

Ш. ТАКСАЦИЯ И ЛЕСОУСТРОЙСТВО

УДК 630* 624:681.31

О.А.АТРОЩЕНКО, канд. с.-х. наук
(БТИ им. С.М.Кирова)

СИСТЕМА ПРОГНОЗА РОСТА ДРЕВОСТОЕВ

Система прогноза роста древостоев на ЭВМ необходима для актуализации лесного фонда республики, разработки программ рубок ухода и программ ведения лесного хозяйства [1]. Задача рассматривается с позиций системного подхода, с помощью которого устанавливается направление исследований и предопределяется создание систем информации, планирования и принятия решения. Система информации включает сбор и обработку лесотаксационных данных. В системе планирования создаются альтернативные варианты моделей прогноза роста древостоев, в системе принятия решения выполняется оценка точности и надежности моделей и отбор оптимальной модели.

Задача не может быть решена аналитически на настоящем уровне знаний, поэтому используется метод имитационного моделирования [2,3]. Во-первых, определяется цель моделирования и выдвигается ряд гипотез относительно компонентов модели, производится сбор и статистическая обработка лесотаксационных данных. Имитационная модель — система регрессионных уравнений, записанных в память ЭВМ, на основе которых имитируется рост древостоя. Параметры регрессионных моделей связи оцениваются способом наименьших квадратов по стандартной программе множественного линейного регрессионного анализа с наблюдением статистических оценок [4]. При надежных показателях (значимость факторов, достоверность регрессии и т.д.) производится экспериментирование с моделями на ЭВМ и оценка их точности в сравнении с данными таксации древостоев на постоянных пробных площадях, таблицами хода роста и т.д. Выбор оптимальной (для практического применения) модели осуществляется исходя из статистических показателей, точности и надежности ее, простоты измерения в лесу показателей, представленных в модели независимыми переменными.

Новые, более точные лесотаксационные данные послужат совершенствованию модели, поэтому система прогноза роста древостоев должна быть гибкой, информационно-развивающейся в виде алгоритмов и программ на ЭВМ, позволяющей непрерывно разрабатывать и совершенствовать модели прогноза роста древостоев.

По программе "Выбор" выполняется отбор насаждений по ярусам, составу, породам, классам бонитета, полнотам и возрастам. Информация представлена в банке данных "Лесной фонд БССР"

(около 1 млн. таксационных выделов) и материалов перечислительной таксации сосновых древостоев (700 пробных площадей). По программе "Статистика" осуществляется случайный отбор древостоев, группировка их по уровням производительности и режимам ухода, статистическая обработка данных [1].

Программа "Бонитет" используется для аналитического выравнивания таксационных показателей с возрастом древостоев по функции Г.Бакмана и представления данных в виде таблиц хода роста.

По программе "Ошибка" вычислялись систематические ошибки глазомерного способа таксации лесов, сравнивая нескорректированные данные лесоустройства с материалами перечислительной таксации древостоев. Модель связи систематических ошибок с возрастом (А) и классом бонитета (Н 100) имеют следующий вид:

$$S = v_0 + v_1 A + v_2 H100 + v_3 H100 \cdot A,$$

где S — систематическая ошибка, %.

Корректировка данных глазомерной таксации выполняется по программе "Коррект". Скорректированные данные вводятся в программу "Бонитет", где получаем регрессионные модели роста древостоев.

Программа "Прирост" предназначена для вычислений среднепериодического текущего прироста (абсолютного и относительного) древостоев по высоте, диаметру и запасу, подготовки регрессионных моделей связи прироста с таксационными показателями. По программе "Прогноз" выполняется эксперимент с моделями на ЭВМ, оценка их точности и надежности. Программы написаны на ФОРТРАНе-IV в ДОС ЕС ЭВМ.

Так как разрабатываются модели прогноза, то среднепериодический текущий прирост, например по высоте, вычисляется по формуле

$$Z_{\text{Н}}^{\text{тек}} = \frac{H_{a+10} - H_a}{10}, \quad (1)$$

где $Z_{\text{Н}}^{\text{тек}}$ — абсолютный среднепериодический прирост древостоя по высоте (за 1 год), м; H_a — средняя высота древостоя в настоящий момент, м; H_{a+10} — средняя высота древостоя через 10 лет, м.

Процент прироста равен:

$$P_{\text{Н}} = \frac{Z_{\text{Н}}^{\text{тек}} \cdot 100}{H_a}. \quad (2)$$

Выбор формы моделей связи текущего прироста с таксационными показателями древостоев изучен по исследованиям Н.П.Анучина, В.К.Захарова, К.Е.Никитина, В.В.Антанайтиса, Н.Н.Свалова,

А.Г.Мошкалева, А.З.Швиденко, Р.Kilkki, А.Sullivan и других авторов. Оценке на ЭВМ подвергались следующие группы моделей связи:

$$\lg y = b_0 + b_1 \lg A_1 + b_2 \lg^2 A_1 + b_3 \lg H100; \quad (3)$$

$$Y = f(A_1, H 100);$$

$$\lg y = b_0 + b_1 \lg A_1 + b_2 T + b_3 \lg H100; \quad (4)$$

$$\lg y = b_0 + b_1 \lg A_1 + b_2 \lg G_1 + b_3 (1 - A_1/A_2) H100;$$

$$\lg G_2 = b_0 + b_1 (A_1/A_2) \lg G_1 + b_2 (1 - A_1/A_2) + b_3 (1 - A_1/A_2) \quad (5)$$

$$+ b_3 (1 - A_1/A_2) H 700;$$

$$\lg M_2 = b_0 + b_1 H 100 + b_2 (A_1/A_2) \lg G_1 + b_3 (1 - A_1/A_2) H 100; \quad (6)$$

$$M_2 = f(A_1, A_2, G_1, H 100), \quad (7)$$

где y — абсолютный или относительный среднепериодический текущий прирост по таксационному показателю; A_1, A_2 — возраст древостоя в настоящий момент (A_1) и через 10 лет (A_2); G_1, G_2 — сумма площадей сечения древостоя теперь (G_1) и через 10 лет (G_2); $H100$ — индекс класса бонитета (средняя высота в 100 лет); T — значение таксационного показателя.

В системе планирования выполнена оценка параметров более 1000 регрессионных моделей связи таксационных показателей древостоев по классам бонитета, уровням производительности и режимам ухода.

Сумма площадей сечения древостоя вычислена через запас и видовую высоту, которая определяется по формуле:

$$NF = 1,1416 + 0,4161 H - 0,5608 HD^{-2} + 0,0086 H 100, \quad (8)$$

где H — средняя высота древостоя; D — средний диаметр древостоя.

Модель (8) получена по данным перечислительной таксации сосновых древостоев, объясняет 97% вариации видовых высот с относительной ошибкой 10%. Модели абсолютного прироста по высоте и диаметру (3) объясняют 80 — 98% вариации зависимой переменной с относительной ошибкой 5 — 15%. Модели абсолютного текущего изменения запасов имеют значительные относительные ошибки (15 — 60%).

Модели прогноза прироста в зависимости от возраста и суммы площадей сечения древостоя (4; 5) имеют значимые и устойчивые показатели.

Процент прироста с ошибкой 15 — 30% можно оценить по моделям (3; 4). Хорошие статистические показатели получены в

Т а б л и ц а 1

Среднеквадратические ошибки моделей прогноза роста сосновых древостоев

Режим ухода	Высота						Диаметр						Запас					
	Багинского		Мирошниковая		Михневича		Багинского		Мирошниковая		Михневича		Мирошниковая		Михневича			
	Z _H	P _H	Z _H	P _H	Z _H	P _H	Z _D	P _D	Z _D	P _D	Z _D	P _D	Z _M	P _M	Z _M	P _M		
М	1,1	4,1	1,7	3,0	2,3	2,1	2,5	3,6	4,0	2,7	1,6	2,5	1,3	1,9	10,6	4,7	28,3	2,8
С	1,7	2,5	2,3	1,9	2,9	2,1	2,5	2,2	3,7	4,1	2,2	1,9	8,7	1,8	5,7	4,3	16,1	2,5
Т	1,5	3,4	1,8	2,4	2,3	2,1	2,2	3,1	2,8	2,2	2,9	2,3	58,7	2,0	34,7	5,3	7,3	3,1
М-Т в целом	1,3	3,4	1,9	2,4	2,5	1,9	2,4	3,3	2,5	2,0	3,9	2,5	4,5	1,2	5,0	5,1	14,3	2,2

моделях прогноза сумм площадей сечения (6) и запасов (7). Модели по режимам ухода и уровням производительности имеют меньшую относительную ошибку в сравнении с моделями, разработанными в целом для сосновых древостоев.

Для оценки точности прогноза по моделям и их проверки в программу "Прогноз" введены данные таблиц хода роста сосновых древостоев БССР трех типов (В.Ф.Багинского, В.С.Мирошникова, В.П.Михневича). Запасы и суммы площадей сечения древостоев из таблиц хода роста соответственно умножены на 0,9 (В.Ф.Багинского), на 0,7 (В.С.Мирошникова) и на 0,5 (Ф.П.Михневича). Отклонения прогноза по моделям от данных таблиц хода роста вычислены по 10-летиям с определением среднеквадратической ошибки в целом для периода 30 — 140 лет (табл. 1). Эксперимент с моделями показывает (модели типа 3), что для прогноза абсолютного текущего изменения по запасу лучше подходят модели, разработанные для соответствующего режима ухода. Например, модель режима М (полнота 0,8 — 1,0) хорошо согласуется с таблицами В.Ф.Багинского (при полноте 0,9), а модель режима Т (полнота 0,5 — 0,4) дает ошибку 58,7%. Модели прогноза процента прироста имеют небольшие отклонения (2 — 5%) от данных таблиц хода роста.

Имитационная система прогноза роста древостоев представлена в виде моделей связи, записанных как файлы в память ЭВМ. Ввод информации — древесная порода, коэффициент состава, класс бонитета, таксационные показатели древостоя. Для насаждений, пройденных рубками ухода, вводятся: запас вырубленной древесины и число вырубленных деревьев. По представленному алгоритму и программе ЭВМ на основе моделей связи имитирует рост древостоя [7].

Предлагаемая система прогноза роста древостоев оценивалась по данным глазмерной таксации чистых сосновых насаждений Кличевского лесхоза в 1970 г. с проверкой по материалам выборочной таксации этих древостоев в 1980 г. (табл. 2).

Прогноз выполнен по следующим моделям:

$$\lg P_H = 1,9067 - 0,4152 \lg A - 0,2412 \lg^2 A - 0,1955 \lg H100;$$

$$\lg P_D = 1,7597 - 0,4002 \lg A - 0,2156 \lg^2 A - 0,1275 \lg H100;$$

$$\lg P_M = 2,3102 - 0,2026 \lg M - 0,909 \lg^2 A - 0,415 \lg H100.$$

Отклонения получены сопоставлением данных прогноза и выборочной таксации древостоев.

Применение моделей прогноза роста не исключает ошибок глазмерного способа таксации насаждений. Ошибки при глазмерной оценке средней высоты и полноты древостоев дают ошибки в оценке и прогнозе запасов древостоев (табл. 2).

Повышение точности прогноза роста древостоев — дорогостоящая работа, связанная с увеличением затрат на таксацию лесов

Прогнозирование роста сосновых древостоев

П. п.	Таксация										
	Глазомерная (1970 г.)						Выборочная (1980 г.)				
	Класс бонитета	А	Н, м	Д, см	М, м ³	П	А	Н, м	Д, см	М, м ³	П
1	I	65	20	20	220	0,7	75	24,3	23,7	220	0,53
2	I	70	21	22	200	0,6	80	25,2	28,0	256	0,60
3	II	60	17	20	180	0,7	70	19,4	22,0	199	0,60
4	II	75	19	26	150	0,5	85	21,0	26,2	204	0,56
5	II	85	23	28	300	0,8	95	26,0	29,2	360	0,89
Прогноз с 1970 на 1980 гг.							Отклонения, %				
1	I	75	22,2	22,8	249	0,72	-9,5	-3,9	+13,2	+35,8	
2	I	80	23,6	24,8	225	0,68	-6,8	-12,9	-13,8	+13,3	
3	II	70	19,1	23,1	207	0,70	-1,6	+5,0	+4,0	+16,7	
4	II	85	20,8	26,8	169	0,51	-1,0	+2,3	-20,7	-9,8	
5	II	95	24,8	30,8	330	0,82	-4,8	+5,5	-9,1	-8,5	

(внедрением выборочных методов), причем затраты возрастают в несколько раз быстрее, чем точность прогноза [2]. Выбор рационального уровня точности моделей прогноза лежит в границах, определяющих гармоническое сочетание точности таксации насаждений, структурной и функциональной точности модели, точности вычислительных алгоритмов и затрат на создание системы прогноза. Скорректированные данные глазомерной таксации лесов как массовые материалы, охватывающие многообразие условий роста и развития насаждений, можно использовать для разработки лесотаксационных нормативов, системы моделирования и прогноза роста древостоев.

ЛИТЕРАТУРА

- А тро щ ен ко О.А., Ко ст ен ко А.Г. Направления применения моделей роста леса (на примере БССР). — Обзор информ./Бел НИИТИ. Минск, 1980. — 46 с.
- А тро щ ен ко О.А. Современное направление моделирования роста леса на ЭВМ. — В кн.: Лесоведение и лесное хозяйство. Минск, 1981, вып. 16, с. 79 — 83.
- К лей н ен Д.П. Статистические методы в имитационном моделировании. — М., 1978, вып. 1. — 221 с.
- А тро щ ен ко О.А. Регрессионные модели связи диаметров и высот деревьев в березовых древостоях. — В кн.: Лесоведение и лесное хозяйство. Минск, 1982, вып. 17, с. 84 — 87.