий среды обитания популяций. Например, в работах Иогансена (1933) и Константинова (1952) (цит. по: [8]) наличие асимметрии некоторых признаков у сельскохозяйственных растений связывалось с такими условиями, как засуха и неоднородность питания. В нашем случае в числе главных модифицирующих факторов следует, очевидно, рассматривать молодой возраст и густоту. В процессе взросления и естественного изреживания распределение деревьев в древостоях по морфологическим признакам все более будет приближаться к нормальному, как это и было показано в работах ряда исследователей на других объектах [1, 9].

Выравнивающие распределения по диаметру, высоте и протяженности кроны (рис. 3) имеют те же особенности, что и эмпирические. Они асимметричны и эксцессивны, имеют один выраженный максимум, с увеличением густоты становятся выше и уже, вершина распределений, составляющих густотные ряды по биометрическим показателям, сдвигается в сторону меньших значений показателя. 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 ценозах густотой 1826–7515 шт. га⁻¹ деревья сантиметровой ступени толщины составили 1–2%. При дальнейшем увеличении густоты встречаемость таких деревьев постепенно увеличивалась и составила 18% в ценозе густотой 33381 шт. га⁻¹. Самые крупные по толщине деревья, которые были отмечены при исследовании густотного ряда молодняков, имели ступень толщины 11 см. Они встречались только в наименее плотных ценозах (1826 и 3822 шт. га⁻¹) и составили 3–5%. С увеличением густоты верхняя ступень толщины в ценозе становилась все ниже: при густоте 6830–10522 шт. га⁻¹ – 8–9 см, а при предельной густоте диапазона (33381 шт. га⁻¹) – всего 4 см. Деревья наиболее часто встречающейся максимально представленной ступени толщины образуют группу, численность которой (%) соответствует максимуму распределения для данного ценоза. С увеличением густоты ценоза ступень максимально представленной толщины убывает, а число деревьев этой ступени толщины возрастает. Так, в ценозе с густотой 1826 шт. га⁻¹ 14% деревьев имеют максимально представленную ступень толщины 6 см, в ценозах с густотой 9172–15919 шт. га⁻¹ 34–38% деревьев имеют максимально представленную ступень толщины 3 см, а при густоте 33381 шт. га⁻¹ 68% деревьев имеют максимально

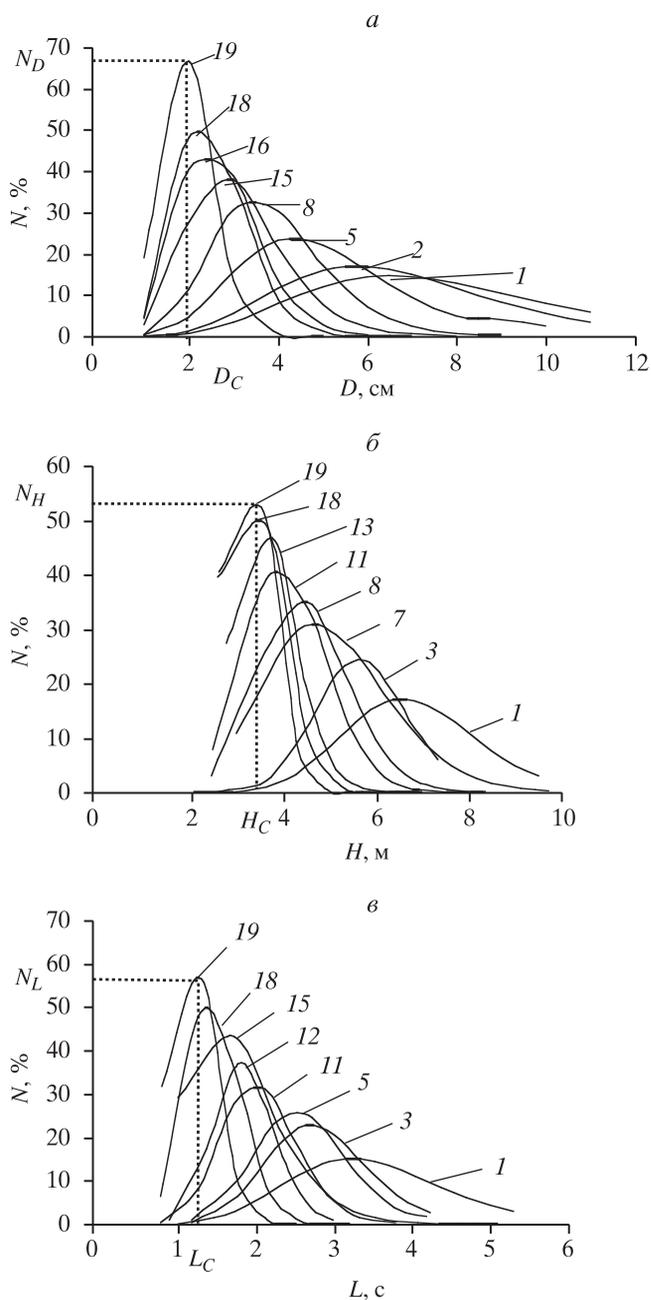


Рис. 3. Густотные ряды распределения деревьев по диаметру D (а), высоте H (б) и протяженности кроны L (в) в ценозах с 19 вариантами густоты (соответствующие значения густоты приведены в таблице): D_c , N_D (а); H_c , N_H (б); L_c , N_L (в) – характеристики максимума в соответствующих рядах распределений.

представленную ступень толщины 2 см. Таким образом, при увеличении густоты молодняки постепенно становятся более тонкомерными и однородными по толщине.

Гетерогенность строения разногустотных ценозов по высоте деревьев. Ряды распределения молодняков по высоте устанавливались на основе данных сплошных перечетов и по модельным

деревьям. При этом модельные деревья объединялись в однородные совокупности по средним диаметрам через 1 см. Выравнивающие распределения с наблюдаемыми частотами представлены на рис. 3б. Деревья сантиметровой ступени толщины имели ступень высоты не ниже двухметровой и в ценозах густотой 1826–3822 шт. га⁻¹ составили 1–2%. При дальнейшем увеличении густоты встречаемость таких деревьев постепенно увеличивалась и составила 35–40% в наиболее густых ценозах (31188–33381 шт. га⁻¹). Самые высокие деревья составили ступень высоты 10 м; они встречались только в сравнительно редких ценозах (1826–3822 шт. га⁻¹) и составили 1–4%. С увеличением густоты верхняя ступень высоты становилась все ниже: при густоте 7515 шт. га⁻¹ – 8 м, а при густоте 33381 шт. га⁻¹ – всего 5 м. Деревья наиболее часто встречающейся максимально представленной ступени высоты образуют в ценозе группу, численность которой (%) соответствует максимуму распределения. С увеличением густоты максимально представленная ступень высоты убывает, а число деревьев этой ступени возрастает (рис. 3б). Так, в ценозе с густотой 1826 шт. га⁻¹ 15% деревьев имеют максимально представленную ступень высоты 6 м, а при густоте 33381 шт. га⁻¹ максимально представленную ступень высоты – 3 м – имеют уже 53% деревьев ценоза. Таким образом, при увеличении густоты ценозы постепенно становятся более низкорослыми и однородными по высоте.

Гетерогенность строения разногустотных ценозов по протяженности кроны деревьев. Ряд распределения молодняков по протяженности кроны устанавливался аналогично таковому по высоте (рис. 3в). В ценозах с густотой 1826–5645 шт. га⁻¹ деревья самой низкой, метровой ступени протяженности кроны составили 1–2%. При дальнейшем увеличении густоты встречаемость таких деревьев постепенно увеличивалась и составила 50–55% в наиболее плотных ценозах (31188–33381 шт. га⁻¹). С увеличением густоты ценоза верхняя ступень протяженности кроны становилась все ниже: в наименее плотном ценозе (1826 шт. га⁻¹) – 5 м, в ценозах с густотой 3822–12915 шт. га⁻¹ – 4 м, а с густотой 33381 шт. га⁻¹ – всего 2 м. Деревья наиболее часто встречающейся максимально представленной ступени протяженности кроны образуют в ценозе группу, численность которой (%) соответствует максимуму распределения. С увеличением густоты ценоза максимально представленная ступень протяженности кроны убывает, а численность деревьев этой ступени (%) возрастает (рис. 3в). Так, в ценозе с густотой 1826 шт. га⁻¹ 15% деревь-

ев имеют максимально представленную ступень протяженности кроны 3 м, в ценозе с густотой 11732 шт. га⁻¹ максимально представленная ступень 2 м характерна для 30% деревьев, а при густоте 33381 шт. га⁻¹ максимально представленную ступень – 1 м – имеют уже 57% деревьев ценоза. То есть с увеличением густоты древесный полог ценозов становится менее протяженным и в целом более однородным.

Таким образом, с увеличением густоты ценозы становятся более тонкомерными, низкими, с небольшой протяженностью полога (речь идет об его вертикальной составляющей). В ходе дифференциации под воздействием указанного фактора гетерогенность строения ценозов уменьшается вследствие того, что уменьшаются размеры самых крупных деревьев, входящих в ценоз, и увеличивается количество самых мелких деревьев с плохо развитой кроной. К этому приводит ужесточение конкурентных взаимоотношений между деревьями и формирование таких условий, которые неприемлемы для развития крупных деревьев.

Зависимости положения вершины от густоты x в густотных рядах распределения деревьев по диаметру, высоте и протяженности кроны описаны 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 – количество деревьев (%), встретившихся с этими показателями в ценозе с густотой x :

$$\begin{aligned} D_c &= 132.9 x^{-0.40} (R^2 = 0.97); \\ H_c &= 48.3 x^{-0.26} (R^2 = 0.82); \\ L_c &= 35.2 x^{-0.31} (R^2 = 0.93). \\ N_D &= 0.32 x^{0.5} (R^2 = 0.90); \\ N_H &= 2.07 x^{0.32} (R^2 = 0.72); \\ N_L &= 0.77 x^{0.41} (R^2 = 0.87). \end{aligned} \quad (5)$$

Параметр D_c в относительно низкогустотных ценозах (до 10000 шт. га⁻¹) убывает с густотой значительно быстрее, чем H_c и L_c (рис. 4). При дальнейшем увеличении густоты темпы убывания D_c , H_c и L_c различаются несущественно. Параметры N_D , N_H и N_L близки по значению, и темпы их роста с густотой приблизительно одинаковы. Таким образом, ход дифференциации деревьев в ценозах исследуемого густотного ряда под влиянием фактора густоты имеет следующие особенности. Сравнительно низкогустотные ценозы (1836–10000 шт. га⁻¹) наиболее чувствительны,

а перегущенные (выше 20000 шт. га⁻¹) теряют чувствительность к фактору густоты. Разную чувствительность к фактору густоты имеют и биометрические показатели: максимально представленная ступень толщины более чувствительна по сравнению с максимально представленными ступенями высоты и протяженности кроны (что также присуще только “низкогустотным” ценозам). У деревьев с этими показателями, представляющими большинство в ценозе, с увеличением густоты быстрее уменьшается диаметр, чем высота и протяженность кроны. 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 прирост в высоту, и только после – на радиальный прирост. Этот результат согласуется с результатами, полученными В.В. Мироновым с соавт. на других объектах [11].

Уравнения связи (2–6), по нашему мнению, можно применить и для других молодняков сосны естественного происхождения той же возрастной группы, формирующихся в юго-западном Приангарье в лишайниковом, лишайниково-брусничном, бруснично-зеленомошном и близком к ним типам леса, в силу того, что происходящие в них процессы лесовозобновления близки по динамике [2, 17]. При этом для уточнения коэффициентов в уравнениях нет необходимости проводить лесоводственно-таксационные исследования длинного густотного ряда (что особенно важно); достаточно подобрать ценозы, характеризующиеся двумя значениями густоты (по числу коэффициентов в уравнении).

Заключение. В ходе дифференциации под воздействием фактора густоты гетерогенность строения молодняков сосны естественного происхождения второго класса возраста уменьшается вследствие того, что уменьшаются размеры самых крупных деревьев, входящих в ценоз, и увеличивается количество самых мелких деревьев с плохо развитой кроной. Низкогустотные молодняки (густотой до 10000 шт. га⁻¹) более чувствительны, а перегущенные (с густотой выше 20000 шт. га⁻¹) теряют чувствительность к фактору густоты. Деревья, представляющие в ценозе большинство по биометрическим показателям, с увеличением густоты быстрее снижают свой диаметр, чем высоту и протяженность кроны. Это свидетельствует о том, что при увеличении густоты обостряется, прежде всего, конкуренция за свет. Полученные зависимости густотных рядов распределения по диаметру, высоте и протяженности кроны могут использоваться для планирования результатов це-

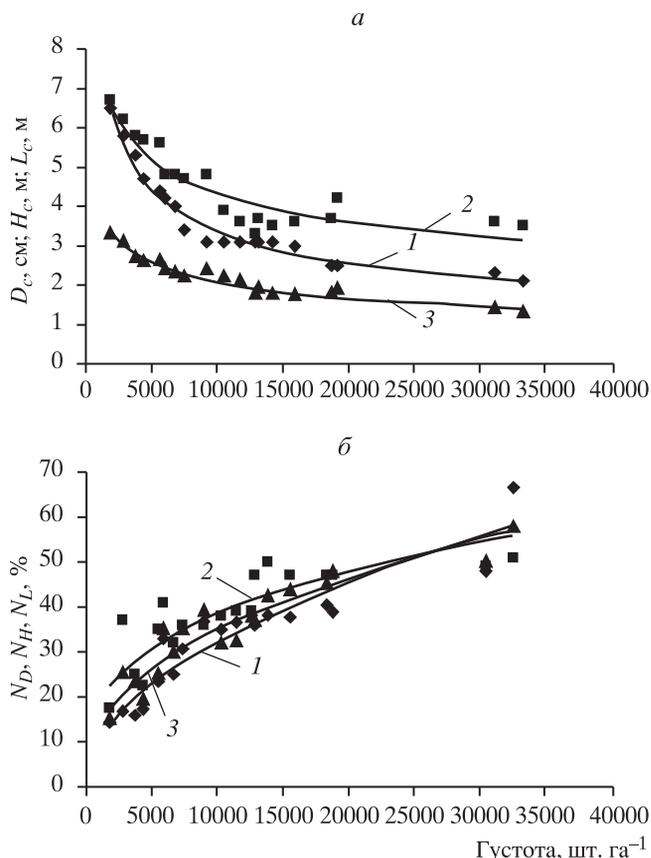


Рис. 4. Зависимость от густоты положения вершины D_c , H_c , L_c (а) и N_D , N_H , N_L (б) у рядов распределения деревьев в ценозах по диаметру, высоте и протяженности кроны.

левого хозяйственного воздействия на молодняки сосны близких типов леса посредством регулирования густоты.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы искренне признательны Алексею Ивановичу Бузыкину, руководителю выполняемых в ИЛ СО РАН работ по изучению влияния густоты на процесс формирования молодняков естественного и искусственного происхождения, за ценные советы и замечания в течение всего периода исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абаимов А.П., Бондаре А.И., Зырянова О.А., Шитова С.А. Леса Красноярского Заполярья. Новосибирск: Наука, 1997. 208 с.
2. Анучин Н.П. Лесная таксация. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1960. 527 с.
3. Бузыкин А.И. Изучение естественного формирования молодняков // Формирование молодняков хвойных пород. Новосибирск: Наука, 1982. С. 5–24.

4. Бузыкин А.И., Пшеничникова Л.С. Влияние густоты на морфоструктуру и продуктивность культур сосны // Лесоведение. 1999. № 3. С. 38–43.
5. Бузыкин А.И., Пшеничникова Л.С., Суховольский В.Г. Густота и продуктивность древесных ценозов. Новосибирск: Наука, 2002. 151 с.
6. 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.
7. Кобзар А.И. Прикладная математическая статистика. М.: Физматлит, 2006. 813 с.
8. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высш. шк., 1973. 343 с.
9. Макаренко А.А., Смирнов Н.Т. Формирование сосновых и сосново-березовых насаждений. Алма-Ата: Кайнар, 1973. 187 с.
10. Маринеску И., Мойнягу Ч., Никулеску Р., Ранку Н., Урсяну В. Основы математической статистики и ее применение. М.: Статистика, 1970. 223 с.
11. Миронов В.В., Калякич А.Б., Шильников Н.Г. Некоторые закономерности саморегуляции роста и его торможения у хвойных пород // Лесоведение. 1974. № 4. С. 9–15.
12. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. М.: Наука, 1971. 576 с.
13. Моисеев В.С. Таксация молодняков. Л.: Изд-во Лесотехнической академии, 1971. 344 с.
14. Никитин К.Е. Лес и математика // Лесн. хоз-во. 1965. № 5. С. 25–29.
15. Побединский А.В. Воспроизводство лесов на вырубках тайги // Лесоведение. 1986. № 5. С. 3–9.
16. Рубцов В.И. Опыт сгущенных посадок сосны в площадки // Ботан. журн. 1954. № 3. С. 197–202.
17. 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 разнототных сосновых молодняков в юго-западном Приангарье // Лесоведение. 2009. № 2. С. 1–7.
18. Третьяков Н.В., Горский П.В., Самойлович Г.Г. Справочник таксатора. М.: Лесн. пром-сть, 1965. 853 с.
19. Abaimov A.P., Zyryanova O.A., Prokushkin S.G., Koike T., Matsuura Y. Forest ecosystems of the cryolithic zone of Siberia; regional features, mechanisms of stability and pyrogenic changes // Eurasian J. For. Res. 2000. N 1. P. 1–10.
20. Baskerville G.L. Dry-matter production in immature balsam fir stands // For. Sci. Monogr. 2004. V. 9. P. 1–42.
21. Chen W. Tree size distribution functions of four boreal forest types for biomass mapping // For. Sci. 2004. V. 50. N 4. P. 436–449.
22. 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.
23. Sobachkin R.S., Sobachkin D.S., Buzykin A.I. The influence of stand density on growth of tree conifer species // Tree species effects on soil: implications for global change. NATO Sci. Series. Dordrecht: Kluwer Acad. Publ., 2005. P. 247–255.

The Influence of Density on Distribution of Trees by Biometric Parameters in Young Pine Forests

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

The first thirty years of life is a determining period in the formation of forest phytocenoses. Therefore, precisely young forests are an object for effective management of stands. Young pine forests of the second class were studied in 19 stocking variants that are formed in felled areas of the southwestern Angara River basin (Krasnoyarsk krai, Abansk Forestry Enterprise, Pochetsk Forestry). The stocking varied from 1826 to 33381 ind. ha⁻¹. The main relations between the main statistic characteristics of stocking series of tree distribution by diameter, height, and crown length were revealed. Using χ^2 Pearson distributions, the course and rates of tree differentiation in the cenoses under the influence of the stocking factor were analyzed. The phytocenoses were shown to become lower and their trees are thinner with the small crown length. Their structure becomes more uniform due to the fact that the number of small trees with poorly developed crowns increases. The phytocenoses with low stocking (1836–10000 ind. ha⁻¹), as compared to those with a stocking of more than 20000, are the most sensitive to the stocking factor. With increasing the stocking, the thickness degree is faster reduced as compared to those of the height and crown length. In increasing the stocking of stands, competition for light and photosynthesis products are first spent for height increment and maintenance of the photosynthetic apparatus, which provides the height increment first of all and then, radial increment.