



УДК.630*165.44:582.475(470.22)

Б.В. Раевский

Институт леса Карельского НЦ РАН

Раевский Борис Владимирович родился в 1961 г., окончил в 1983 г. Петрозаводский государственный университет, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории лесовосстановления Института леса Карельского НЦ РАН. Имеет более 70 печатных работ в области лесных культур, селекции, семеноводства и интродукции.

E-mail: raevski@drevlanka.ru



ОСОБЕННОСТИ ВЕГЕТАТИВНОГО РОСТА КЛОНОВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В КАРЕЛИИ

Проанализированы базовые количественные характеристики и статистическое распределение в наборе материнских плюсовых деревьев сосны обыкновенной и их клонов в Карелии. Выявлено, что эмпирическое распределение вегетативных потомств плюсовых деревьев сосны на лесосеменной плантации по высоте, диаметру и ширине кроны близко к нормальному. Примерно 11 % из числа отобранных в природе плюсовых деревьев продемонстрировали выдающийся вегетативный рост как в насаждении, так и на лесосеменной плантации.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, плюсовые деревья, клоны, лесосеменные плантации.

На Петрозаводской лесосеменной плантации (ЛСП) в 2007 г. были продолжены начатые ранее на Олонецкой ЛСП [5, 6] детальные исследования вегетативного роста и репродуктивной деятельности клонов сосны обыкновенной и их семенного потомства. Чтобы исключить географическую составляющую и представить индивидуальную форму изменчивости в пределах одного поля, были отобраны 72 клона происхождением только из Южнокарельского лесосеменного района [4]. В конце вегетационного периода инструментально измерен ряд количественных признаков:

- общая высота растения, м (с помощью высоотомера с точностью до 0,25 м);
- диаметр ствола на высоте груди, см (с точностью до 1 мм);
- диаметр кроны вдоль и поперек ряда, м (с точностью до 5 см);
- диаметр у основания трех самых толстых, расположенных на высоте 1,5...2,0 м, веток, см (с точностью до 1 мм).

Таблица 1

Показатели описательной статистики плюсовых деревьев

Показатель	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр ствола, см
Число наблюдений N	838	838	838
Минимальное значение	45,0	18,0	20,0
Максимальное значение	170,0	36,0	53,0
Среднее X	85,0	26,2	30,8
Ошибка среднего m_X	0,63	0,11	0,15
Стандартное отклонение σ	18,59	3,35	4,49
Коэффициент вариации CV , %	21,8	12,8	14,6
Ассиметрия A	0,75	0,23	0,77
Ошибка ассиметрии m_A	0,08	0,08	0,08
Оценка ассиметрии ($T_A = A/m_A$)	9,00	2,80	9,30
Доля, %:			
с величиной признака меньше среднего	51,6	53,5	52,2
с величиной признака больше среднего	48,4	46,5	47,8
Эксцесс E	1,02	-0,34	1,24
Ошибка эксцесса m_E	0,17	0,17	0,17
Оценка эксцесса ($t_E = E/m_E$)	6,2	-2,1	7,5
Критерий χ^2	33,2	39,45	72,06
Число степеней свободы	2	7	4
Стандартные значения χ^2 *	6,0–9,2–13,8	14,1–18,5–24,3	9,5–13,3–18,5
Критерий Колмогорова–Смирнова λ	2,19	1,95	1,99
Стандартные значения λ		1,36–1,63–1,95	

* Здесь и далее, в табл. 2, 3, стандартные значения χ^2 зависят от числа степеней свободы и приведены для трех уровней значимости $P = 0,5; 0,1; 0,001$.

Для хранения, систематизации и обработки всей информации по исследуемым клонам и их материнским плюсовым деревьям (ПД) была создана база данных (СУБД Paradox) и исполняемый программный модуль для работы с ней. Кроме того, в среде Access создана база данных для всех ПД сосны Карелии. Статистический анализ осуществлялся с использованием общепринятых методов биометрии [3]. В настоящей работе приведены результаты анализа совокупности ПД Южнокарельского лесосеменного района, где в настоящее время локализовано 63,1% от всех числящихся в реестре ПД сосны (табл. 1).

В статистическом аспекте отбор плюсовых деревьев в древостое всегда проводят в правой части кривой нормального распределения всех деревьев элемента леса. Однако необходимо знать каково распределение самих ПД по основным таксационным показателям в пределах той гипотетической популяции, которая формируется в результате такого отбора. Особенностью совокупности ПД является то, что каждое из этих деревьев выбрано не случайно, а в соответствии с определенными требованиями к их отбору, при этом абсолютно независимо от других. Результаты анализа (табл. 1) свидетельствуют о том, что коэффициенты вариации диаметра и высоты снижены по сравнению с нормальными древостоями [2]. Для возраста и диаметра отмечены сильная левая положительная ассиметрия и заметный положительный эксцесс.

Для распределения по высоте характерны незначительные положительная асимметрия и отрицательный эксцесс. Рассчитанные значения критериев χ^2 и λ однозначно свидетельствуют о существенном отклонении всех эмпирических распределений от нормального. Как известно, в чистых одновозрастных насаждениях (или в пределах элемента леса) распределение деревьев по толщине характеризуется кривой нормального распределения, имеющей левостороннюю положительную асимметрию. Вейзе в конце XIX в. установил, что независимо от составляющей породы среднее по толщине дерево делит весь древостой на две неравные части, при этом число деревьев меньше средней толщины составляет 57,5 %, а больше средней толщины – 42,5 % от их общего количества [1]. Для совокупности плюсовых деревьев были получены близкие цифры.

В табл. 2 даны описательные статистики и оценки характера распределения материнских ПД исследуемых клонов сосны. В статистическом смысле для данной выборки все ПД Южнокарельского семенного района являются генеральной совокупностью. Как и следовало ожидать, выборочные средние оказались близки к значениям генеральных параметров. Однако в отличие от генеральной совокупности статистически достоверные левосторонняя асимметрия и положительный эксцесс отмечены только для диаметра. Значения критериев χ^2 и λ показывают, что полученное в выборке эмпирическое распределение практически не отклоняется от нормального. Статистически значимое отклонение по критерию χ^2 (по первому самому высокому для χ^2 порогу доверительной вероятности $P = 0,05$) отмечено только для возраста.

Таблица 2

**Показатели описательной статистики материнских плюсовых деревьев
исследуемых клонов Петрозаводской ЛСП**

Показатель	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр ствола, см
Число наблюдений N	72	72	72
Минимальное значение	53,0	19,0	23,0
Максимальное значение	120,0	35,0	48,0
Среднее X	86,0	27,5	31,2
Ошибка среднего m_X	2,00	0,40	0,60
Стандартное отклонение σ	16,00	3,10	5,00
Коэффициент вариации CV , %	18,4	11,2	16,0
Асимметрия A	0,55	-0,33	1,20
Ошибка асимметрии m_A	0,28	0,28	0,28
Оценка асимметрии ($T_A = A/m_A$)	1,98	-1,19	4,31
Эксцесс E	-0,42	0,55	2,12
Ошибка эксцесса m_E	0,55	0,55	0,55
Оценка эксцесса ($t_E = E/m_E$)	-0,76	0,99	3,86
Критерий χ^2	9,16	4,79	2,50
Число степеней свободы	2	3	3
Стандартные значения χ^2	6,0–9,2–13,8	7,8–11,3–16,3	7,8–11,3–16,3
Критерий Колмогорова–Смирнова λ	1,19	0,52	0,59
Стандартные значения λ		1,36–1,63–1,95	

Тем не менее, главный вопрос – какова доля генотипических особенностей особи в формировании этого выдающегося фенотипа – на данном этапе остается без ответа, поскольку в процессе отбора ПД оперируют исключительно лесоводственными понятиями и закономерностями нормального распределения основных таксационных параметров.

В отличие от своих материнских деревьев, которые находятся в естественной природной среде (*in situ*) и представлены в единственном экземпляре, исследуемые клоны сосны произрастают на лесосеменной плантации (*ex situ*) в многочисленных повторностях (раметах). Выравненное влияние всего комплекса основных экологических факторов (почвенное питание, увлажнение и освещение), а также наличие повторностей, т. е. схема организации опыта, позволяют считать, что различия между клонами по всему комплексу габитуальных признаков главным образом обусловлены генетическими причинами. Более точные статистические оценки вклада генотипа в различия между клонами по любым количественным признакам получаются с помощью биометрических методов, в частности дисперсионного анализа.

В табл. 3 приведены результаты статистического анализа набора клонов Петрозаводской ЛСП и ранее полученные данные для клонов практически того же возраста Олонецкой ЛСП [4]. Следует отметить, что в нашем случае каждый клон был представлен 5 ракетами (прививками) в возрасте 24 лет. Размещение растений регулярное с расстояниями между рядами 8 м и в ряду 5 м.

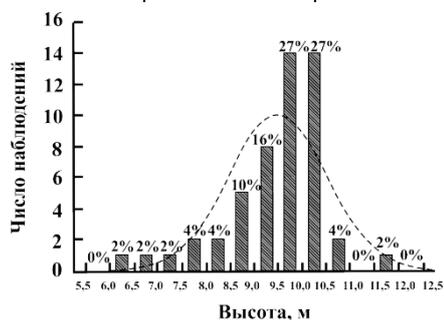
Таблица 3

Показатели описательной статистики исследуемых клонов сосны обыкновенной

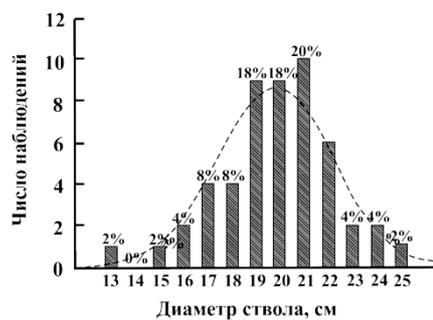
Показатель	Высота, м	Диаметр ствола, см	Диаметр кроны, м
Петрозаводская ЛСП (участок № 7, возраст – 24 года, число наблюдений – 72)			
Минимальное значение	6,7	15,2	3,9
Максимальное значение	11,7	25,70	6,9
Среднее \bar{X}	9,6	20,4	5,4
Ошибка среднего m_x	0,10	0,26	0,08
Стандартное отклонение σ	0,85	2,21	0,66
Коэффициент вариации CV , %	8,9	10,9	12,2
Ассиметрия A	-0,94	-0,16	-0,19
Ошибка ассиметрии m_A	0,28	0,28	0,28
Оценка ассиметрии ($T_A = A/m_A$)	-3,3	-0,6	-0,7
Эксцесс E	1,62	0,13	-0,05
Ошибка эксцесса m_E	0,56	0,56	0,56
Оценка эксцесса ($t_E = E/m_E$)	2,9	0,2	-0,1
Критерий χ^2	5,90	1,42	1,51
Число степеней свободы	1	1	1
Стандартные значения χ^2		3,8–6,6–10,8	
Критерий Колмогорова–Смирнова λ	0,83	0,27	0,34
Стандартные значения λ		1,36–1,63–1,95	
$\bar{X} + \sigma$	10,4	22,6	6,04
$\bar{X} + 0,5\sigma$	10,0	21,5	5,7

Окончание табл. 3

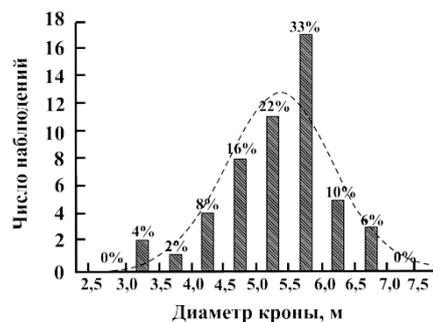
Показатель	Высота, м	Диаметр ствола, см	Диаметр кроны, м
Олонецкая ЛСП (участок № 1, возраст – 24 года)			
Среднее с ошибкой ($X \pm m_X$)	9,5 ± 0,1	20,0 ± 0,4	5,5 ± 0,2
Коэффициент вариации CV, %	8,1	12,7	12,5
Олонецкая ЛСП (участок № 3, возраст – 25 лет)			
Среднее с ошибкой ($X \pm m_X$)	9,7 ± 0,4	19,8 ± 0,4	5,6 ± 0,2
Коэффициент вариации CV, %	6,0	10,9	14,1



а



б



в

Распределение клонов сосны по высоте (а), диаметру ствола (б) и ширине (в)

Как следует из данных табл. 3 и рисунка, существенные правосторонняя отрицательная асимметрия и положительный эксцесс присутствуют только в распределении по высоте. Эмпирическое распределение клонов по высоте, диаметру и ширине кроны практически не отличается от нормального. Статистически значимое отличие по критерию χ^2 (первый порог доверительной вероятности $P = 0,05$) отмечено только по высоте. Наборы клонов на участках Олонецкой ЛСП происходят из Южнокарельского семенного района. В одинаковом возрасте различные клоновые наборы трех участков, созданных в разное время и в неидентичных почвенно-грунтовых условиях, имеют практически одинаковые усредненные значения высоты, диаметра ствола и ширины кроны, а также показатели их статистического разнообразия.

Дисперсионный анализ широко применяется в лесной селекции как метод расчета коэффициента наследуемости в широком смысле (H^2). В табл. 4 приведены результаты такого анализа клонов сосны по основным ростовым показателям. Анализировались 72 клон в возрасте 24 лет (Петрозаводская ЛСП, участок № 7), 15 клонов в возрасте 27 лет (Олонецкая ЛСП, участок №1), 10 клонов в возрасте 25 лет (Олонецкая ЛСП, участок №3). Для участков № 7 и № 3 доли влияния генетического фактора на различия по высоте, диаметру ствола, диаметру кроны и диаметру ветвей оказались близкими. Поскольку коэффициент H^2 в нашем случае определялся статистическим методом, то его значение зависело от статистического разнообразия вариантов, входящих в состав дисперсионного комплекса.

Таблица 4

**Показатели влияния индивидуальных особенностей клонов (%)
в однофакторном дисперсионном комплексе**

ЛСП	Высота	Диаметр		
		ствола	кроны	ветвей
Петрозаводская (участок № 7)	46,0	36,0	48,8	39,8
Олонецкая:				
участок № 1	68,2	84,4	69,7	42,1
участок № 3	31,5	39,5	54,3	54,0

На участке № 1, возможно, случайным образом подобрались клоновые потомства, особенно сильно различавшиеся по габитуальным показателям. На основании полученных данных можно заключить, что параметры вегетативного роста сосны в значительной степени контролируются генотипом.

В пределах изучаемой совокупности клонов Петрозаводской ЛСП был произведен простой независимый отбор среди материнских ПД и их клонов по высоте и диаметру, исходя из стандарта ($\geq \bar{X} + 0,5\sigma_x$). Поскольку материнские ПД имели различный возраст, для них были рассчитаны средние приросты по высоте и диаметру путем деления абсолютных значений соответствующих признаков на календарный возраст. Совместный отбор велся по следующему принципу: соответствие стандарту хотя бы одного признака

у плюсового дерева и его клона одновременно (табл. 5, выделено жирным шрифтом). Из 72 плюсовых деревьев только 2 (2,8 %) отличались полным соответствием успешности роста как в насаждении, так и на плантации. Следовательно, и в том и в другом случае оба признака удовлетворяют стандарту. В остальных случаях хотя бы один параметр не соответствовал стандарту. Всего 8 ПД (11%) продемонстрировали выдающийся вегетативный рост как в насаждении, так и на лесосеменной плантации.

Таблица 5

Результаты отбора* лучших по росту ПД и их клонов

Номер ПД	Плюсовые деревья		Клоны	
	Диаметр, см	Высота, м	Диаметр, см	Высота, м
50	0,45	0,38	24,7	10,5
59	0,45	0,35	21,3	10,3
63	0,41	0,35	20,9	10,6
156	0,42	0,29	22,6	10,4
516	0,36	0,39	21,1	10,4
522	0,46	0,44	23,6	10,1
573	0,39	0,36	18,7	10,0
876	0,37	0,36	20,6	10,2

* По средним приростам показателей у ПД, по средним показателям у клонов.

Полученные результаты позволяют заключить, что указанные деревья, по всей видимости, действительно являются носителями так называемых генов быстрого роста. Поскольку сравнение велось по отношению к другим ПД, то такие экземпляры можно было бы условно назвать суперплюсовыми (или лучшими) ПД еще до того, как они будут оценены по множеству других важных признаков и качеств, в частности, относящихся к семеношению. Необходимо отметить, что в целом ни один из параметров, характеризующий продуктивность древостоя, где проводился отбор ПД (средние диаметр и высота, бонитет, запас), и ни один из параметров материнских ПД не имели статистически значимой корреляции с ростовыми характеристиками своих клонов.

Проведенные исследования позволили выявить следующие закономерности.

Распределение всей совокупности ПД Южнокарельского лесосеменного района по высоте и диаметру существенно отклонялось от теоретических частот нормального распределения.

Для материнских ПД изучаемого набора клонов сосны Петрозаводской ЛСП полученное эмпирическое распределение по высоте и диаметру ствола практически не отклонялось от нормального. Статистически значимое откло-

нение по критерию χ^2 (по первому самому высокому для χ^2 порогу доверительной вероятности $P = 0,05$) имело место только для возраста.

Эмпирическое распределение самих клонов по высоте, диаметру и ширине кроны было близко к нормальному. Статистически значимое отличие по критерию χ^2 (первый порог доверительной вероятности $P = 0,05$) получено только по высоте.

Таким образом, с одной стороны, полученные данные позволяют использовать при планировании селекционных мероприятий все известные закономерности нормального распределения, с другой – выявленная картина свидетельствует о том, что из совокупности ПД, отобранных исключительно по фенотипу, существенная доля обладает выдающимися показателями роста в связи с удачным стечением жизненных обстоятельств, а не в силу генетических особенностей.

Особенности вегетативного роста клонов сосны в значительной мере контролируются генотипом, что делает эффективным клоновый отбор на прививочных плантациях по таким прямым признакам, как высота, диаметр ствола и ширина кроны.

В Карелии все ЛСП сосны расположены в пределах Южнокарельского лесосеменного района. Любые участки ЛСП сосны, в состав которых входят клоны происхождением из этого же района, в одинаковом возрасте имеют очень близкие средние значения габитуальных признаков (высота, диаметр ствола, диаметр кроны). Данная особенность представляется крайне важной с точки зрения оценки семенной продуктивности участка ЛСП, так как по абсолютной величине урожай шишек и семян зависит от размера деревьев.

Примерно 11 % из числа отобранных в природе плюсовых деревьев действительно обладали генами быстрого роста, так как демонстрировали выдающийся вегетативный рост как в насаждении, так и на лесосеменной плантации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анучин Н.П.* Лесная таксация. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 551 с.
2. *Зябченко С.С.* Сосновые леса Европейского Севера. Л.: Наука, 1984. 248 с.
3. *Лакин Г.Ф.* Биометрия. М.: Высш. шк., 1973. 343 с.
4. Лесосеменное районирование основных лесобразующих пород в СССР. М., 1982. 368 с.
5. *Раевский Б.В., Мордась А.А., Ильинов А.А.* Изменчивость и взаимосвязь морфологических признаков и биометрических показателей сеянцев сосны и ели // Лесн. журн. 2007. № 6. С. 25–31. (Изв. высш учебн. заведений).
6. *Раевский Б.В., Мордась А.А.* Селекционно-генетическая оценка клонов сосны быкновенной на лесосеменных плантациях первого порядка. Петрозаводск, 2006. 90 с.

Поступила 14.02.11

B.V. Raevsky

Forest Research Institute KRC RAS

Features of Vegetative Growth of Scots Pine Clones in Karelia

Statistical distribution patterns of some basic qualitative characteristics of Scots pine plus trees and their clone progenies in Karelia were investigated. It was found that empirical distribution of the clones in terms of height, stem diameter and crown width was close to the norm. Around 11% of plus trees selected *in situ* showed an outstanding vegetative growth both in the stand and in the seed orchard.

Keywords: Scots pine, plus trees, clone progenies, seed orchards.
