

## ВЛИЯНИЕ ГУСТОТЫ ЦЕНОЗА НА БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕРЕВЬЕВ ЕЛИ СИБИРСКОЙ

Р.С. Собачкин, Д.С. Собачкин, **А.И. Бузыкин**, Л.С. Пшеничникова.

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН  
660036 Красноярск, Академгородок, 50/28; e-mail: romans@ksc.krasn.ru

Работа поддержана РФФИ и ККФН (гранты РФФИ-Енисей 07-04-96804 и 07-04-96827)

В искусственных молодняках ели сибирской с 18 вариантами первоначальной густоты ценоза от 0,5 до 128 тыс. шт. га<sup>-1</sup> исследована реакция культур на собственную плотность в возрасте 25 лет. Выявлено существенное влияние густоты молодняков на отпад деревьев и основные биометрические показатели деревьев ели. В густотном ряду в 25-летнем возрасте в диапазоне от 0,3 до 32 тыс. шт. га<sup>-1</sup> биометрические показатели деревьев изменяются в диапазоне: диаметр – от 1 до 27 см, высота – от 1,8 до 15,4 м, начало прикрепления кроны – от 0,2 до 7,3 м, протяженность кроны деревьев – от 0,2 до 12,4 м, диаметр кроны деревьев – от 0,3 до 6,9 м. Существенно различаются и относительные показатели роста деревьев: относительная высота (H/D) – от 43 до 360 и Lcr/Dcr – от 1,8 до 4,2.

**Ключевые слова:** густота насаждений, биометрические показатели, отпад деревьев, ценоз

Responses of biometric parameters of trees to stand density was investigated in 25-yr.-old Siberian spruce plantations that had been planted with densities ranging 0,5 to 128,0 thousand individuals per hectare. Stand density was found to have a significant influence on tree mortality and the major stand biometric parameters. Tree diameter appeared to vary from 1 to 27cm, height from 1,8 to 15,4m, distance to tree crown from 0,2 to 7,3m, with crown length and diameter ranging 0,2 to 12,4m and 0,3 to 6,9m, respectively, in the 25-year-old Siberian spruce stands under study covering a range of densities from 0,3 to 32,0 thousand trees per hectare. Tree growth parameters were also determined to vary considerably among the stands, with the variations being 43-360 for relative tree height (Htr/DBH) and 1,8-4,2 for Lcr/Dcr ratio.

**Key words:** stand density, biometric parameters, tree mortality, cenosis

### ВВЕДЕНИЕ

Исследование густоты древесных ценозов имеет достаточно длительную историю (Эйтинген, 1918; Мартынов, 1974; Титов, 1978; Рябоконь, 1979; Гордиенко и др., 1992; Бузыкин, Пшеничникова, 1999; Бузыкин, Пшеничникова, Суховольский 2002; Sobachkin, Sobachkin, Vuzukin, 2005 и др.). Эти работы касаются, как правило, сосновых культур и молодняков естественного происхождения. Работы о влиянии плотности ценоза на биометрические показатели деревьев и структуру ценозов ели, как искусственных, так и естественных, носят единичный характер (Кайрюкшис, Юодвалькис, 1974; Вагин, 1996; Петров, 1997; Мерзленко, Мельник, 1998).

Большинство исследований было направлено на поиск экономичной начальной густоты культур, малозатратных приемов, способов и в целом систем лесовыращивания, которые включали удешевление посадки, уход за культурами, разреживания и обрезку сучьев для повышения качества и коммерческой ценности древесины конечного запаса и промежуточного пользования. Для этих целей обычно использовали 2-5 и редко 6-8 целесообразных и приемлемых для практики вариантов начальной густоты ценозов, из которых впоследствии определялся наиболее рентабельный по разности между ценой реализуемой древесины и суммой издержек на ее выращивание.

Однако практически во всех экспериментах и наблюдениях отсутствуют данные, характеризующие свободное стояние деревьев и сильное загущение, что затрудняет однозначно оценить экологиче-

скую роль густоты в формировании древесных ценозов. Заменить экспериментальное лесовыращивание при разной густоте набором пробных площадей в естественных древостоях невозможно, т.к. одна и та же текущая густота может отражать разную историю формирования и роста ценозов (Усольцев, 1994).

К настоящему времени уже в достаточной степени изучены преимущества и недостатки густых и редких культур. Вместе с тем пока нет еще единого представления о влиянии густоты на высоту культур, общую производительность, запас древесины к моменту главной рубки, дифференциацию деревьев по высоте, диаметру и другим биометрическим показателям.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Объект исследований представляет собой культуры ели сибирской, созданные в 1982 г. в подзоне южной тайги (Большемуртинский лесхоз Красноярского края) сотрудниками Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН под руководством А.И. Бузыкина, на серых лесных почвах в однородных лесорастительных условиях из 18 вариантов густоты (от 0,5 до 128,0 тыс. шт.га<sup>-1</sup>) (табл. 1). Площадь под опытные культуры, на которой в прошлом произрастали темнохвойные леса с участием сосны обыкновенной и лиственницы сибирской, длительное время находилась в сельскохозяйственном обороте. Для посадки по квадратной схеме использовали двухлетние сеянцы. Площадь каждого варианта определялась густотой и равнялась 0,01-1,0 га с посадкой не

менее 500 растений, причем для вариантов с густотой культур от 48 до 128 тыс. шт.га<sup>-1</sup> число посадочных мест увеличивалось соответственно от 10 до 40 %, по конфигурации она близка к квадратной. Участки примыкали друг к другу без разрывов, образуя целостный блок.

Исследования проводились по общепринятым методикам (Побединский, 1966; Моисеев, 1971). На участках каждого варианта густоты была проведена таксация: пересчет деревьев, замеры высот по ступеням толщины, высот прикрепления крон деревьев, протяженности (длины) и диаметра крон. Опущенные ряды исключались из общего пересчета.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Густота древесных сообществ оказывает влияние как на дифференциацию деревьев в ценозе, так и на отмирание деревьев (отпад). С увеличением густоты ценозов возрастает величина отпада деревьев. Первоначально густота ценоза регулируется сохранностью, приживаемостью сеянцев и конкуренцией с травянистой растительностью за ресурсы среды. По

мере роста деревьев и увеличения сомкнутости древесного полога, роль регулятора численности переходит к процессу естественного изреживания, обусловленного ценозическими взаимодействиями. Как показали наши исследования в 25-летних экспериментальных культурах, зависимость отпада деревьев от густоты молодняков носит нелинейный характер (табл. 1). Максимальная величина отпада соответствует ценозам с максимальной начальной густотой посадки и составляет 81 %, минимальная – 30 % зафиксирована при начальной плотности до 4,0 тыс. шт. га<sup>-1</sup>. Вероятно, при такой начальной густоте в ценозе складываются оптимальные условия для роста, конкурентные отношения за ресурсы еще не обостряются.

Несмотря на значительный отпад деревьев в загущенных ценозах, тем не менее, относительная полнота остается очень высокой (табл. 1). Наименьшая относительная полнота в ценозах ели отмечена при минимальной густоте 0,3 тыс. шт.га<sup>-1</sup> и составила 0,24, а наибольшая превышает более чем в 2,5 раза полноту «нормального» ценоза и соответствует диапазону густоты от 24,7 до 32,0 тыс. шт.га<sup>-1</sup>.

Таблица 1 - Показатели густотного ряда 25-летних ценозов ели

№ варианта	Начальная густота, тыс.шт.га <sup>-1</sup>	Фактическая густота, тыс.шт.га <sup>-1</sup>	Отпад деревьев, %	Относительная полнота
1	0,5	0,3	48	0,24
2	0,75	0,5	37	0,28
3	1	0,5	55	0,28
4	1,5	0,7	53	0,44
5	2	1,1	45	0,49
6	3	1,8	42	0,57
7	4	2,8	30	0,76
8	6	2,4	60	0,69
9	8	4,1	49	1,05
10	10	4,5	55	1,20
11	12	5,3	56	1,75
12	16	6,8	58	1,56
13	24	8,5	65	1,55
14	32	17,5	45	2,34
15	48	18,2	62	2,42
16	64	32,0	50	2,51
17	96	26,7	72	2,53
18	128	24,7	81	2,53

Различия в таксационных показателях молодняков объясняются ценозическими эффектами, обусловленными разной густотой. Если снижение величины среднего диаметра в загущенных ценозах происходит за счет накопления тонкомера и уменьшения числа крупных особей вследствие конкурентного взаимодействия, то в относительно редких посадках увеличение толщины стволов является результатом отсутствия или слабого ценозического взаимодействия между деревьями.

Диаметр деревьев наиболее четко фиксирует конкурентные условия роста. С увеличением густоты молодняков от состояния свободного роста до сильного загущения средний диаметр снижается от 16,8±0,9 см (0,3 тыс. шт.га<sup>-1</sup>) до 4,6±0,5 см (32 тыс. шт.га<sup>-1</sup>). Зависимость среднего диаметра деревьев от густоты ценозов очень тесная

( $R^2=0,96$ ), аппроксимируется степенным уравнением (рис. 1а).

В разногустотных посадках амплитуда диаметра деревьев с густотой уменьшается (рис. 1а). В редких по густоте ценозах диаметр деревьев-лидеров достигает 27 см, в перегущенных молодняках этот показатель в 3 раза меньше (9 см). Зависимость максимальных диаметров деревьев от густоты древостоя тесная ( $R^2=0,84$ ), аппроксимируется степенным уравнением. Деревья с минимальными диаметрами в густотном ряду имеют амплитуду от 1 до 5 см, причем наиболее представлены деревья диаметром 1 см. Теневыносливость ели позволяет длительное время сохраняться внутри ценоза деревьям, сильно отставшим в росте, с плохо развитой кроной. Связь деревьев минимального диаметра с плотностью ценозов невысокая ( $R^2=0,36$ ).

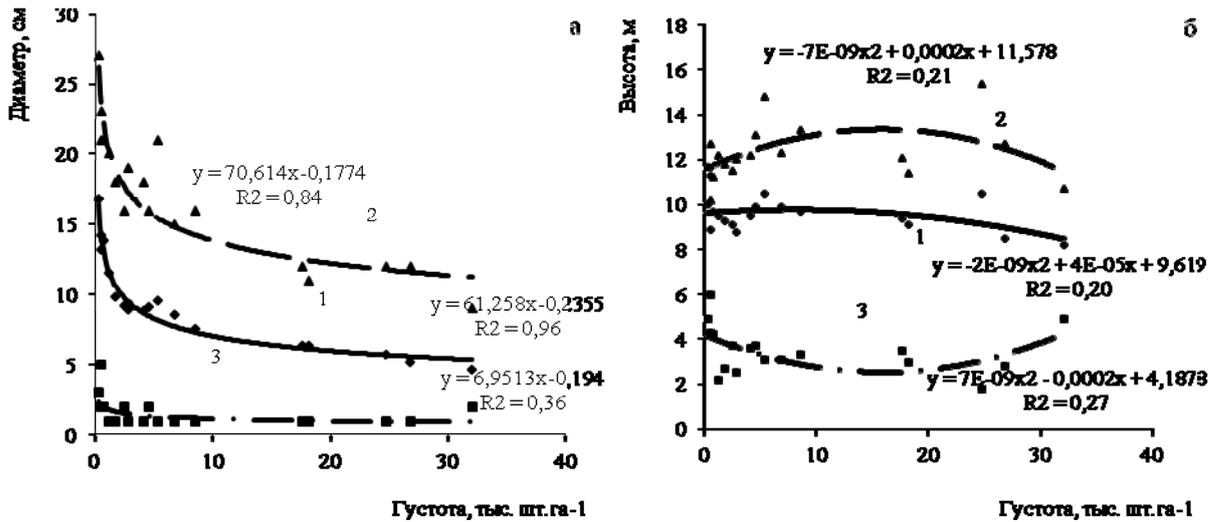


Рисунок 1 - Зависимость средних (1), максимальных (2) и минимальных диаметров (а) и высот (б) деревьев от густоты молодняков

Средняя высота деревьев в ценозах ели колеблется в пределах от  $8,2 \pm 0,4$  ( $32 \text{ тыс. шт. га}^{-1}$ ) до  $11,3 \pm 0,4$  м ( $0,5 \text{ тыс. шт. га}^{-1}$ ) (рис. 1б). Достоверного увеличения или уменьшения средней высоты деревьев с возрастанием густоты молодняков не прослеживается, связь слабая ( $R^2=0,20$ ). Максимальные значения высот в густотном ряду изменяются в пределах от 10,2 до 15,4 м, что существенно превышает средние показатели; минимальные значения высот варьируют от 1,8 до 6 м. Наибольшие значения этого показателя встречаются в относительно редких (из-за отсутствия острой конкуренции между деревьями) и в перегушенных насаждениях, из-за более интенсивного процесса «подгонки» деревьев в высоту в борьбе за свет. В средних по густоте молодняках

наблюдается некоторое снижение высоты деревьев ели.

Ряды распределения относительного количества деревьев по диаметру в молодняках невысокой густоты характеризуются большей растянутостью по сравнению с загущенными за счет широкой представленности примерно в равном отношении как крупных, так и мелких деревьев. С увеличением густоты за счет накопления тонкомера и снижения числа крупных деревьев ряды распределения смещаются в сторону меньших диаметров (рис. 2а); в ценозах невысокой густоты они имеют вид широкого колокола. Это происходит вследствие низкой дифференциации деревьев и слабого проявления механизма регуляции роста и численности деревьев.

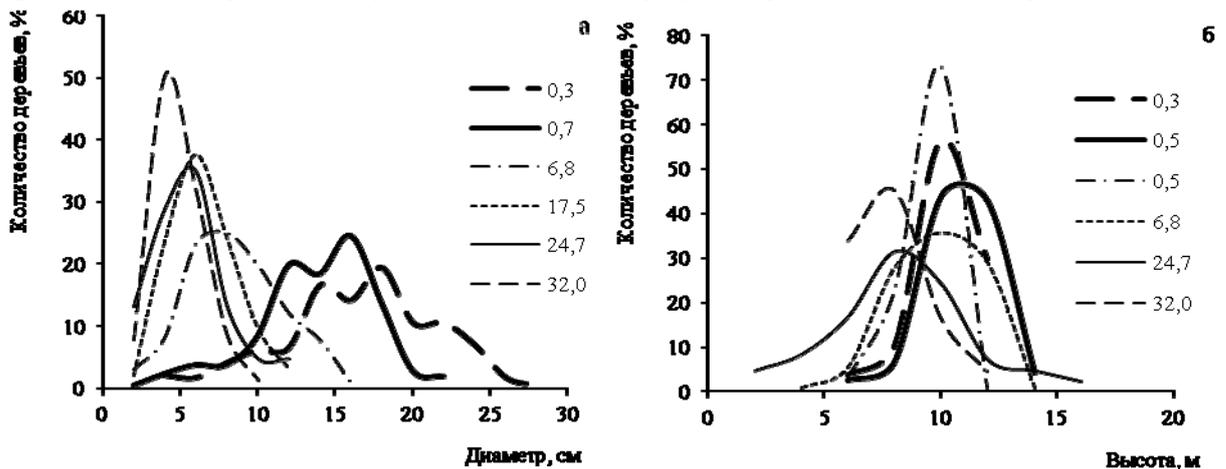


Рисунок 2 - Ряды распределения относительного количества деревьев по диаметру (а) и высоте (б) в ценозах ели разной густоты; цифрами указана фактическая густота ценозов

Ряды распределения деревьев по высоте показали, что относительно редкие по густоте ценозы характеризуются слабой дифференциацией деревьев по высоте ( $0,3-0,5 \text{ тыс. шт. га}^{-1}$ ). Количество деревьев с предельно максимальными и минимальными высотами единично. Основная доля деревьев в них (до 70 %) имеют высоту близкую к средней. По мере увеличения густоты молодняков ряды рас-

пределения по высоте становятся более широкими ( $24,7 \text{ тыс. шт. га}^{-1}$ ) за счет увеличения доли деревьев очень высоких и очень низких (высокая степень дифференциации) вследствие очень острой конкуренции между деревьями за свет еще на ранних этапах формирования ценоза, либо иметь форму «односторонней» кривой ( $32 \text{ тыс. шт. га}^{-1}$ ) из-за того, что большая часть угнетенных деревьев пере-

шла в отпад. Не последнюю роль здесь играет способность каждого дерева адаптироваться к условиям роста и конкурировать за ресурсы среды, в данном случае, в большей степени, за свет.

Для оценки конкурентных взаимоотношений между деревьями в разнугустотных ценозах мы использовали такой показатель как высота прикрепления кроны деревьев (расстояние от поверхности почвы до начала древесной кроны) (рис. 3а). Увеличение этого показателя с густотой ценозов указывает на возрастание конкуренции между деревьями, нижние ветви древесной кроны постепенно отмирают из-за недостатка света. В культурах ели минимальная средняя высота прикрепления кроны деревьев составляет  $0,3 \pm 0,1$  м (соответствует густоте  $0,5$  тыс. шт.га<sup>-1</sup>), максимальное среднее значение этого параметра  $5,1 \pm 0,4$  м зафиксировано при фактической густоте  $24,7$  тыс. шт.га<sup>-1</sup>. В целом же

средняя высота прикрепления кроны в молодняках ели с возрастанием густоты ценозов от  $0,3$  до  $32,0$  тыс. шт.га<sup>-1</sup> увеличивается в  $17$  раз. Связь между средней высотой прикрепления кроны деревьев и густотой насаждений очень тесная ( $R^2=0,92$ ), зависимость хорошо аппроксимируется полиномиальным уравнением. Наименьший показатель высоты прикрепления кроны деревьев внутри разнугустотных культур ели варьирует от  $0,2$  ( $0,3$  тыс. шт.га<sup>-1</sup>) до  $3,9$  м ( $32$  тыс. шт.га<sup>-1</sup>). Максимальные значения данного показателя, соответствующие деревьям-лидерам в перегущенных ценозах ели, могут достигать  $7,3$  м. В редких же молодняках наибольшая высота прикрепления кроны деревьев не превышает  $0,4-0,5$  м независимо от размера дерева и положения в ценозе, т.е. крона низкоопущена. Это объясняется биологическими особенностями данной породы.

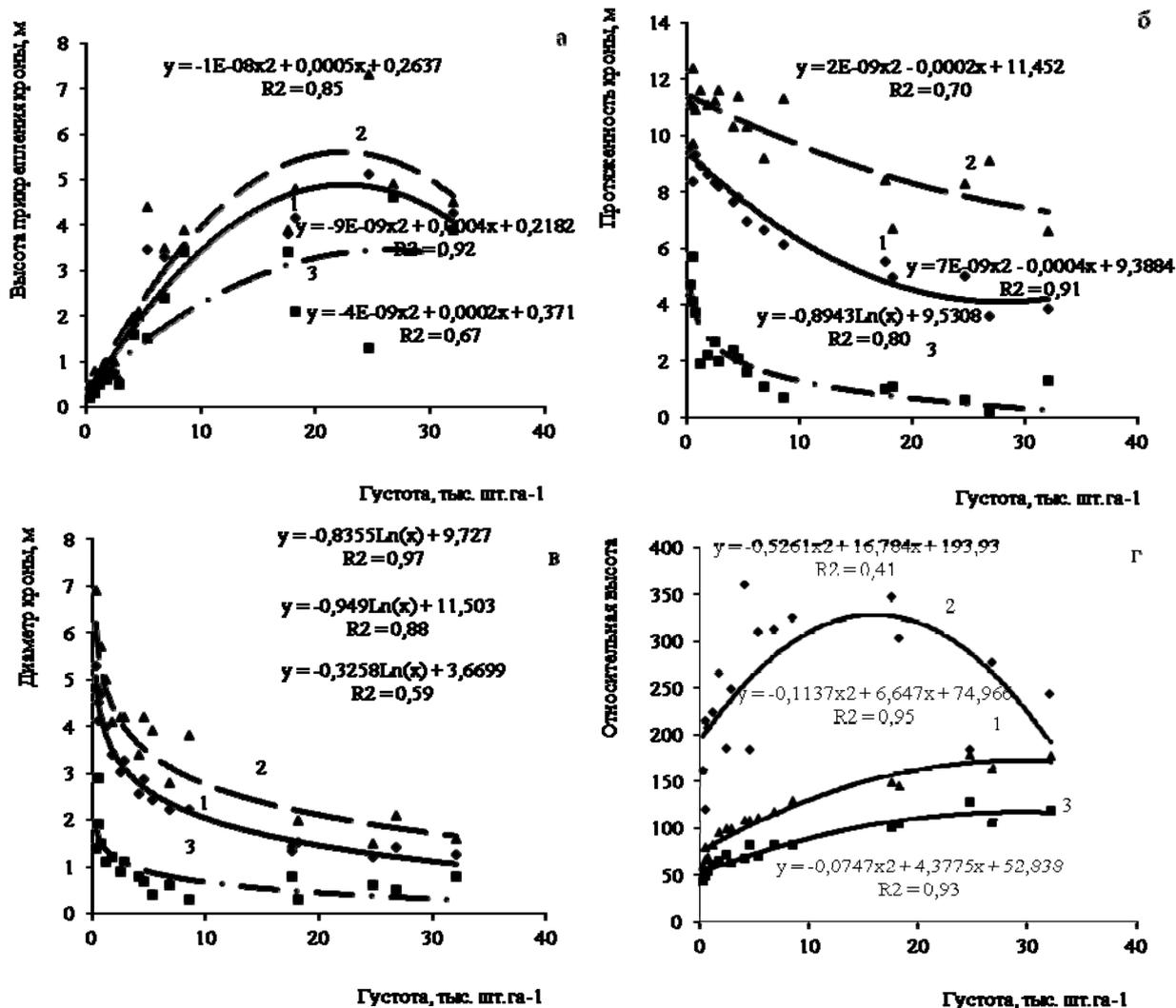


Рисунок 3 - Зависимость среднего (1), максимального (2) и минимального (3) значений высоты прикрепления кроны (а), протяженности кроны (б), диаметра кроны (в) и относительной высоты (г) деревьев от густоты молодняков

Другой таксационной характеристикой, кроме высоты прикрепления кроны деревьев, отражающей ценоотические процессы, является протяженность (длина) кроны (рис. 3б). С увеличением гус-

тоты молодняков наблюдается уменьшение этого показателя из-за повышенной конкуренции между деревьями за свет. Происходит процесс очищения ствола от сучьев, и процесс этот протекает тем ин-

тенсивнее и быстрее, чем больше фактическая густота молодняков. Средний показатель протяженности кроны деревьев ели уменьшается с увеличением густоты культур примерно в 3,1 раза (от  $11,0 \pm 0,4$  до  $3,6 \pm 0,6$ ). Связь между протяженностью кроны деревьев и густотой молодняков очень тесная ( $R^2=0,91$ ), аппроксимируется полиномиальным уравнением. Максимальная протяженность кроны деревьев в разнотипных молодняках превышает 12 м и выявлена в редких по густоте ценозах ( $0,3-0,5$  тыс. шт.га<sup>-1</sup>); наименьшая – соответствует перегущенным вариантам ( $24,7-26,7$  тыс. шт.га<sup>-1</sup>) и составляет  $0,2-0,6$  м. При увеличении густоты молодняков амплитуда протяженности кроны деревьев возрастает; если в редких ценозах разница между минимальными и максимальными размерами кроны составляет всего 54 % (с 5,7 до 12,4 м), то в перегущенных – доходит до 92 % (с 0,6 до 8,3 м).

В ряду от редких к загущенным молоднякам уменьшается диаметр кроны деревьев (рис. 3в). Наибольший средний диаметр кроны деревьев зафиксирован в ценозах минимальной плотности ( $0,3$  тыс. шт.га<sup>-1</sup>) и составляет  $5,3 \pm 0,2$  м, наименьший –  $1,2 \pm 0,1$  м соответствует перегущенным молоднякам ( $24,7$  тыс. шт.га<sup>-1</sup>), т.е. они различаются в 4,4 раза. Связь среднего диаметра кроны деревьев с плотностью молодняков очень тесная ( $R^2=0,97$ ). Максимальные диаметры крон деревьев, которые встречаются в разнотипных молодняках, изменяются в пределах от 1,5 до 6,9 м, что превышает средние показатели на 13 и 23 % соответственно. Деревья с такими показателями развиваются в самых редких ( $0,3$  тыс. шт.га<sup>-1</sup>) и в загущенных вариантах ( $24,7$  тыс. шт.га<sup>-1</sup>). Наименьшие диаметры крон в густотном ряду изменяются от 0,3 до 2,9 м и свойственны очень угнетенным, ослабленным и сильно отстающим в росте деревьям.

Показатель относительной высоты, как отношение средней высоты древостоя к его среднему диаметру (Н/Д), использовался для оценки степени сопряженного роста в высоту и по диаметру (Эйтинген, 1918). Он фиксирует особенности роста в высоту и по диаметру и отражает результат реакции деревьев на ценоцические условия в молодняках разной густоты. На увеличение плотности ценоза деревья реагируют повышенной относительной высотой (рис. 3г). Средняя относительная высота от редких к загущенным ценозам увеличивается примерно в 3 раза. Связь средней относительной высоты с густотой молодняков очень тесная ( $R^2=0,95$ ) зависимость описывается полиномиальным уравнением. Амплитуда Н/Д в разнотипных молодняках находится в пределах от 43 до 360, причем она наименьшая у толстых деревьев в редких ценозах, а наибольшая – у тонких в загущенных молодняках. Диапазон средней Н/Д изменяется в гораздо меньших пределах (от  $60 \pm 2,4$  до  $178 \pm 4,5$ ). Увеличение показателей относительной высоты с густотой ценоза свидетельствует о функционировании ценоцического механизма регуляции роста и численности деревьев, причем, чем больше начальная густота культур, тем раньше и с большей интенсивностью

происходит уменьшение количества деревьев в процессе естественного изреживания. В сильно загущенных насаждениях у значительного числа деревьев наблюдается диспропорция роста в высоту и по диаметру, вследствие чего и происходит отмирание этих особей.

Другой биометрический показатель, характеризующий остроту взаимоотношений между деревьями в разнотипных молодняках, является отношение протяженности кроны деревьев к ее диаметру (Лкр/Дкр). Данный показатель показывает, как изменяются параметры кроны деревьев с увеличением конкуренции между деревьями. По мере возрастания плотности молодняков с  $0,3$  до  $32,0$  тыс. шт. га<sup>-1</sup> Лкр/Дкр увеличивается в пределах от 1,8 до 4,2, т.е. деревья из редких ценозов отличаются от загущенных по диспропорции роста на 57 %. Связь показателя Лкр/Дкр с густотой молодняков умеренная ( $R^2=0,71$ ), максимальные значения этого показателя находятся в диапазоне густоты от  $17,5$  до  $24,7$  тыс. шт.га<sup>-1</sup>, зависимость описывается полиномиальным уравнением  $y = -5E-09x^2 + 0,0002x + 2,066$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целевом эксперименте с молодняками ели сибирской, представляющих достаточно полный густотный ряд ценозов на одном эдафическом фоне, получены биометрические показатели деревьев, однозначно детерминированных плотностью ценозов.

Выявлено существенное различие биометрических показателей в густотном ряду 25-летних культур ели сибирской. С возрастанием густоты ценозов от  $0,3$  до  $32,0$  тыс. шт. га<sup>-1</sup> биометрические показатели деревьев изменяются в диапазонах: диаметр ствола – от 1 до 27 см, высота – от 1,8 до 15,4 м, высота прикрепления кроны – от 0,2 до 7,3 м, протяженность кроны – от 0,2 до 12,4 м, диаметр кроны – от 0,3 до 6,9 м. Существенно различаются и относительные показатели роста деревьев: Н/Д – от 43 до 360, Лкр/Дкр – от 1,8 до 4,2, т.е. густота насаждений в значительной степени регулирует рост и общую морфоструктуру молодых ценозов ели сибирской.

Индивидуальные и средние параметры роста деревьев и ценозов (диаметр и высота, протяженность кроны и диаметр кроны) определяются густотой ценозов вследствие обострения конкурентных взаимоотношений между деревьями за ресурсы среды, приходящиеся на одну особь. В редких же по густоте молодняках биометрические показатели не взаимодействующих друг с другом отдельных деревьев и их совокупностей, вероятно, отражают генетическую компоненту и ее полиморфизм в регулировании роста и продуктивности древесных растений.

Густота древесных ценозов является объективным показателем прижизненных взаимодействий особей в популяции и одной из главных характеристик оценки структуры и продуктивности. Она от-

ражает степень использования ресурсов среды и оказывает непосредственное влияние на дифференциацию биометрических показателей деревьев в ценозах.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Бузыкин, А.И. Влияние густоты на морфоструктуру и продуктивность культур сосны / А.И. Бузыкин, Л.С. Пшеничникова // Лесоведение. – 1999. - № 1. - С. 38-43.
- Бузыкин, А.И. Густота и продуктивность древесных ценозов [Текст] / А.И. Бузыкин, Л.С. Пшеничникова, В.Г. Суховольский. - Новосибирск: Наука, 2002. - 152 с.
- Вагин, В.А. Моделирование оптимальной густоты еловых древостоев / В.А. Вагин // Лесная промышленность, 1996. № 1. – С. 28 – 33.
- Гордиенко, М.И. Влияние густоты посадки культур на производительность насаждений / М.И. Гордиенко, И.В. Штаблій, Н.М. Гордиенко // Лесохозяйственная информация, 1992. № 11. – С. 42–43.
- Кайрюкшис, Л.А. Оптимальная густота еловых молодняков / Л.А. Кайрюкшис, А.И. Юодвалькис // Тезисы докладов Всесоюзной научной конференции по проблемам лесовосстановления. – М., 1974. – С. 128–131.
- Мартьянов, А.Н. Густота культур хвойных пород и ее значение [Текст] / А.Н. Мартьянов. – М.: ЦБНТИ Гослесхоз СССР, 1974. – 60 с.
- Мерзленко, М. Д. Влияние густоты культур ели на их рост и производительность / М.Д. Мерзленко, Г.Г. Мельник // Доклады ТСХА, 1998. № 269. – С. 344–347.
- Моисеев, В.С. Таксация молодняков [Текст] / В.С. Моисеев. – Л.: ЛТА, 1971. – 344 с.
- Петров, Н.П. Особенности выбора шага посадки и ширины междурядий на выращивание еловых культур в Среднем Поволжье / Н.П. Петров // Лесохозяйственная информация, 1997. № 3. – С. 30–32.
- Побединский, А.В. Изучение лесовосстановительных процессов [Текст] / А.В. Побединский. – М.: Наука, 1966. – 60 с.
- Рябокоть, А.П. Определение биологического оптимума густоты сосновых древостоев в условиях свежей субори / А.П. Рябокоть // Лесоведение. – 1979. № 3. – С. 16–23.
- Титов Ю.Ф. Эффект группы у растений [Текст] / Ю. Ф. Титов. – М.: Наука, 1978. – 151 с.
- Усольцев, В.А. Расчленение эдафической и ценотической составляющих продуктивности древостоев по данным густотного эксперимента / В.А. Усольцев // Леса Урала и хозяйство в них. — Екатеринбург, 1994. – С. 77–85.
- Эйтинген, Г.Р. Влияние густоты древостоя (посадки) на рост насаждения / Г.Р. Эйтинген // Лесное хозяйство, 1918. Вып. 6–8. – С. 1–38.
- Sobachkin R.S. The influence of stand density on growth of tree conifers species / R.S. Sobachkin, D.S. Sobachkin, A.I. Buzikin // Tree species effects on soil: implications for global change. NATO Science Series. – Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, – 2005. – P. 247–255.

---

Поступила в редакцию 16 мая 2011 г.  
Принята к печати 7 сентября 2012 г.