

Модель роста деревьев темнохвойных пород на основе *L*-систем

А. М. ОМЕЛЬКО

Биолого-почвенный институт ДВО РАН
690022 Владивосток, проспект 100 лет Владивостоку, 159

АННОТАЦИЯ

На основе *L*-систем создана математическая модель, описывающая рост дерева темнохвойной породы. Написано программное обеспечение, позволяющее формировать виртуальный древостой из отдельных деревьев и наблюдать за его развитием. Для исключения пересечений ветвей растущих деревьев в модели введено правило запрета на рост побега в уже занятое место. Параметры модели определены для двух темнохвойных пород южного Сихотэ-Алиня – ели аянской и пихты белокорой. Модель позволяет получить следующие эффекты: различные варианты изменения формы кроны дерева под воздействием соседних деревьев, неопределенность высоты начала кроны, изменение сбega и формы ствола в зависимости от густоты насаждения, возобновление нормального роста дерева после освобождения. Сопоставление модельных результатов и эмпирических наблюдений показало, что модель хорошо описывает рост как обособленных деревьев, так и смешанных насаждений.

ВВЕДЕНИЕ

Существуют задачи (например, оптимизация структуры посадок), для решения которых нужно рост насаждения описывать как рост отдельных слагающих его деревьев. При таком подходе сложно описать развитие кроны дерева, поскольку ее форма и строение меняются в зависимости от густоты насаждения. Когда речь идет о хвойных деревьях, крону обычно представляют как фигуру вращения, например конус [1]. В ряде случаев это может дать неплохие результаты. Но если описывать рост двух молодых деревьев, расположенных рядом, то их кроны-конусы вскоре “врастут” друг в друга. Это приведет к серьезным ошибкам при вычислении таких параметров, как площадь активной фотосинтезирующей поверхности листьев.

Альтернативой является моделирование роста дерева на основе *L*-систем. Данный подход позволяет точно описать развитие кроны дерева, в том числе и у широколиствен-

ных пород. Кроме того, используя *L*-системы, можно учитывать практически все параметры дерева, измеряемые в природе, к примеру массу хвои на определенной ветви и асимметрию поперечного сечения ствола. *L*-системы пока не принадлежат к общеизвестным инструментам исследования, поэтому о них будет рассказано подробнее.

В нашей модели мы ограничимся описанием роста двух темнохвойных древесных пород – ели и пихты.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

***L*-системы.** Грамматику *L*-систем придумал датский математик и биолог Линденмейер (Lindenmayer, 1968). Его модель выглядит так. Задают произвольный набор символов, называемый алфавитом. Выделяют слово, описывающее начальное состояние организма (axiom). Затем формулируют правила замены каждого символа алфавита определенным словом, т. е. задают закон развития.

Действуют правила так: читаем по порядку каждый символ аксиомы и заменяем его на слово, указанное в правиле замены. Если правило замены символа не указано, он не меняется. Шаг за шагом получается удлиняющаяся строка символов. Это своего рода стадии развития организма.

Полученную строку символов нужно интерпретировать. Как придумал Линденмеер, символы могут означать некоторые геометрические операции, так что манипуляциям со строками символов будут соответствовать преобразования наглядных фигур.

Чтобы моделировать образование разных растений, нужно каждый раз выбирать подходящую *L*-систему, т. е. аксиому и правила замены.

Общепринятыми в алфавите *L*-систем являются следующие символы: "F" – провести линию в один шаг в данном направлении, "+" – сделать поворот (изменить направление движения) по часовой стрелке на фиксированный угол (*Angle*), "-" – сделать поворот на фиксированный угол против часовой стрелки, "[" – запомнить состояние (точку и направление движения), "]" – вспомнить последнее состояние (т. е. вернуться в него). Будут использоваться и другие символы, которые не обозначают никаких геометрических операций, но в неявном виде участвуют в процессе роста наших растений. Примеры фигур, полученных с помощью *L*-систем, показаны на рис. 1.



Axiom F
Angle 16
 $F \rightarrow FF[-F+F+F]^+$
 $+ [+F-F-F]$



Angle 14
Axiom Z
 $Z \rightarrow ZFX [+Z][-Z]$
 $X \rightarrow X[-FFF]^+$
 $+ [+FFF]FX$

Рис. 1. Примеры *L*-систем.

Когда нужно описать развитие реального объекта, часто использование фиксированных шагов и углов поворота оказывается нецелесообразным. В таком случае используют параметрические *L*-системы. Обозначения действий не меняются. Но после символов "шаг" и "поворот" в скобках записываются выражения, по которым рассчитываются конкретные значения шага и поворота.

Нередко возникает необходимость описать развитие объекта как стохастический процесс. Для этого в конце каждого правила замены записывают значение вероятности, с которой эта замена осуществляется.

И, наконец, если нужно описать взаимодействие объекта и среды, говорят об открытых *L*-системах. Перед осуществлением каждой замены проверяются некие внешние условия. Например, когда описывается рост дерева, то до образования нового побега подсчитывается, достаточно ли для этого света. Единые обозначения для таких систем пока не разработаны. Подробнее о *L*-системах можно прочитать в работах Куца [2-4], Пружинкевича [5] и Диаз-Амбрана [6].

Модель роста дерева. В образовании побегов у сосны, ели и пихты прослеживается свойственная живым организмам пятилучевая симметрия: в идеальных условиях на побеге образуются верхушечная почка и пять пазушных, правильно расположенных вокруг нее. Этот факт ранее не использовался при создании моделей роста дерева. Например, в работе Гаврикова [7] сказано, что на побеге сосны в зависимости от условий образуется от одной до девяти почек. Расположены они произвольно.

Запишем *L*-систему, описывающую рост дерева темнохвойной породы. Структурной единицей модели будет побег с почками, шаг равен одному году. Примем следующее упрощение: будем считать, что на боковых побегах образуются максимум три почки, расположенные в горизонтальной плоскости, – одна верхушечная и две пазушных. Данное утверждение справедливо для деревьев, растущих в насаждениях.

Рост описывается в трехмерном пространстве. Поэтому будут введены новые обозначения. Направление координатных осей показано на рис. 2.

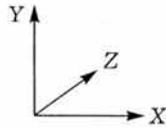


Рис. 2. Направление осей в трехмерном пространстве.

Angle Y 72; Angle Z 15

Axiom \\\\\\\F[\\\\\\B+B+B+B+B]A
 A → F[\\\\\\B+B+B+B+B]A
 B → F[+B][B][-B]

Здесь символы “/” и “\” обозначают повороты на Angle Z вокруг оси Z по и против часовой стрелки соответственно, “+” – поворот вокруг оси Y на угол Angle Y по часовой стрелке. Символ “A” обозначает верхушечную почку, “B” – пазушную, “F” – побег, “→” – подстановку.

Для хвойных характерен моноподиальный тип ветвления. Это значит, что у дерева можно выделить ось нулевого порядка – ствол, в результате ветвления которого образуются оси первого порядка – боковые побеги. Они, в свою очередь, дают ветвления второго и более высоких порядков. Как показали наши исследования, у ели и пихты побеги образуются на осях максимум третьего порядка. Причем, чем выше порядок оси, тем ниже вероятность образования побега. Существует также обратная связь между порядком оси и средней длиной побега. Учтем эти особенности в модели:

Angle Y 72; Angle Z 15

Axiom \\\\\\\F(x₀)[\\\\\\B+B+B+B+B]A
 A → F(x₀)[\\\\\\B+B+B+B+B]A : p₀
 B → F(x₁)[+C][B][-C] : p₁
 C → F(x₂)[+D][C][-D] : p₂
 D → F(x₃) : p₃

Здесь p_i – вероятность образования побега, x_i – средняя длина побега на оси i-го порядка, C и D – обозначения почек на осях второго и третьего порядков.

В природе ветви деревьев друг в друга не врастают. Механизм подавления роста побегов на границе соприкосновения ветвей не ясен. Поэтому просто запретим ветвям пересекаться друг с другом. В таком случае на каждом шаге счета модели нужно находить пересекающиеся побеги. Однако у взрослого дерева может быть несколько десятков вет-

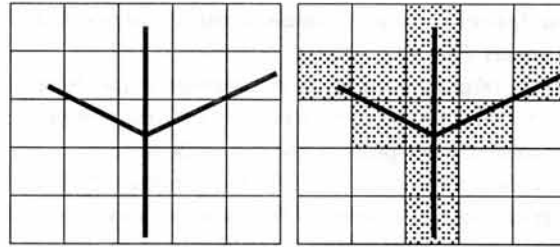


Рис. 3. Пример заполнения ячеек двумерного пространства.

вей, образованных сотнями побегов, и подобные поиски займут немало времени.

Попробуем найти приближенное решение. Рассмотрим двумерный случай, когда ветви располагаются на плоскости. Разобьем эту плоскость на равные квадраты. Если квадрат пересекает хотя бы один побег, то он считается “заполненным” (рис. 3). Теперь постулируем, что если новый побег попадает в пустой квадрат, он образуется, если в полный – нет (вероятность его образования становится равной нулю). Используя такую дискретизацию пространства, можно добиться существенного выигрыша времени. В случае трехмерного пространства мы будем использовать не квадраты, а кубы. Сходным приемом воспользовался Курц (Kurth, 1998) для расчета доступной физиологически активной радиации.

В нашей работе размер кубов 10×10×10 см подобран опытным путем, он оптимален при длине побегов 10–15 см. Условимся далее называть объем, составленный из кубов-ячеек, “модельным пространством”; объекты, описывающие развитие дерева, – “деревьями”, группу деревьев – “насаждением”. Замкнем модельное пространство в тор. Тогда ветви дерева, выходя, например, за правую границу модельного пространства, будут появляться с левой его стороны. Это необходимо, иначе деревья на границе модельного пространства окажутся в лучших по сравнению с другими условиями.

Перейдем к описанию прироста по диаметру. К этой проблеме подходят по-разному [8]. В работе Келломаки [9], например, диаметр побега определяется его возрастом.

Как показало изучение эмпирического материала, прирост объема родительского побега всегда составляет определенную долю от суммы приростов объема дочерних побе-

гов (своего рода "коэффициент переноса" объема). Значит, определив объем новых побегов, образовавшихся в течение года, можно – по цепочке – рассчитать изменение объема и всех родительских побегов.

Как оказалось, длина и диаметр побега хорошо коррелируют. Эту зависимость можно описать линейным уравнением

$$D = a \cdot L + b, \quad (1)$$

где D – диаметр побега, L – его длина, a , b – параметры. Длина нового побега на оси определенного порядка задается как параметр. Помножив ее на диаметр, получим объем (поскольку диаметр побега по всей длине практически одинаков, можно представить его как цилиндр). После нахождения изменений объемов можно легко перейти к приросту по диаметру.

Может случиться так, что прошлогодний побег в новом году не образует ни одного дочернего. В таком случае он почти неминуемо отомрет. Произойдет это в тот момент, когда на нем не останется хвои – основного источника энергии.

АЛГОРИТМ МОДЕЛИ

1. Образование новых побегов. Для каждого дерева выполняем следующие действия.

1.1. Считываем информацию об i -м побеге, образовавшемся в прошлом году. Если побегов на данном дереве больше нет, переходим к пункту 2.

1.2. Считывается информация об j -й почке на побеге (расположение в пространстве и направление, куда должен расти появившийся из нее побег). Если почек больше нет, переходим к пункту 1.1.

1.3. Определяем порядок оси, на которой должен образоваться побег.

1.4. Зная порядок оси, находим вероятность образования побега. Образуется ли он реально, определяем при помощи генератора случайных чисел с использованием полученной вероятности. Если образуется, переходим к пункту 1.5, иначе – к пункту 1.1.

1.5. Определяем параметры нового побега. Возвращаемся к пункту 1.1.

2. Образовавшиеся в текущем году побеги заносим в модельное пространство (пересекаемые побегами ячейки заполняем).

3. Находим прирост по диаметру. Для каждого дерева выполняются следующие действия.

3.1. Считываем информацию об i -м новом побеге.

3.2. По функции (1) определяем диаметр побега. Находим его объем.

3.3. Используя значения коэффициента переноса объема, последовательно находим прирост объема всех родительских побегов.

3.4. Переходим к приросту по диаметру.

4. Усыхание ветвей. Для всех деревьев выполняются следующие действия.

4.1. Последовательно находим побеги, прирост по диаметру которых в текущем году равен нулю.

4.2. Проверяем, сохранилась ли на них хвоя. Если сохранилась, возвращаемся к пункту 4.1, если нет, переходим к следующему.

4.3. Проверяем, отходят ли от него другие побеги. Если нет, удаляем, освобождая соответствующие ячейки модельного пространства, и переходим к пункту 4.1. Если да, переходим к 4.1.

Подведем итог. Чтобы характеризовать определенную породу дерева, нужно знать следующие параметры: вероятность образования побегов на осях разных порядков, средние длины побегов на осях разных порядков, коэффициенты переноса объема, коэффициенты уравнения (1), связывающего длину побега и его диаметр, а также среднее время жизни хвои.

Исходными данными для определения параметров модели послужили результаты обмеров ветвей деревьев, проведенные в дендрарии Горнотаежной станции ДВО РАН. При этом длина побегов измерялась с точностью до одного миллиметра, диаметр – с точностью 0,1 мм. Данные для оценки адекватности описания роста деревьев получены там же.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для работы с моделью автором написано специализированное программное обеспечение на языке программирования Object Pascal (Borland Delphi 5.0). Эта программа позволяет формировать виртуальный древостой и наблюдать за его развитием, получая всю необходимую статистическую информацию. Ил-

люстрации, приведенные ниже, также созданы с помощью данной программы.

Рассмотрим рост деревьев условной хвойной породы в разных ситуациях. Параметры породы установим следующими: средняя длина побегов на оси первого порядка – 10 см, на оси второго порядка – 8 см, на оси третьего порядка – 6 см. Вероятность образования побегов на оси нулевого, первого и второго порядков – 100 %, третьего порядка – 35 %. Прирост в высоту (ось нулевого порядка) – 20 см. Максимальное время жизни хвои – 5 лет. Коэффициенты уравнения, описывающего связь длины побега с его диаметром (1): $a = 0,25$, $b = 0,4$. Коэффициенты переноса объема – 0,20 для молодых побегов и 0,90 для остальных.

Рост обособленного дерева. Разместим в модельном пространстве одно дерево и понаблюдаем за его ростом в течение нескольких лет (рис. 4). Видно, что растущее дерево имеет крону конусовидной формы. Ветви отходят от ствола почти у земли. В дальнейшем дерево изменится только в размерах, пропорции его останутся теми же. В природных условиях процесс роста одиноко стоящего дерева имеет одно существенное отличие: с возрастом нижние ветви замедляют рост в длину, из-за чего крона приобретает характерную овальную или “яйцевидную” форму. Продольное сечение ствола (рис. 5, А) имеет типичную для растущего обособленно молодого дерева треугольную форму.



Рис. 4. Рост обособленного дерева. Внешний вид дерева в возрасте 9 лет. Черным цветом обозначены части ветвей и ствола, лишенные хвои.

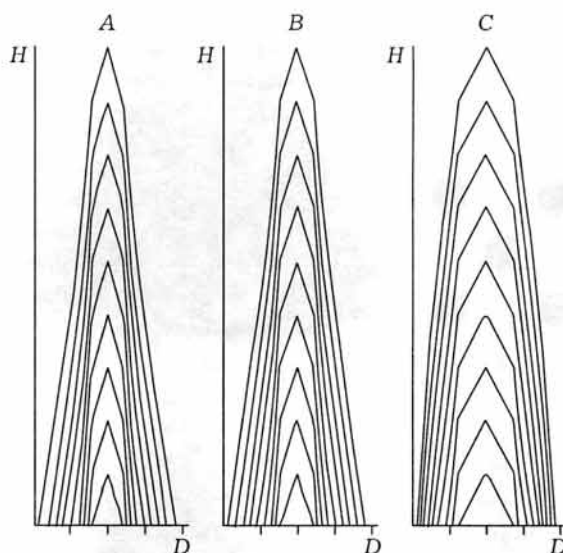


Рис. 5. Продольные сечения стволов деревьев: А – дерево, растущее обособленно, В – одно из двух близкорасположенных деревьев, С – дерево, растущее в центре “конверта”.

Рост двух близкорасположенных деревьев. Разместим в модельном пространстве два дерева близко друг к другу и понаблюдаем за их ростом (рис. 6). Видно, что по прошествии некоторого времени кроны смыкаются и образуется одна “общая” крона почти правильной конусовидной формы. Посмотрим, как выглядит каждое дерево в отдельности. Кроны деревьев оказываются однобокими. Появляется некоторая неопределенность при определении высоты начала кроны, поскольку с одной стороны ветви отмирают. Если посмот-

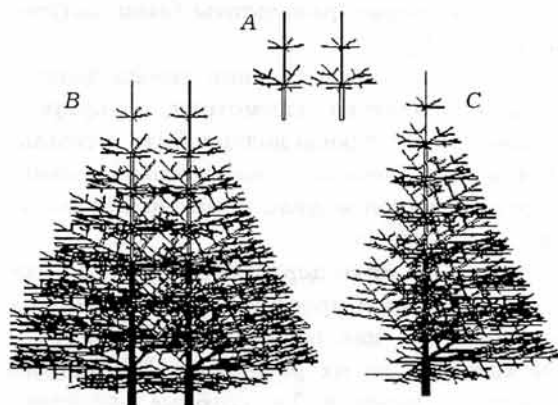


Рис. 6. Рост двух близкорасположенных деревьев. А, В – внешний вид деревьев в возрасте 3 и 9 лет соответственно, С – отдельный вид правого дерева; черным цветом обозначены ветви, лишенные хвои.

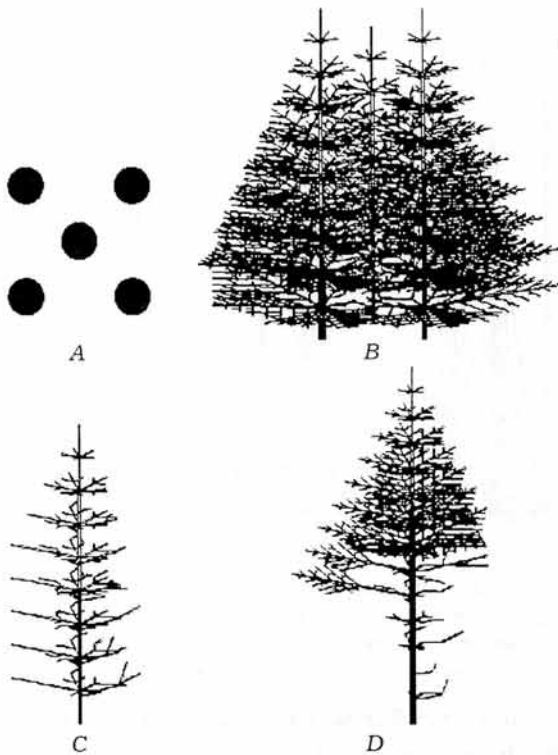


Рис. 7. Рост группы деревьев, расположенных "конвертом". А - схема расположения деревьев, В - внешний вид группы деревьев в возрасте 9 лет, С - дерево, находившееся в центре, D - то же дерево через несколько лет после освобождения; черным цветом отмечены фрагменты ветвей и ствола, лишенные хвои.

реть на продольное сечение ствола (рис. 5, В), то можно увидеть, что прирост по диаметру в нижней его части несколько уменьшился. Подобные результаты были получены Рефи [10].

На самом деле в сечении ствола должна была бы появиться асимметрия, т.е. прирост с освещенной стороны должен быть нормальным, а с затененной - значительно меньше. Простота нашей модели не позволяет получить этот эффект.

Группа из пяти деревьев. Теперь разместим в модельном пространстве пять деревьев конвертом, как показано на рис. 7, А, и наблюдаем за их развитием. Рассмотрим отдельные деревья. Те, которые оказались на периферии, имеют "однобокую" крону, как в предыдущем примере. Дерево, помещенное в центр, испытывает сильное угнетение (рис. 7, В). Крона его начинается высоко над землей и представлена редкими ко-

роткими ветвями. Продольный разрез ствола (см. рис. 5, С) показывает, что прирост по диаметру очень мал. Если четыре дерева на периферии убрать, то крона центрального дерева возобновит нормальное развитие (рис. 7, D). В работе Гаврикова [7] получен другой результат - дерево после длительного угнетения не может продолжить нормальный рост. Это утверждение не совсем верно.

Теперь проверим, как модель описывает рост деревьев реальных древесных пород. Значения параметров для ели аянской (*Picea jezoensis* Sieb. Et Zucc) и пихты белокорой (*Abies nephrolepis* Maxim.) приведены в табл. 1. Перечислим условные обозначения параметров: $p_0 \dots p_4$ - вероятность образования побегов на осях от нулевого до четвертого порядков, %; $x_0 \dots x_3$ - средняя длина побегов на осях от нулевого до третьего порядков, см; $Kp1, Kp2$ - коэффициенты переноса объема для побегов и всех остальных фрагментов ветвей соответственно; А, В - параметры уравнения (1), описывающего зависимость диаметра побега от его длины, Т - время жизни хвои.

Для начала проверим, насколько точно модель описывает рост обособленных деревьев. В дендрарии ГТС ДВО РАН есть ели и пихты, растущие на значительном удалении друг от друга. Эти посадки сделаны в 1965 г. Понятно, что деревья высажены не семенами, а саженцами из питомника. Возраст са-

Т а б л и ц а 1
Значения параметров модели для ели аянской и пихты белокорой

Параметр	Ель аянская	Пихта белокорая
P_0	100 ± 0	100 ± 0
P_1	100 ± 0	100 ± 0
p_2	100 ± 0	100 ± 0
p_3	34 ± 5	59 ± 4
x_0	24 ± 1	35 ± 2
x_1	15 ± 2	18 ± 2
x_2	11 ± 2	12 ± 3
x_3	7 ± 3	9 ± 3
$Kp1$	0,18 ± 0,03	0,23 ± 0,04
$Kp2$	0,95 ± 0,05	0,89 ± 0,08
А	0,023 ± 0,01	0,018 ± 0,01
В	0,37 ± 0,06	0,37 ± 0,08
Т	8	6

Т а б л и ц а 2

Сравнение показателей модельных деревьев и деревьев, получаемых с использованием L-системы (обособленные деревья)

Порода	Показатель	Реальные деревья	Модель
ЕА	$D_{1,3}$, см	23 ± 2	20 ± 3
	H , м	$9,1 \pm 0,5$	$9,3 \pm 0,4$
	$H_{кр}$, м	$0,4 \pm 0,2$	$0,24 \pm 0,0$
	$D_{кр}$, м	$6,1 \pm 0,3$	$6,0 \pm 0,6$
ПБ	$D_{1,3}$, см	28 ± 2	26 ± 3
	H , м	$13,7 \pm 0,7$	$13,6 \pm 0,8$
	$H_{кр}$, м	$0,3 \pm 0,1$	$0,35 \pm 0,0$
	$D_{кр}$, м	$6,5 \pm 0,4$	$6,3 \pm 0,6$

П р и м е ч а н и е. Здесь и в табл. 3 ЕА – ель аянская, ПБ – пихта белокорая.

женцев, к сожалению, не известен, однако их показатели – высота и диаметр кроны – приблизительно соответствовали таковым у деревьев, создаваемых с помощью модели и имеющих возраст два года. Таким образом, чтобы проверить адекватность модели, нужно “вырастить” в модельном пространстве деревья ели и пихты возрастом 39 лет. Результаты представлены в табл. 2.

Анализируя результаты, представленные в таблице, можно сказать, что модель неплохо описывает рост обособленных деревьев. Но при этом происходит некоторое занижение диаметра как у ели, так и у пихты. Объяснить это можно следующим образом. Определяя прирост по диаметру, мы выяснили, что величина коэффициента переноса

Т а б л и ц а 3

Сравнение показателей модельных деревьев и деревьев, получаемых с использованием L-системы (деревья в группах)

Порода	Показатель	Реальные деревья	Модель
ЕА	$D_{1,3}$, см	13 ± 3	12 ± 3
	H , м	$6,1 \pm 0,5$	$7,0 \pm 0,3$
	$H_{кр}$, м	$2,2 \pm 0,4$	$2,4 \pm 0,2$
	$D_{кр}$, м	$4,3 \pm 0,6$	$5,1 \pm 0,8$
ПБ	$D_{1,3}$, см	22 ± 4	21 ± 4
	H , м	$9,2 \pm 0,6$	$10,2 \pm 0,6$
	$H_{кр}$, м	$2,0 \pm 1,0$	$2,6 \pm 0,2$
	$D_{кр}$, м	$5,1 \pm 0,7$	$5,0 \pm 0,7$

объема одинакова для побегов всех возрастов. На самом деле она должна постепенно увеличиваться, стремясь к единице. Известно, что интенсивность потребления ассимилятов регулируется ауксином. Этот гормон вырабатывается в почках и молодых листьях и, передвигаясь по направлению к корням, быстро разрушается. Соответственно должно уменьшаться и потребление ассимилированных веществ. Видимо, погрешность измерений не позволила уловить эту закономерность. Для устранения данного недостатка модели необходимо провести более точные исследования.

Теперь проверим, как модель описывает рост ели и пихты в насаждениях. Для этого воссоздадим небольшой фрагмент смешанных елово-пихтовых посадок, созданных в дендрарии ГТС ДВО РАН в 1975 г. Деревья высажены рядами. Среднее расстояние между деревьями – 2,8 м, расстояние между рядами – 5 м. Сравним показатели модели и реальных деревьев (табл. 3).

Описание роста деревьев в группах вполне удовлетворительное. Отметим небольшое завышение высоты деревьев, получаемых с помощью модели. Деревья, расположенные по периферии, затеняют деревья внутреннего ряда, и их прирост в высоту уменьшается. В нашей модели этот эффект не учитывается, что и приводит к завышению высоты. Начало крон моделируемых деревьев расположено несколько выше такового у реальных елей и пихт. Кроме того, по эмпирическим данным ель оказывается более чувствительной к недостатку света, чем пихта (кроны елей начинаются несколько выше).

Конечно, в случае групповых посадок гораздо интереснее было бы сравнивать различные весовые показатели деревьев, поскольку размеры крон могут и не меняться, но изменится их густота. К сожалению, мы пока не располагаем достаточным количеством материала для этой задачи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Хотя предложенная модель очень проста, она позволяет пронаблюдать ряд эффектов,

которые сложно получить при использовании других подходов. Разумное усложнение модели может существенно расширить границы ее применимости. Если, например, учесть, что ветви обладают упругостью, то можно создать модель, показывающую, как действует на деревья снег различной интенсивности. Серьезным ограничением модели является максимальный возраст "электронных" деревьев. Механизмы возрастных изменений прироста изучены очень плохо, поэтому с помощью предложенного подхода можно описать рост дерева только до того времени, когда на развитии начинает сказываться действие старения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Т. А. Оя, О пространственной и временной изменчивости сложения древостоя (на примере ельника). Автореф. дис. ... канд. биол. наук, Тарту, 1984.
2. W. Kurth, *Ecological Modelling*, 1994, 75/76, 299-308.
3. W. Kurth, W. Sloboda, *Silvia Fennica*, 1997, 31: 3, 285-295.
4. W. Kurth, Bayreuther, *Forum Ökologie*, 1998, 52, 53-98.
5. P. W. Prusinkewicz, W. R. Remfrey, C. G. Davidson, M. S. Hammel, *Can. J. Bot.* 1994, 75: 5, 701-714.
6. C. H. Díaz-Ambrona, A. M. Tarquis, M. I. Mínguez, *Field Crop Research*, 1998, 58, 1-13.
7. V. L. Gavrikov, O. P. Sekretenko, *Ecological Modelling*, 1996, 88, 183-193.
8. L. A. Cochrane, E. D. Ford, *J. of Applied Ecology*, 1978, 15, 227-244.
9. S. Kellomäki, V. P. Ikonen, H. Peltola, T. Kolström, *Ecological Modelling*, 1999, 122, 117-134.
10. P. Reffye, T. Fourcaud, F. Blaise et al., *Silvia Fennica*, 1997, 31: 3, 297-311.

An L-System Based Model of Growth of Conifer Tree Growth

A. M. OMELKO

On the basis of L systems, a mathematical model describing the dark coniferous tree species is created. A software is written which makes it possible to form a computerized tree stand from separate trees and watch its development. For ruling out crossings of branches of growing trees, a rule of prohibition of a shoot growth into an already occupied place is introduced. The model parameters have been determined for two dark coniferous species from the southern Sikhote-Alin - Yeddo spruce and Khingan fir. The model makes it possible to obtain the following effects: variants of change of the form of the tree crown under the influence of neighboring trees, uncertainty of the height of the crown origin, change of rise and form of the trunk depending on the plantation density, renewal of normal tree growth after clearing

A comparison of model results and empirical observations has demonstrated that the model describes well the growth of both single trees and mixed plantations.