

*В. Н. КОРЯКИН, Н. В. ВЫВОДЦЕВ,
З. А. ВЫВОДЦЕВА*

**Использование типовых и стандартизованных
моделей для изучения роста
лиственничников разной густоты**

*Дальневосточный научно-исследовательский
институт лесного хозяйства*

Большие возможности в вопросе прогнозирования продуктивности насаждений, выявления зависимостей этой продук-

тивности от густоты древостоев открывает типизация и стандартизация хода роста. Типовые линии дают представление о характере изменения с возрастом таксационных показателей, а их первые производные показывают на скорость их изменения. Имея набор разных вариантов моделей динамики таксационных показателей, можно ставить вопрос о выборе наиболее оптимальных из них.

Первоначально исследовалась зависимость основных таксационных показателей от густоты древостоев и влияния густоты на характер и тесноту связи между другими таксационными показателями, формализованными в типы и классы роста.

Под типом роста понимается характер изменения с возрастом таксационного показателя, выраженный в относительных величинах. При определенном систематизированном ранжировании всего многообразия характеров роста по каждому таксационному показателю разработана система типов роста, определяющая число типов. Начальным номерам типов характерен более высокий темп изменения показателя в молодом возрасте и низкий в возрасте старше 100 лет.

Под классом роста понимаются систематизированные с определенной точностью в однородные группы абсолютные значения таксационных показателей. Разработанная система классов учитывает изменчивость абсолютных значений показателей в 100-летнем возрасте. По каждому показателю установлено определенное количество классов роста. Начальные номера классов (1, 2, 3...) имеют наиболее высокие значения таксационного показателя.

Исходным материалом явились таблицы хода роста по лиственничникам 64 наименований из разных районов страны.

Анализ и систематизация этих таблиц показали наличие различных характеров динамики числа стволов или изреживания древостоев. Все многообразие этих характеров при 8%-ной группировке в базовом возрасте, относительные значения которого приняты за независимые переменные, методом регрессионного анализа сведено в 12 типовых линий роста (типов густоты).

Характер изреживания древостоев оказался в значительной зависимости от класса бонитета ($\eta = 0,59 \pm 0,112$), которую можно аппроксимировать уравнением параболы 2 порядка:

$$T_N = 10,68 - 0,707B + 0,016B^2, \quad (1)$$

где T_N — номер типа густоты (1, 2, 3, ..., 12);

B — класс бонитета насаждения ($1^a-1, 1-2$ и т. д.).

Рассчитанные по уравнению (1) значения типов густоты оказались следующими:

класс бонитета	I _a	I	II	III	IV	V	V _a
тип густоты	10,0	9,3	8,7	8,1	7,5	7,0	6,5

Эта зависимость указывает на то, что древостоям более высоких классов бонитета характерно менее интенсивное изреживание и, наоборот, в низкопродуктивных лиственничниках темп изреживания более высокий.

Таблица 1

Динамика изреживания лиственничных насаждений по классам бонитета (в относительных величинах)

Возраст, лет	Индексы числа стволов по классам бонитета						
	I _a	I	II	III	IV	V	V _a
20	3687	4134	4518	4911	5312	5650	5987
30	2985	3324	3612	3905	4201	4450	4690
40	2426	2675	2886	3098	3311	3488	3665
50	1987	2165	2315	2463	2610	2733	2855
60	1650	1772	1873	1972	2070	2151	2230
70	1398	1476	1540	1602	1662	1712	1760
80	1215	1260	1295	1329	1362	1389	1415
90	1087	1106	1121	1135	1148	1159	1166
100	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
110	943	930	919	910	901	893	886
120	907	884	866	850	835	823	811
130	883	854	831	810	791	775	760
140	865	831	805	780	758	739	722
150	846	811	782	755	729	708	688
160	824	789	758	728	699	675	653

С классами густоты или абсолютной численностью стволов типы изреживания связаны не достоверно, т. е. одинаковой густоты в 100 лет древостой могут достигнуть при любом характере (типе) изреживания.

Зависимость абсолютных значений густоты лиственничников от классов бонитета в 100-летнем возрасте значительная ($\eta=0,64\pm 0,073$). Ее можно передать уравнением

$$N_{100} = 273 + 134,7B, \quad (2)$$

где N_{100} — число стволов в 100-летнем возрасте, шт.

Для повышения обусловленности зависимой переменной вместо класса бонитета взяли среднюю высоту в 100 лет и дополнительно ввели отношение среднего диаметра d к средней высоте h . Использование здесь относительного сбег d/h

объясняется тем, что среди таксационных показателей диаметр является наиболее зависимым от густоты и что это отношение состоит из сопряженных друг с другом и важных в таксации показателей.

Введение дополнительного фактора значительно повысило меру связи ($R^2=0,81$) зависимой переменной. Расчетный критерий Стьюдента для высоты составил 9,3, для отношения d/h — 8,0. Зависимость между исследуемыми показателями передается уравнением множественной регрессии

$$N=2,973-0,0395h-1,0612d/h, \quad (3)$$

где N — число стволов в 100-летнем возрасте, уменьшенное в 1000 раз;

h — высота в 100-летнем возрасте, м;

d — диаметр в 100-летнем возрасте, см.

Погрешность уравнения 9,3%. Ограничения: $12 \leq h \leq 33$; $0,8 \leq d/h \leq 1,3$. Из уравнения (3) следует, что с уменьшением высоты в одном и том же возрасте или ухудшением условий произрастания при постоянном d/h число стволов на 1 га увеличивается. Аналогичная картина наблюдается при уменьшении отношения d/h . При одинаковой средней высоте относительный сбег будет больше в редких, чем в густых насаждениях, т. е. густые насаждения имеют меньший средний диаметр в сравнении с редкими.

Множественный регрессионный анализ показал, что в 100-летнем возрасте средний диаметр находится в тесной зависимости от средней высоты ($t=8,9$) и отношения d/h ($t=7,8$). Зависимость передается уравнением

$$d=24,62+1,195h+20,810d/h. \quad (4)$$

Коэффициент детерминации 0,89. Стандартная ошибка 3,7%. Ограничения: $12 \leq h \leq 33$; $0,8 \leq d/h \leq 1,3$.

В тесной зависимости от густоты насаждения, класса бонитета, класса роста по диаметру находятся типы роста диаметров. Связь передается уравнением множественной регрессии

$$T_d=10,43-0,507T_N-0,645B+0,496K_d, \quad (5)$$

где T_d — номер типа роста по диаметру (1, 2, 3, ..., 12);

K_d — номер класса роста по диаметру.

Коэффициент детерминации 0,56. Ошибка уравнения 14,3%. Все независимые переменные значимы на 5%-ном уровне.

Критерий Стьюдента для T_N , Б, K_d соответственно равен: 6,2; 2,5; 2,7.

Между классами роста диаметров и их абсолютными значениями в 100 лет существует функциональная зависимость, которая передается уравнением

$$d = 35 - 2,5K_d. \quad (6)$$

В умеренной зависимости ($r=0,40$) от типов густоты входят типы роста по высоте.

Совместное влияние типов густоты и классов бонитета на 70% объясняют характер изменения высоты с возрастом. Коэффициенты парной корреляции достоверны на 5%-ном уровне значимости. Критерий Стьюдента для типов густоты равен 3,8; для класса бонитета — 6,4. Зависимость передается логарифмическим уравнением:

$$\ln T_h = 0,011 + 0,218 \ln T_N + 0,550 \ln B, \quad (7)$$

где T_h — номер типа роста по высоте.

Погрешность уравнения 7,2%.

С типами роста видового числа типы густоты не связаны. Значительная связь ($r=0,56$) наблюдается лишь с классами бонитета

$$T_f = 1,19 + 0,44B, \quad (8)$$

где T_f — номер типа роста видового числа (1, 2, 3, ..., 9).

Зависимость видового числа в 100-летнем возрасте от густоты насаждений и типа роста по высоте передается уравнением множественной регрессии

$$f_{100} = 0,341 + 0,0058K_N + 0,0228T_h, \quad (9)$$

где f_{100} — видовое число в 100-летнем возрасте;

K_N — класс густоты.

Коэффициент детерминации 0,82. Погрешность уравнения 6,4%. Ограничения: $1 \ll K_N \leq 12$; $2 \leq T_h \leq 6$.

Переход от классов густоты к числу стволов в 100-летнем возрасте можно осуществить по уравнению

$$N_{100} = 1787 - 85K_N. \quad (10)$$

Зная характер изреживания в зависимости от классов бонитета, а также абсолютное число стволов, которое они достигают к 100-летнему возрасту, можно моделировать (ввиду отсутствия зависимости между типами и классами густоты) различные варианты хода роста других показателей (высоты, диаметра, видового числа), связанных с густотой, и выделять такие из них, которые в большей мере соответствовали бы назначению хозяйства.

На основе полученных уравнений были составлены таблицы хода роста, характеризующие по отношению d/h дина-

Зависимость густоты насаждений в 100-летнем возрасте от классов бонитета и относительного сбega

Отношение d/h	Число стволов (в шт.) по классам бонитета						
	Ia	I	II	III	IV	V	Va
0,8	820	986	1136	1287	1445	1595	1745
0,9	714	880	1030	1180	1338	1489	1639
1,0	608	774	924	1074	1232	1382	1533
1,1	502	668	818	968	1126	1276	1426
1,2	396	562	712	862	1020	1170	1320
1,3	290	456	606	750	914	1064	1214

Примечание. Классам бонитета соответствуют следующие высоты: Ia — 33,0; I — 28,8; II — 25,0; III — 21,2; IV — 17,2; V — 13,4, Va — 9,6 м.

мику лиственничников шести групп густоты. Последние установлены с помощью уравнения (3) и приведены в табл. 2 по классам бонитета.

Динамика высоты, диаметра, видового числа рассчитывалась с помощью математических моделей [2]. Перемножая затем относительные величины этих показателей на их абсолютные значения в 100-летнем возрасте, определяли значения таксационных показателей в интервале от 20 до 160 лет. Сумма площадей сечений, наличный запас, среднее и текущее изменение запаса находили как производные от высоты, диаметра, видового числа стволов. Процент выхода крупной и средней древесины, на основании которого рассчитывалась техническая спелость, взяли из товарных таблиц [3]. В итоге составлен эскиз таблиц хода роста лиственничников для 6 групп густоты. В табл. 3 приведен фрагмент такого эскиза для лиственничников II класса бонитета. Анализируя данные табл. 3, отметим некоторые особенности хода роста деревьев, имеющих одинаковый в пределах класса бонитета характер изреживания, но разную базовую густоту.

Несмотря на значительное варьирование запасообразующих показателей (диаметра и числа стволов), достигающее во II классе бонитета 50%, запас насаждений менее изменчив. Величина его между крайними значениями групп густоты в пределах 10-летнего возрастного интервала до 80 лет колеблется от 10 до 20%, а с 90 лет — и того меньше (10%).

Ход роста лиственничников II класса бонитета различной густоты

Возраст, лет	Отношение d/h	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Видовое число, 0,001	Число стволов, шт.	Сумма площадей сечений, м ²	Запас, м ³	Изменение запаса, м ³		Средний прирост крупной и средней древесины
								среднее	текущее	
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
30	0,8	11,4	7,8	608	4207	2,01	139	4,6	8,1	—
	0,9	11,4	8,7	602	3803	22,6	155	5,2	9,3	0,57
	1,0	11,4	9,7	595	3331	24,6	167	5,7	10,0	0,46
	1,1	11,4	10,7	588	2904	26,1	175	5,8	10,0	0,90
50	1,2	11,4	11,7	582	2522	27,1	180	6,0	10,9	1,32
	1,3	11,4	12,8	574	2130	27,4	179	6,0	11,0	1,36
	0,8	17,2	12,4	549	2717	32,8	310	6,2	7,4	2,02
	0,9	17,2	13,9	543	2308	35,0	327	6,5	7,5	2,77
70	1,0	17,2	15,4	536	2138	39,8	367	7,3	9,4	3,47
	1,1	17,2	17,0	530	1851	42,0	383	7,7	9,6	3,98
	1,2	17,2	18,6	525	1591	43,3	391	7,8	9,2	4,39
	1,3	17,2	20,2	518	1349	43,2	385	7,7	9,2	2,70
90	0,8	21,2	16,6	512	1803	39,0	423	6,0	5,4	3,38
	0,9	21,2	18,5	506	1586	42,6	457	6,5	6,0	4,06
	1,0	21,2	20,3	500	1422	46,0	488	7,0	5,3	4,54
	1,1	21,2	22,1	494	1247	47,8	501	7,2	4,9	4,82
90	1,2	21,2	24,1	489	1068	48,7	505	7,2	4,5	4,90
	1,3	21,2	26,0	483	906	48,1	493	7,0	4,2	3,25
	0,8	24,0	20,3	490	1351	43,7	514	5,7	4,3	3,90
	0,9	24,0	22,3	485	1199	46,8	545	6,1	4,3	4,29
90	1,0	24,0	24,4	479	1081	50,5	581	6,5	4,5	4,62
	1,1	24,0	26,3	474	948	51,5	586	6,5	4,0	4,75
	1,2	24,0	28,4	468	821	52,0	584	6,5	3,5	4,59
	1,3	24,0	30,5	462	693	50,6	561	6,2	3,3	—

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
110	0,8	26,0	23,3	478	1103	47,0	584	5,3	3,5	3,45
	0,9	26,0	25,5	473	997	50,9	626	5,7	4,0	3,99
	1,0	26,0	27,6	467	896	53,6	651	5,9	3,5	4,25
	1,1	26,0	29,6	462	782	53,8	646	5,9	3,0	4,37
	1,2	26,0	31,8	457	679	53,9	640	5,8	2,7	4,35
	1,3	26,0	33,9	451	580	52,3	613	5,6	2,4	4,20
130	0,8	27,5	25,8	470	949	49,6	641	4,9	2,6	3,43
	0,9	27,5	28,0	466	882	54,3	696	5,4	3,2	3,94
	1,0	27,5	30,2	460	784	56,1	710	5,5	2,8	4,07
	1,1	27,5	32,2	455	688	56,0	701	5,4	2,6	4,05
	1,2	27,5	34,3	450	599	55,3	684	5,3	2,0	3,98
	1,3	27,5	36,4	444	516	53,7	656	5,0	2,0	3,75
150	0,8	28,7	27,7	465	855	51,5	687	4,6	2,1	3,31
	0,9	28,7	29,9	460	805	56,5	746	5,0	2,0	3,70
	1,0	28,7	32,1	454	721	58,3	760	5,1	2,3	3,83
	1,1	28,7	34,2	450	630	57,8	746	5,0	1,9	3,75
	1,2	28,7	36,3	445	546	56,5	722	4,8	1,8	3,60
	1,3	28,7	38,3	439	475	54,7	689	4,6	1,5	3,45

Кульминация текущего изменения запаса не зависит от густоты насаждений и наступает в одно время. Этот возраст для II класса бонитета равен 40 годам. Но его абсолютная величина находится в тесной зависимости от густоты насаждений. Максимальное значение текущего изменения запаса наблюдается в древостоях 40-летнего возраста, имеющих от 1,7 до 2,4 тысячи деревьев.

От густоты древостоев возраст наступления технической спелости находится в прямой зависимости. Расчеты показали, что в пределах одного (II) класса бонитета кульминация прироста крупных и средних сортиментов в зависимости от относительного сбегает наступает в разное время:

относительный сбег	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
возраст технической спелости	120	110	100	90	80	70

Быстрее технической спелости достигают древостои, имеющие больший относительный сбег или меньшую густоту.

Используя типовые модели для построения разновариантных таблиц хода роста, можно находить наиболее оптимальные из них в зависимости от конкретных задач, которые ставятся перед лесным хозяйством по выращиванию насаждений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корякин В. Н., Выводцев В. В., Выводцева З. А. Использование типовых линий для построения таблиц хода роста лиственных насаждений. — Тр. ДальНИИЛХ, 1982, вып. 24. — с. 73—83.
2. Корякин В. Н., Кузенко Ю. Л. Объемные, сортиментно-сортные и товарные таблицы кедр корейского и лиственницы даурской (нормативные материалы). — Долинск, 1972. — 20 с.
3. Корякин В. Н., Цыбуков В. Н., Кузенко Ю. Л. К вопросу о связи продуктивности и густоты в лиственных лесах Дальнего Востока. — В кн.: Лиственница. Красноярск, 1976, т. 7, с. 22—27.