

или форм растений. Поэтому при проведении полевых исследований необходимо оценивать состояние интродуцентов в связи с эдафическими условиями и степенью повреждаемости вредителями и болезнями различных органов растений.

В зависимости от поставленной цели, имеющегося оборудования и допустимых затрат, программа исследований может быть упрощена или дополнена экспериментами, расширяющими изучение биологических и хозяйственно ценных особенностей интродуцентов и заканчивающимися созданием промышленных культур. При этом необходимо провести проверку маточников по потомству и исследовать характер наследования хозяйственно ценных и приспособительных признаков.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Корчагин А. А. Методы учета семеношения древесных пород и лесных сообществ // Полевая геоботаника.— М.; Л., 1960.— Т. 2.— С. 41—133. [2]. Лапин П. И., Сиднева С. В. Оценка перспективности интродукции древесных растений по данным визуальных наблюдений // Опыт интродукции древесных растений.— М.: ГБС АН СССР, 1973.— С. 7—67. [3]. Мауринь А. М. Семеношение древесных экзотов в Латвийской ССР.— Рига: Звайгзне, 1967.— 208 с. [4]. Некрасов В. И., Князева О. М., Смирнова Н. Г. Из опыта проращивания пыльцы интродуцированных древесных растений // Бюл. ГБС.— 1964.— Вып. 52.— С. 76—79. [5]. Термена Б. К. Семеношение некоторых интродуцированных деревьев и кустарников на Буковине // Бюл. ГБС.— 1970.— Вып. 77.— С. 13—16. [6]. Термена Б. К. Вплив метеорологічних факторів на цвітіння та плодоношення береки лікарської (*Sorbus torminalis* Grantz.) на Буковині // Укр. бот. журн.— 1972.— Т. 29, № 5.— С. 609—613. [7]. Тимофеев В. П. Плодоношение еловых насаждений // Лесн. хоз-во.— 1939.— № 7.— С. 15—22. [8]. Antosiewicz Z. Kilka spostrzezen na temat nasion brzozy i olszy // Las polski.— 1961.— 35, N 19 (462).— S. 3—5. [9]. Jahn H. Zur frage der Bestimmung der Keimfähigkeit in der Saatgutprüfung überlegenden Forstsaatgutes // Angewandte Botanik.— 1961.— 35, N 2.— S. 107—116. [10]. Wytténbach E. Die Bestimmung der Keimfähigkeit von Samenproben ohne Keimversuch unter besonderer Berücksichtigung des topographischen Tetrazoliumverfahrens // Mitteilungen Schweiz. Landwirt.— 1962.— Jah. 10, N 5.— S. 65—71.

Поступила 14 августа 1989 г.

УДК 630*5

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ОПТИМАЛЬНОЙ ГУСТОТЫ ДРЕВОСТОЯ НА ОСНОВЕ ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ

А. Л. ГУТМАН

Воронежский лесотехнический институт

Применяемые в настоящее время методы моделирования фитоценозов отличаются от используемых в классических лесоводственных работах. Если в последних исходным является добротная статистика большого опытного материала, то первые опираются на общие биологические, физиологические и физико-химические закономерности и обладают большей общностью. Применение таких моделей в практическом лесоводстве затрудняется их относительной сложностью. Вместе с тем они могут быть использованы при решении ряда частных задач. При этом возможны упрощения общей постановки задачи.

В предлагаемой работе такая попытка предпринята на примере использования эколого-физиологической модели динамики лесных насаждений М. Д. Корзухина* для оценки оптимальной густоты древо-

* Корзухин М. Д. К эколого-физиологической модели лесной динамики // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем.— Л.: Гидрометеоздат, 1986.— Т. 9.— С. 259—276.

стоя. Критерием оптимальности служит максимум прироста суммы поперечных сечений $Z_G(N)$ в функции от густоты, соответствующий максимуму прироста по запасу древостоя. Он был принят при сборе и обработке экспериментального материала для проверки предложенной модели. Можно построить модель, удовлетворяющую другим критериям, например максимуму прироста суммы диаметров и т. д.

Построение модели

Для одновидового, одновозрастного древостоя эколого-физиологическая модель М. Д. Корзухина приводит к следующей системе динамических уравнений (особь — фитоценоз):

$$\left. \begin{aligned} \dot{N} &= - [1 - e^{-r_1 r_2 D^{r_1} N}] N; \\ \dot{D} &= r_3 D^{r_4} e^{-r_4 D^{r_4} N} - r_5 D^{r_6}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Здесь

N — густота;
 D — средний диаметр;
 \dot{N} и \dot{D} — соответственно их производные по времени;

$r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6, r_7$ — числовые параметры.

Систему уравнений (1) легко преобразовать так, чтобы в ней вместо среднего диаметра D в качестве размерного параметра фигурировала средняя площадь поперечного сечения g . При этом нужно учесть, что для типовых функций распределения (Релея, Максвелла, логарифмически нормального и др.), равных нулю на отрицательной полуоси, средний квадрат случайной величины пропорционален квадрату ее среднего значения. Поэтому можно принять

$$g \sim D^2. \quad (2)$$

Теперь, умножив второе уравнение в системе (1) на D , перепишем ее в виде:

$$\left. \begin{aligned} \dot{N} &= - [1 - e^{-\alpha_1 \alpha_7 g^{\alpha_7} N}] N; \\ \dot{g} &= \alpha_3 g^{\alpha_4} e^{-\alpha_7 g^{\alpha_7} N} - \alpha_5 g^{\alpha_6}, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где $\alpha_1, \dots, \alpha_7$ — новые численные коэффициенты.

Для упрощения системы (3) введем два новых параметра: 1) максимальную густоту N_{max} , при которой рост древостоя прекратится ($\dot{g} = 0$); 2) максимальную скорость прироста средней площади поперечного сечения \dot{g}_{max} , соответствующую $N = 0$. Первый параметр определим из уравнения

$$\alpha_3 g^{\alpha_4} e^{-\alpha_7 g^{\alpha_7} N_{max}} = \alpha_5 g^{\alpha_6}, \quad (4)$$

второй из уравнения

$$\dot{g}_{max} = \alpha_3 g^{\alpha_4} - \alpha_5 g^{\alpha_6}. \quad (5)$$

Используя выражения (5) и (4), второе уравнение в системе (3) можем переписать в следующем виде:

$$\dot{g} = \dot{g}_{max} \frac{e^{-\alpha_7 g^{\alpha_7} N} - e^{-\alpha_7 g^{\alpha_7} N_{max}}}{1 - e^{-\alpha_7 g^{\alpha_7} N_{max}}}. \quad (6)$$

Очевидно, что в области оптимальных значений густоты должно иметь место неравенство

$$N_{max} \gg N. \quad (7)$$

Отсюда уравнение (6) упрощается и принимает вид

$$\dot{g} = \dot{g}_{max} e^{-\alpha_1 g^{\alpha_2} N}. \quad (8)$$

Так как сумма поперечных сечений

$$G = Ng,$$

то, используя (8) и первое уравнение в (3), получим следующее выражение прироста суммы поперечных сечений:

$$Z_G = \dot{N}g + \dot{g}N = -Ng [1 - e^{-\alpha_1 \alpha_2 g^{\alpha_2} N}] + g_{max} N e^{-\alpha_1 g^{\alpha_2} N}. \quad (9)$$

Для отыскания оптимальной густоты, приносящей максимум функции $Z_G(N)$, приравняем нулю ее производную по N . В результате получим уравнение для величины

$$x \equiv \alpha_1 g^{\alpha_2} N_0, \quad (10)$$

содержащей оптимальную густоту N_0 :

$$\dot{g}_{max} e^{-x} (1-x) + g e^{-\alpha_1 x} (1-x\alpha_1) - g = 0. \quad (11)$$

Приняв в качестве первого приближения уравнения (11)

$$x_1 = 1, \quad (12)$$

получим невязку

$$\Delta = g [e^{-\alpha_1} + \alpha_1 e^{-\alpha_1} - 1]. \quad (13)$$

Из расчетов М. Д. Корзухина и общих соображений следует

$$\alpha_1 \ll 1. \quad (14)$$

Заменяя на этом основании в уравнении (13)

$$e^{-\alpha_1} \approx 1 - \alpha_1,$$

получим:

$$\Delta \approx -g\alpha_1^2. \quad (15)$$

Таким образом, невязка уравнения (11) при подстановке в него в качестве решения (12) имеет второй порядок малости. Следовательно, с большой точностью из уравнений (12) и (10) можно принять:

$$N_0 = \frac{1}{\alpha_1 g^{\alpha_2}}.$$

Переходя к более удобным обозначениям, запишем:

$$N_0 = \alpha g^{-\beta}. \quad (16)$$

Таким образом, из исходной динамической системы, содержащей семь параметров, путем естественных упрощений удалось получить двухпараметрическую модель, выражающую зависимость оптимальной густоты от средней площади поперечного сечения. По определению средней площади поперечного сечения g для всякого древостоя (в том числе имеющего оптимальную густоту)

$$N = Gg^{-1}, \quad (17)$$

где G — сумма площадей поперечных сечений.

Оптимальная густота должна удовлетворять, кроме соотношения (17), еще и равенству (16), где $\alpha \neq G$, $\beta \neq -1$. Для отыскания α и β на основе опытных данных могут быть применены известные мето-

ды регрессионного анализа. Представляется, в частности, эффективным линейный метод наименьших квадратов для логарифма оптимальной густоты. Действительно, из уравнения (16) следует линейная зависимость между логарифмами оптимальной густоты и среднего диаметра:

$$\ln N_0 = \ln \alpha - \beta \ln g. \quad (18)$$

Проверка модели на опытных данных

Опытные данные представляют собой результаты обработки наблюдений за ростом культур сосны ЦЧР на постоянных пробных площадях. Объем экспериментального материала, собранного в натуре В. К. Поповым и В. В. Успенским, составил 38 проб с периодом наблюдений от 10 до 40 лет. Обобщенные данные приведены в первых четырех графах таблицы. В пятой графе даны результаты вычислений по формуле (16). При этом принято $\alpha = 98$, $\beta = 0,7$. В шестой графе дано процентное отклонение расчетных результатов от опытных.

Возраст, лет	Оптимальная густота, тыс. шт./га	Сумма площадей сечений, м ² /га	Средняя площадь сечения, м ²	Расчитанная оптимальная густота, тыс. шт./га	Относительная ошибка расчета, %
20	4,7	18	$3,83 \cdot 10^{-3}$	4,82	-2,5
30	2,8	25	$8,93 \cdot 10^{-3}$	2,66	5,0
40	2,0	27	$13,5 \cdot 10^{-3}$	1,99	0,5
50	1,6	31	$19,4 \cdot 10^{-3}$	1,55	3,1
60	1,4	32	$22,9 \cdot 10^{-3}$	1,38	1,4
70	1,2	33	$27,5 \cdot 10^{-3}$	1,21	-0,8

Из таблицы видно, что предложенная модель дает удовлетворительную точность и может быть использована в практических расчетах. Коэффициенты α и β имеют общее значение для культур сосны, для других древостоев они должны быть определены на основе опытных данных.

Поступила 7 апреля 1989 г.

УДК 630*114.351(597.3)

**ХАРАКТЕРИСТИКА
НАКОПЛЕНИЯ ОПАДА И ПОДСТИЛКИ
В СОСНОВЫХ ЛЕСАХ ЮЖНОГО ВЬЕТНАМА**

ДО ДИНЬ ШАМ, НГО КИЭ

Ленинградская лесотехническая академия

Задача данной работы — изучить накопление и динамику опада, подстилок в сосновых лесах *Pinus Kesiya* Royle ex Gordon, расположенных преимущественно в провинции Лам Донг Южного Вьетнама на высоте от 1 000 до 1 900 м над уровнем моря. Средняя годовая температура — 18,3 °С, количество осадков — 1 800... 2 000 мм в год, относительная влажность воздуха — 84 %. Особенность этих лесов — накопление слоя подстилки, рассматриваемой как особый биогеогеографический горизонт [3].

Мы изучали динамику опада в двух сосновых древостоях, которые имеют возраст: I — 30 лет, II — 40 лет, диаметр ствола соответственно — 20 и 23 см, высоту — 21 и 24 м, густоту — 400 и 450 деревьев на 1 га, полноту — 0,6. Были использованы