

# Особенности определения границ онтогенетических состояний хвойных пород на примере северной тайги Западной Сибири

ЦИБУЛЬСКИЙ Владимир Романович  
*Тюменский научный центр СО РАН (Тюмень), Россия*

СОЛОВЬЕВ Илья Георгиевич  
*Тюменский научный центр СО РАН (Тюмень), Россия*

ГОВОРКОВ Денис Александрович  
*Тюменский научный центр СО РАН (Тюмень), Россия*  
e-mail: dagovorkov@mail.ru

Проблема оценки устойчивости биоразнообразия на севере климатической зоны Западной Сибири в значительной степени определяется деревьями-эдификаторами, отражающими специфический для них биом и в конечном счете фитоценоз территории. На границе лесотайги и тундры такими эдификаторами являются лиственница, сосна и кедр.

Такая оценка может быть реализована на основе динамических математических моделей их популяции.

Для проведения научных исследований влияния различных внешних факторов на продуктивность древостоя во времени разрабатывались динамические модели начиная от Бэкмана, Гуттенберга, Мичерлиха, Бауле, Томазиуса и заканчивая современными авторами [Кофман, 1986]. Большинство из них (моделей) были нелинейными и содержали различные трудно определяемые показатели. Модели полученные на основе теории вероятностей и «теории встреч» впервые предложенные Глекорсом, успешно применяются и в настоящее время. Для решения экологических проблем необходимо иметь модели популяций деревьев эдификаторов. Это работы Свирижева, Логофета, Клочковой, Улановой и других авторов [Уланова и др., 2002]. Эти модели базируются на возрастной оценке фаз роста и баланса развития популяции. При этом в лесоустройстве разделение каждого онтогенетического состояния определялось по значению фитоценологических показателей (количество вторичных корней, ветвлений и пр.). При разработке моделей популяции необходимо было предусмотреть возможность определять границы этих состояний (фаз) аналитическим путем. Авторы в своих исследованиях предлагали при обработке временных рядов на основе ДКХ определять границы ювенильной, виргинальной и генеративной фаз по критерию равенства нулю третьей производной кривой роста [Цибульский и др., 2016]. Однако временной разброс был достаточно велик и аппроксимирующие полиномы не имели физического смысла, что затрудняло понимание проблемы и получение более адекватных значений временных интервалов онтогенетических состояний (фаз).

Известно, что наиболее подходящей моделью роста является экспонента [Заика, 1982]. Она отражает постоянную скорость роста для одного фенотипа. Однако такой рост отмечается на ранних состояниях онтогенеза. На более поздних про-

исходит торможение роста. Оно объясняется не возможностью клеток, а некими необходимостями увеличения затрат на другие функции растений и животных, например, функций размножения.

Если у животных часто кривая роста носит симметричный характер (сигмоида), то у растений (в особенности деревьев) она не симметрична, и функция торможения воздействует больший промежуток времени. У хвойных пород промежуток времени усиленного роста занимает 40–80 лет, агенеративные и сенильные состояния онтогенеза 200–300 лет.

Наиболее распространенная функция роста Гомперса симметрична как на участке роста, так и торможения.

(1)

где  $r$  — диаметр ствола на отметке 1.5;  $a$  и  $c$  — скоростные коэффициенты роста и торможения.

Предлагается ввести нелинейность в процесс торможения роста. В этом случае формула (1) будет выглядеть так:

(2)

Раскроем скобки при показателе и запишем в виде удобном для интерпретации:

Из этого выражения понятно, что второе слагаемое представляет собой относительный (приведенный) рост — т.е. несет все потенциал биологический смысл и может быть использовано для численного решения. Основным интересом представляется поиск аналитических выражений, позволяющих оценить момент максимальной виргинильной  $t_1$  и виргинильно-генеративной  $t_2$  фаз. Указанные выражения как функции от параметров

,

,

,

находятся как корни уравнений вида

(3),

Согласно (2), аналитическая запись уравнений (3) имеет вид:

(4)

где

Отсюда следует, что задача поиска корней уравнений (3) эквивалентна решению двух уравнений вида:

(5)

Таблица численных решений системы может быть использована для аппроксимации искомых функционалов

Для получения численных значений возраста границ раздела фаз были взяты в международной базе данных *Ring Data Bank of National Centers for Environmental Information*) четыре временных ряда древесно-кольцевых хронологий деревьев — эдификаторов: лиственницы и сосны, полученных С.П. Арефьевым (табл. 1) — 80 лет т.е. характерные для более освещенных участков леса.

Аппроксимация проводилась по усредненной кривой роста. Значения коэффициентов  $a$  и  $c$  границ фаз у виргинильной  $t_1$  и виргинильно-генеративной  $t_2$  максимального значения роста  $t_0$  сведены в таблицу 2. Табл.

Табл. 1. Временные ряды ДКХ из международной базы данных

Лиственница (*Larix sibirica*) Сосна (*Pinus sylvestris*)

Сидоровск, координаты: 66,40 град .с.ш., 82,20 град. в.д. Вынгапур, координаты 62,93 град .с.ш., 76,38 град. в.д.

№ годы № годы

863051 1786 – 1990 080421 1796 – 1994

863071 1779 – 1990 080431 1792 – 1994

863072 1786 – 1990 080441 1802 – 1994

863102 1767 – 1990 080442 1796 – 1994

Табл. 2. Временные ряды ДКХ из международной базы данных  
Показатель Лиственница (*Larix sibirica*) Сосна (*Pinus sylvestris*)

a 0,012 0,016

c 0,022 0,023

t1 20 18

t0 43 39

t2 63 57

Модель

Рис. 1 Усредненная кривая роста лиственницы сибирской (*Larix sibirica*, район п. Сидоровск) и ее производные 1, 2, 3 порядка.

#### Литература

1. Загреев В. В., Сухих В. И., Швиденко А. З., Гусев Н. Н., Мощнасеев А. Г. Общесоюзные нормативы для таксации лесов. – М.: Колос, 1992. – 495 с.
2. Заика В. Е. Современное состояние теории роста. – В кн.: Математическая биология развития. М.: Наука, 1982, с. 40 – 48.
3. Кофман Г. Б. Рост и форма деревьев. М. Сиб. Изд. Наука СО 1986 г. – 211 с.
4. Кузнецов В. Н., Козлов Н. И., Кирсанов Д. В., Кирьянова Е. Н. Динамические системы в задачах вычислительной экологии леса, - М.: Пассбук Мультимедия, 2006. – 112 с.
5. Лир Х., Польстер Г., Фидлер Г. Н. Физиология древесных растений. Пер. с немецкого Н. В. Лобанова. Изд. Лесная промышленность, М.:1967.
6. Уланова Н. Г., Демидова А. Н., Клочкова И. Н., Логофет Д. О. Структура и динамика популяций вейника седеющего *calamagrostis canescens*: модельный подход // Журнал общей биологии. – 2002. – Т. 63, № 6. – С. 509–521.
7. Хильми Г. Ф. Теоретическая биофизика леса. Изд. АН СССР. М.:1957, 206 с.
8. Цибульский В. Р., Арефьев С. П., Коновалов А. А., Говорков Д. А. Идентификация фаз роста деревьев хвойных пород на основе временных рядов древесно-кольцевых хронологий. Вестник кибернетики, 2016. № 4. С 18 – 23.
9. Цибульский В. Р., Коновалов А. А., Арефьев С. П. Кривые хода роста и рироста хвойных деревьев на севере Западной Сибири. Вестник ТюмГУ. Экология и природопользование. 2016. том 2 № 3. С 59 – 69.
10. Thomasius H. Untersuchungen über die Brauchbarkeit einiger Wachstumsgrößen von Bäumen und Beständen für die quantitative Standortsbeurteilung // Archiv Forst. – 1963. – Bd. 12, H 12. – S. 1267-1323.