

ности, они выполняют на данной территории. В заповедной хозяйственной части и на особо защитных участках других лесов I группы, исключаемых из главного пользования, формы хозяйства по товарности вообще не устанавливаются. Уникальность заповедных экосистем и лучшее проявление защитно-стабилизирующих, природоохранных, эстетических и других полезных свойств лесов в растущем состоянии наиболее полно обеспечиваются высокоствольными древостоями семенного происхождения.

В рекреационной зоне природного национального парка (как и в местах курортов, зон отдыха, туристических маршрутов и в других лесах I группы) при проведении ландшафтных рубок ухода и санитарных рубок необходимо стремиться к усилению устойчивости насаждений против нежелательных стихийных и антропогенных воздействий, улучшению их эстетической привлекательности и санитарно-гигиенической ценности. Формирование живописных пейзажей и ландшафтов должно включать выращивание в лесах этой зоны древесно-кустарниковых пород, биологически устойчивых против пыли, дыма, газов, уплотнения и ухудшения аэрации почв. Они должны иметь улучшенные декоративно-эстетические свойства, максимально проявляющиеся в течение года. Эти мероприятия имеют особенное значение в формировании красивых пейзажей, хорошо просматриваемых в перспективе из так называемых «видовых точек».

На открытых лужайках целесообразно высаживать цветущие кустарники с продолжительным периодом цветения, а в насаждениях оставлять и охранять ценные в эстетическом отношении деревья и их группы. Формирование таких чередующихся групп деревьев в сочетании с живописными полянами, создающими игру цвета, света и тени, является одной из задач ландшафтных рубок ухода за лесом и декоративного озеленения, определяет своеобразную технику их выполнения.

В лесах рекреационной зоны большое внимание должно уделяться благоустройству территории: созданию дорожной и тропиной сети, установке в «видовых точках» павильонов, беседок и скамеек для отдыха, проведению других лесохозяйственных и организационных мероприятий. Все мероприятия по организации территории лесов рекреационной зоны и их благоустройству должно разрабатывать лесоустройство.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Лес и охрана природы / Под ред. С. Г. Синицына.— М.: Лесн. пром-сть, 1980.— 288 с. [2]. Одум Ю. Основы экологии.— М.: Мир, 1975.— 740 с. [3]. Опыт и методы экологического мониторинга: Матер. Всесоюз. совещания.— Пушкино: Науч. центр биологических исследований АН СССР, 1978.— 265 с. [4]. Федосимов А. Н., Анисочкин В. Г. Выборочная таксация леса.— М.: Лесн. пром-сть, 1979.— 172 с. [5]. Флора і рослинність Карпатського заповідника / Під ред. С. М. Стойко.— Київ: Наукова думка, 1982.— 220 с. [6]. Цурик Е. И. Дигрессивно-демутационные изменения в почвах ельников и вторичных полонин у верхней границы леса в Карпатах // Почвоведение.— 1986.— № 9.— С. 112—121.

Поступила 14 сентября 1987 г.

УДК 630*564

МОДЕЛИРОВАНИЕ РОСТА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРОПИЧЕСКИХ СОСНЯКОВ (*Pinus kesiya*)

НГУЕН НГОК ЛУНГ

Ленинградская лесотехническая академия

В настоящее время моделирование древостоев, необходимое для прогнозирования общей производительности и выхода сортиментов, проводится по двум направлениям:

1) аппроксимация хода роста отдельных деревьев и древостоев, на основе которой запроецированы модели производительности древостоев и получены показатели прироста и урожая (Корсуль, 1935, 1967, Томазус, 1964, Рават и Франц [6], Свалов [2]);

2) моделирование конкретных показателей $Z_M, P_M, i_0, N/\text{га}$ или выхода сортиментов в зависимости от измеряемых факторов (Венк, 1973, Мосер, 1974, Клуттер, 1974, Бутенасс [1], Рубцов и Уконь, 1980, Тябера [3], 1983, Яновский и Мойсеев, 1983, Мошкалев и Давыдов, 1983, Венгер, 1984, Данилин, 1986).

Тропические сосняки *Pinus kesiya* характеризуются высокими темпами роста, даже в начальной стадии развития. Поэтому при аппроксимации закономерности их роста выбранные нами функции должны не только отвечать требованиям точности, гибкости и универсальности, но и исходить из начала координат. Высокой вероятностью доверия и согласия между теоретическими и наблюдаемыми значениями $P_{Y^2} \geq 0,99$ для всех видов роста $D, H, G, V = f(T)$ характеризуются следующие показательные функции:

функция Шумахера (1939) вида:

$$Y = a e^{-b/T^m};$$

функция Корфа (1973) вида:

$$Y = m e^{-aT^{-b}};$$

группа функций Дракина (1940), Хагглунда (1973), Ричардса Равата и Франца (1974) видов:

$$Y = a(1 - e^{-kT})^m; \quad Y - Y_0 = a(1 - e^{-kT})^{1-m};$$

$$Y = a(1 - b e^{-kT})^{1/m - m}.$$

Функция Шумахера достаточно изучена и в лесной таксации характеризуется следующей моделью:

$$Y = a e^{-bT^{-m}}, \quad (1)$$

где Y — таксационные показатели роста: диаметра (D), объема (V), высоты (H);

T — переменная: время, лет;

a, b, m — параметры: a — максимальное значение (Y_{max}); b — коэффициент, имитирующий темп роста; m — биологическая характеристика типа роста.

Область определения $T \in (0, +\infty)$, $Y \in (0, +a)$ при $m > 0$, Y не определяется, когда $T = 0$; но при $T \rightarrow +0$ $Y \rightarrow 0$.

Горизонтальная асимптота $Y_{max} = a$ при $T \rightarrow +\infty$.

Функцией текущего прироста является производная первой степени

$$Z_Y = Y' = mabT^{-m-1} e^{-bT^{-m}}. \quad (2)$$

Точку перегиба (T_1) находят при $Y'' = 0$,

где

$$Y'' = mbT^{-m} mabT^{m-2} e^{-bT^{-m}}; \quad (3)$$

$$T_1 = \left(\frac{mb}{m+1} \right)^{1/m}; \quad (4)$$

$$Y_1 = a e^{-\frac{m+1}{m}}. \quad (5)$$

Максимальный текущий прирост определяют в момент времени T_1 по формуле (4)

$$Z_{Y_{max}} = a(mb)^{-1/m} \left(\frac{e}{m+1} \right)^{-\frac{m+1}{m}}. \quad (6)$$

Функция среднего прироста и ее производная первой степени

$$\Delta_Y = \frac{Y}{T} = \frac{ae^{-bT^{-m}}}{T}; \quad (7)$$

$$\Delta'_Y = \frac{ae^{-bT^{-m}}}{T^2} (mbT^{-m} - 1). \quad (8)$$

Возраст количественной спелости (T_2) достигается при $\Delta'_Y = 0$, $\Delta Y = \max$

$$T_2 = (mb)^{1/m}; \quad (9)$$

$$\Delta_{Y_{max}} = \frac{a}{(mbe)^{1/m}}. \quad (10)$$

Функция относительного текущего прироста

$$P_Y = \frac{Y'}{Y} = \frac{mb}{T^{m+1}} = mbT^{-m-1}. \quad (11)$$

Вертикальная асимптота функции P_Y : при $T \rightarrow +0$, $P_Y = +\infty$ (ось ординат).

Горизонтальная асимптота функции P_Y : при $T \rightarrow +\infty$, $P_Y = 0$ (ось абсцисс).

Функцию роста площади сечения G можно вычислить через функцию (1) при $D = ae^{-bT^{-m}}$. Зная $G = \frac{1}{10^4} \frac{\pi D^2}{4}$, получим:

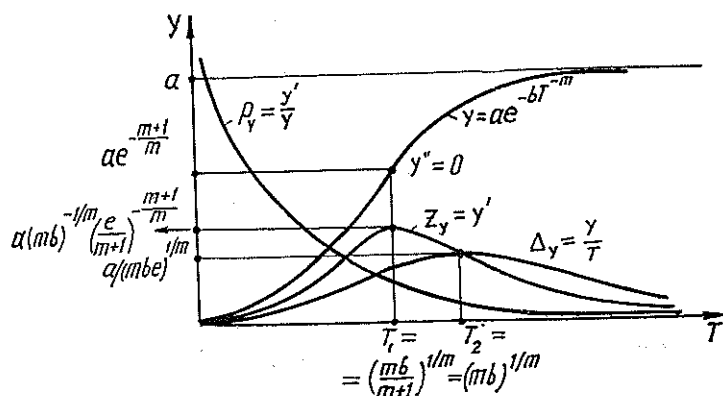
$$G = \frac{\pi a^2 e^{-2bT^{-m}}}{4 \cdot 10^4}. \quad (12)$$

Рост ствола по диаметру

Возраст T , лет	$Y = D$, см (1)	Z_D , см (2)	Δ_D , см (7)	P_D (11)	G , м ² (12)
1	0,02	0,13	0,02	4,5318	0,0000
2	0,39	0,60	0,19	1,5423	0,00010
3	1,20	0,99	0,40	0,8210	0,00010
4	2,32	1,21	0,58	0,5248	0,0004
5	3,60	1,33	0,72	0,3709	0,0010
6	4,97	1,39	0,82	0,2794	0,0019
7	6,37	1,40	0,91	0,2198	0,0032
8	7,77	1,38	0,97	0,1786	0,0047
9	9,15	1,36	1,01	0,1487	0,0066
10	10,49	1,32	1,04	0,1262	0,0086
11	11,79	1,28	1,07	0,1088	0,0109
12	13,06	1,24	1,08	0,0950	0,0134
13	14,28	1,19	1,09	0,0839	0,0160
14	15,46	1,15	1,10	0,0748	0,0188
15	16,59	1,11	1,10	0,0672	0,0216
16	17,69	1,07	1,10	0,0607	0,0246
17	18,74	1,03	1,10	0,0553	0,0276
18	19,76	1,00	1,09	0,0506	0,0307
19	20,75	0,96	1,09	0,0465	0,0338
20	21,69	0,93	1,08	0,0429	0,0370
40	35,58	0,52	0,88	0,0146	0,0994

Для примера приводим аппроксимированную нами функцию роста (1) по диаметру на основе анализа ствола со статистиками: $r = 0,99945$; $S^2_{y/x} = 0,000687$; $\chi^2 = 0,162$; $P_{\chi^2, \nu} > 0,99$; а также с тремя параметрами (т. е. входами): $m = 0,555$; $a = 102,0831$; $b = 8,165416$. Результаты вычисления по указанной схеме даны в таблице. В ней приведены ряды: роста диаметра по каждому возрасту (1); текущего прироста (2); среднего прироста по каждому возрасту (7); относительного текущего прироста (11); роста площади сечения ствола (12).

Точка перегиба (4) $T_1 = 6,78$ лет; диаметр в момент T_1 (5) $D_1 = 6,1965$ см; максимальный текущий прирост в момент T_1 (6) $Z_{D_{max}} = 1,4024$ см/год; возраст количественной спелости (9) $T_2 = 15,22$ года; максимальный средний прирост в момент T_2 (10) $\Delta_{D_{max}} = 1,1065$ см/год.



Исследование функции роста Шумахера с точки зрения лесной таксации

На рисунке дана информация, полученная на основе функции роста Шумахера. Отмечено, что закономерность роста, выражающаяся этой функцией (модель с тремя входами), позволяет получить аналитическим способом все необходимые таксационные показатели.

Указанную функцию можно использовать в сочетании с законом изменения числа деревьев ($N/\text{га}$) составляемой части нормальных древостоев *Pinus kesiya* по Нгуен Нгок Лунгу (1986)

$$N/\text{га} = \frac{10^4}{3,03 + \beta_i T}, \quad (13)$$

где 3,03 — постоянная, гарантирующая начальную плотность 3 300 шт./га;
 T — возраст, лет;
 β_i — параметр, который зависит от классов бонитета при $i = I, II, III, IV$.

Модель для прогнозирования производительности тропических сосняков получают умножением функции роста по объему среднего дерева

$$V = a e^{-bT^{-m}} \quad (14)$$

на число деревьев нормальных древостоев (13). Предложенная нами модель будет иметь следующий вид:

$$M/\text{га} = \frac{10^4 a e^{-bT^{-m}}}{3,03 + \beta T}. \quad (15)$$

На основе (15) аналогичным способом можно выполнить изложенный анализ роста древостоев. При этом используются следующие четыре функции:

запаса $M/\text{га}$ (15);
текущего прироста

$$Z_M = M' = 10^4 \alpha e^{-bT-m} \frac{mbT^{-m-1}(3,03 + \beta T) - \beta}{(3,03 + \beta T)^2}; \quad (16)$$

среднего прироста

$$\Delta M = \frac{M}{T} = \frac{10^4 \alpha e^{-bT-m}}{3,03T + \beta T^2}; \quad (17)$$

относительного прироста

$$Z_M, \% = P_M = \frac{M'}{M} = mbT^{-m-1} - \frac{\beta}{3,03 + \beta T}. \quad (18)$$

Опыты использования функции роста Шумахера и аналогичных функций с параметрами a , b , m позволяют сделать следующие выводы.

1. Точность аппроксимации хода роста (функцией Шумахера) можно достоверно оценить, а также контролировать с помощью совместных критериев:

коэффициента корреляции

$$r = \sqrt{\frac{\Sigma(\hat{Y} - \bar{Y})^2}{\Sigma(Y - \bar{Y})^2}} = [\text{max};] \quad (19)$$

стандартной ошибки регрессии

$$S_{Y/X} = \sqrt{\frac{\Sigma(Y - \hat{Y})^2}{N - k - 1}} = \text{min}; \quad (20)$$

критерия согласия

$$\chi^2 = \Sigma \frac{(Y - \hat{Y})^2}{\hat{Y}} \quad (21)$$

с числом степеней свободы $\nu = N - j - 1$, где \hat{Y} — теоретическое значение; k — число переменных; j — число параметров функции, которые, в свою очередь, оцениваются критериями наличия F Фишера и вероятности доверия P_{F, ν_1, ν_2} ; $P_{\chi^2, \nu}$. В условиях сосняков *Pinus kesiya* коэффициент корреляции r составляет 0,96...0,99, средняя квадратичная ошибка достаточно мала, поэтому точность результата не превышает $p < 1\%$. При этом $P_{\chi^2, \nu}$ всегда больше 0,99 для всех типов взаимосвязей таксационных показателей (диаметра, высоты, объема) с возрастом древостоев.

2. Изменение биологического коэффициента роста m закономерно и зависит от типа взаимосвязи между таксационными показателями, для функции роста по объему m колеблется в пределах 0,47...0,57, по средней высоте — 0,57...0,68, по диаметру — 0,50...0,58. Но в условиях одного типа взаимосвязи изменения m по классам бонитета незначительны, поэтому величину m можно считать постоянной при разработке математических моделей бонитетных таблиц или при проектировании производительности древостоев.

Изложенное предложение не совпадает с выводом американских авторов Бриквелла [5], Бекха и Лино [4] по методике использования m для разработки бонитетной шкалы.

3. При составлении бонитетной шкалы насаждений по методу заданного одинакового интервала Δ_H в определенном возрасте на основе базовой кривой высот ряд авторов считают константным параметр темпа роста b и параметр m и изменяют лишь параметр a соответственно заданному интервалу Δ_H . Это снижает гибкость функции роста этого вида, что подтверждают Лундгрэн и Долид (1970).

В нашей модели производительность тропических сосняков связана с двумя важнейшими показателями: возрастом, при котором древостой достигает максимальной производительности $T_1 (Z_{M_{max}})$, и возрастом количественной спелости $T_2 (\Delta_{M_{max}})$. Согласно (4), $T_1 = \left(\frac{mb}{m+1}\right)^{1/m}$, согласно (9), $T_2 = (mb)^{1/m}$. Очевидно, что они зависят от параметров b и m .

Таким образом, гибкость и универсальность функции роста Шумахера в нашей модели отражаются изменением параметров b и a для каждого класса бонитета, а также изменением параметра m для каждого таксационного показателя (типа связи). Все это соответствует эколого-лесоводственным особенностям роста тропических сосняков *Pinus kesiya*.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Бутенас Ю., Байтис М. Моделирование роста и продуктивности сосновых насаждений в автоморфных типах условий местопроизрастания // Сб. науч. тр. / ЛитНИИЛХ.— Вильнюс, 1980.— С. 20—33. [2]. Свалов Н. Н. Моделирование производительности сосновых древостоев и теория лесопользования.— М.: Лесн. пром-сть, 1979.— 216 с. [3]. Тябера А. П. Моделирование производительности сосновых древостоев разной густоты // Лесн. хоз-во.— 1982.— № 5.— С. 59—62. [4]. Beck D. E., Lino D. B. Yield of unthinned Yellow-poplar // USDA Research Paper, March 1970, SE58. [5]. Brickwell J. E. A Method for constructing site index curves from Mensurments of Tree age and Height, its application to Inland Douglas-fir // US Forest serv. Research Paper, 1968, INT 47. [6]. Rawat A. S., Franz F. Detailed Non-linear Asymptotic Regression studies on Tree and Stand Growth with particular Reference to Forest Yield Research in Bavaria (FRG) and India // IUFRO working Party S4.01.4. Stockholm.— 1974.— N 30.— P. 180—221.

Поступила 29 февраля 1988 г.

УДК 630*566

ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНОЙ ГУСТОТЫ ЕЛОВОГО ДРЕВОСТОЯ НА ЕГО ПРОДУКТИВНОСТЬ

Г. С. РАЗИН

Пермский государственный университет

Объектом изучения были условно разновозрастные естественные ельники, растущие без рубок ухода в дренированных с богатыми почвами условиях (ТУМ С₂, частично С₂₋₃). Почвы в основном дерново-подзолистые, среднегумусные, среднесуглинистые либо легкосуглинистые, подстилаемые покровной глиной или тяжелым суглинком. Встречаются дерново-карбонатные типы почв. Насаждения относятся к типам леса: ельник кисличный, ельник зеленомошно-кисличный, ельник липняковый, ельник травяной. Пробные площади (112 шт.) заложены в древостоях 15—120-летнего возраста с полнотой 0,1...1,2; классы бонитета Va—I.

При подборе естественных, гомогенных рядов использован Поволжский метод составления таблиц хода роста древостоев [2], который имеет две отличительные особенности.