

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ ТРАВЯНО-КУСТАРНИЧКОВОГО ЯРУСА В КОРОТКО-ПРОИЗВОДНЫХ БЕРЕЗНЯКАХ ЗАПАДНЫХ НИЗКОГОРИЙ ЮЖНОГО УРАЛА

Н.С. ИВАНОВА,

кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Ботанический сад УрО РАН, г. Екатеринбург

Ключевые слова: Южный Урал, восстановительно-возрастная динамика, коротко-производные березняки, древостой и подчиненные ярусы, продуктивность, сопряженность динамики, моделирование.

Продуктивность представляет собой результат комплексного влияния всех факторов среды и является интегральной характеристикой развития и

фитоценотической роли растений [1, 2]. Это определяет ее значение для характеристики структуры растительных сообществ, их устойчивости и динамики.

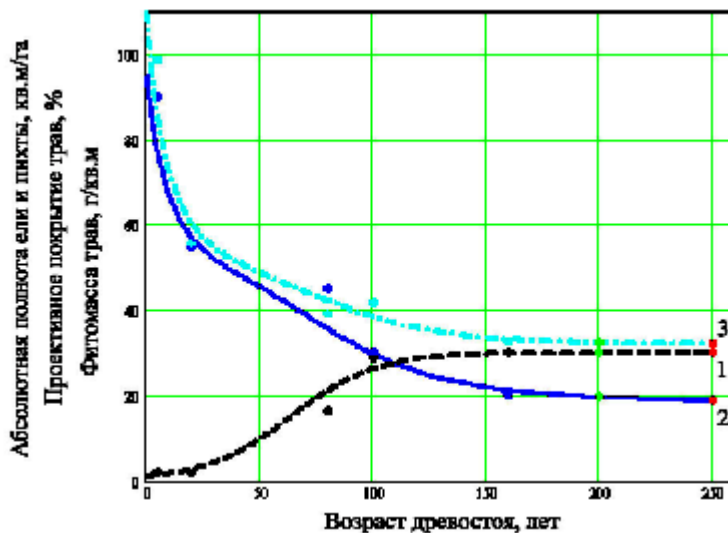


Рисунок 1. Моделирование сопряженной восстановительно-возрастной динамики темнохвойной компоненты древостоя, проективного покрытия и фитомассы травяно-кустарничкового яруса в процессе формирования коротко-производных березняков:

1 – абсолютная полнота ели сибирской и пихты сибирской (кв. м/га); 2 – проективное покрытие трав (%); 3 – фитомасса трав (г/кв. м); точки – статистические данные; линии – результаты решения системы зависимых нелинейных логистических уравнений (две последние точки на них – прогноз на 40 и 90 лет). Коэффициенты уравнений: $A_1=0,053$; $B_1=0,0018$; $A_2=0,059$; $B_2=0,00118$; $C_2=0,00124$; $A_3=0,053$; $B_3=0,00118$; $C_{31}=0,00059$; $C_{32}=0,00012$

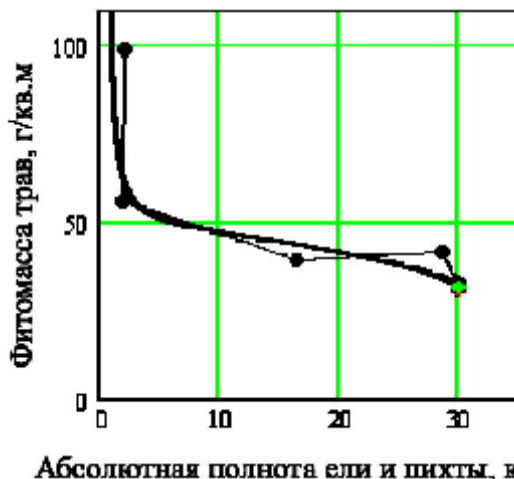


Рисунок 2. Корреляционная зависимость фитомассы трав от абсолютной полноты ели сибирской и пихты сибирской



Традиционно при изучении продуктивности лесной растительности основное внимание уделяется древостойно-эдификатору сообществ, формирующему максимальную фитомассу. Продуктивность травяно-кустарничкового яруса в лесах изучена недостаточно. Обзор литературы по этому вопросу проведен нами ранее [3]. Здесь отметим только, что в литературе приводятся сведения о продуктивности нижних ярусов главным образом на отдельных стадиях (случайных) возрастных стадиях древостоя, в то время как практически все леса в настоящее время представляют собой динамичные серийные растительные сообщества. Необходим новый подход к изучению продуктивности лесной растительности, отражающий ее динамику и позволяющий делать прогнозы на будущее.

Ранее нами анализировалась сопряженность динамики древостоя и подчиненных ярусов в процессе восстановительно-возрастных смен коротко- и длительно-производных березняков в горах Южного Урала [4, 5]. В них на примере двух рядов восстановления и развития лесных экосистем (коротко- и длительно-производных березняков) детально рассмотрена возможность моделирования сопряженности динамики эдификатора и подчиненных ярусов на основе систем связанных дифференциальных логистических уравнений, подробно описаны принципы моделирования и сама модель, приведена сводка литературы по этому вопросу, наглядно и убедительно показаны достоинства и возможности применяемого метода анализа для изучения динамики лесов. Продуктивность в этих статьях не рассматривалась. Ее детальный анализ для горных лесов Южного Урала проведен нами ранее [3]. Моделирование продуктивности травяно-кустарничкового яруса в процессе восста-

Southern Ural, forest restoration, short-term secondary birch forests, stand and subordinate layers, linked dynamics, to design.

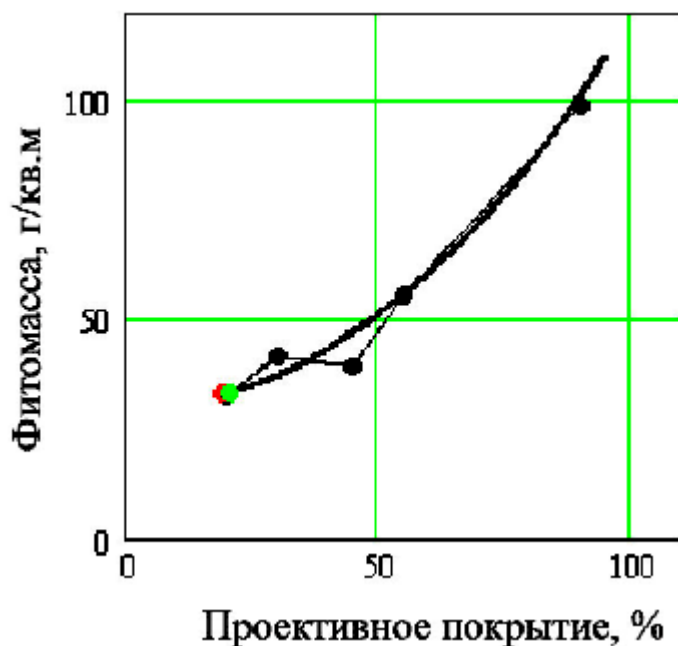


Рисунок 3. Корреляционная зависимость фитомассы трав от их проективного покрытия

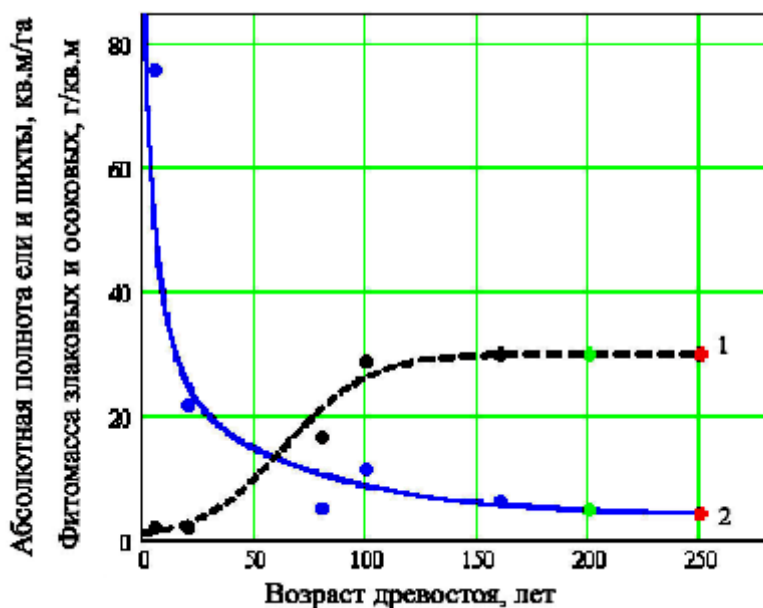


Рисунок 4. Моделирование сопряженной восстановительно-возрастной динамики темнохвойной компоненты древостоя и фитомассы семейств злаковых и осоковых в процессе формирования коротко-производных березняков: 1 – абсолютная полнота ели сибирской и пихты сибирской (кв. м/га); 2 – фитомасса злаковых и осоковых (г/кв. м); точки – статистические данные; линии – результаты решения системы зависимых нелинейных логистических уравнений (две последние точки на них – прогноз на 40 и 90 лет). Коэффициенты уравнений: $A_1=0,053$; $B_1=0,0018$; $A_2=0,024$; $B_2=0,00206$; $C_2=-0,00059$

методика исследований подробно описаны ранее [3, 6, 7]. Для моделирования динамики ярусов лесной растительности и их взаимовлияния нами используются следующие системы дифференциальных логистических уравнений [8]:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = A_1x_1 - B_1x_1^2 \\ \frac{dx_2}{dt} = A_2x_2 - B_2x_2^2 + C_2x_1x_2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = A_1x_1 - B_1x_1^2 \\ \frac{dx_2}{dt} = A_2x_2 - B_2x_2^2 + C_2x_1x_2 \\ \frac{dx_3}{dt} = A_3x_3 - B_3x_3^2 + C_{31}x_3x_1 + C_{32}x_3x_2 \end{cases}$$

Здесь $A=1/t$; $B=1/tK$; A – специфическая скорость естественного увеличения функции; t – характерный момент времени; K – предел функции; произведения x_1 , x_2 и x_3 описывают взаимозависимость, а C – интенсивность этого взаимодействия. Ограниченность внешних ресурсов и следующая из нее невозможность неограниченного роста функции учитывается введением отрицательного члена Bx .

Первое уравнение в системе описывает восстановительно-возрастную динамику древостоя (таксационные характеристики получены Г.В. Андреевым [9]), второе и третье – подчиненных ярусов (травяно-кустарничкового или мохового).

Решение системы дифференциальных уравнений проведено в программе MathCAD 2001 по методике Г.П. Быстрая [8] с использованием разработанного им программного продукта. Решалась обратная задача – по статистическим данным методом последовательных приближений определялись параметры динамических уравнений. Уравнения решены с помощью функции rkfixed [10].

Результаты и обсуждение

Продуктивность травяно-кустарничкового яруса в лесах определяется формирующимся древостоем. Ранее для коротко-производных березняков западных низкогорий Южного Урала [4] нами установлена и описана (с помощью системы из двух связанных дифференциальных уравнений) сопряженность развития темнохвойной компоненты древостоя и проективного покрытия трав. Для моделирования продуктивности травяно-кустарничкового яруса в лесах в эту систему уравнений добавлено третье уравнение, описывающее динамику фитомассы травяно-кустарничкового яруса (рис. 1). Модель описывает ситуацию: две причины, одно следствие. Причем одна из причин (проективное покрытие трав) зависит от другой (абсолютной полноты темнохвойной компоненты древостоя). Полученное уравнение для

новительно-возрастных смен проводится нами впервые.
Работа выполнена по программе Президиума РАН "Биологическое раз-

нообразии".
Материал, методика и описание модели
Характеристика района, объекты и

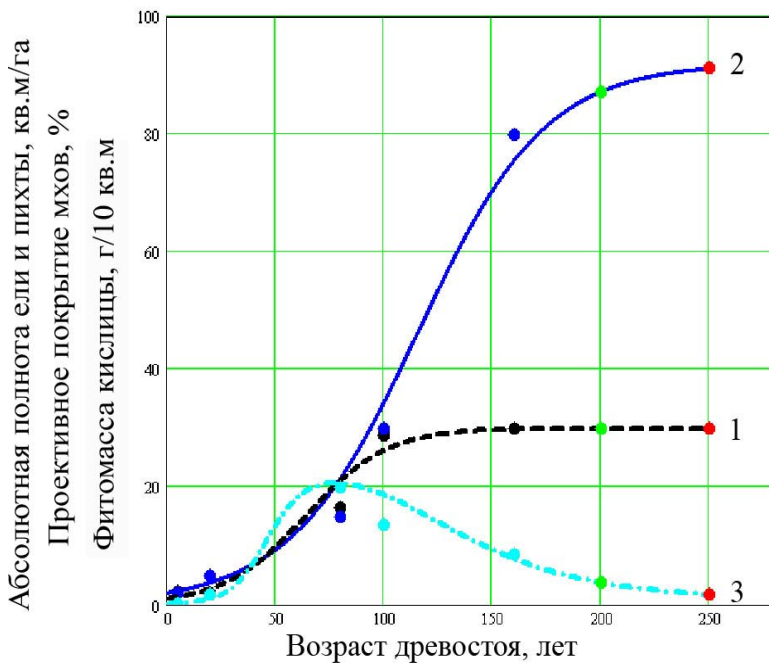


Рисунок 6. Моделирование сопряженной восстановительно-возрастной динамики темновойной компоненты древостоя, проективного покрытия мхов и фитомассы кислицы обыкновенной в процессе формирования коротко-производных березняков:

1 – абсолютная полнота ели сибирской и пихты сибирской (кв. м/га); 2 – проективное покрытие мхов (%); 3 – фитомасса кислицы (г/10 кв. м); точки – статистические данные; линии – результаты решения системы зависимых нелинейных логистических уравнений (две последние точки на них – прогноз на 40 и 90 лет). Коэффициенты уравнений: $A_1=0,053$; $B_1=0,0018$; $A_2=0,032$; $B_2=0,00037$; $C_2=0,000059$; $A_3=0,121$; $B_3=0,0053$; $C_{31}=0,0012$; $C_{32}=-0,0018$

динамики фитомассы трав хорошо описывает экспериментальные данные.

Корреляционные зависимости динамики фитомассы трав и абсолютной полноты темновойной компоненты древостоя приведены на рисунке 2, динамики фитомассы и проективного покрытия трав – на рисунке 3. Эти рисунки иллюстрируют сопряженность динамики ярусов лесной растительности.

Возможно рассмотрение динамики продуктивности трав и на более детальных уровнях: на уровне продук-

тивности семейств и отдельных видов. Из семейств рассмотрим злаковые и осоковые. Их доля в общей продуктивности травяно-кустарничкового яруса варьирует от 15 до 19% в субкоренных ельниках и от 13 до 76% – в коротко-производных березняках. Семейство злаковых представлено 15-ю видами, осоковых – 6-ю видами. Из злаковых в большинстве случаев явно преобладают *Calamagrostis agurdinasea* или *Vlachypodium pinnatum*. Более 95% от фитомассы семейства осоковых приходится на *Carex pilosa*.

Литература

1. Лавренко Е. М. Основные закономерности растительных сообществ и пути их изучения // Полевая геоботаника. М.; Л., 1959. Т. 1. С. 13-75.
2. Родин Л. П., Ремезов Н. П., Базилевич Н. И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л., 1968. 143 с.
3. Иванова Н. С. Динамика продуктивности травяно-кустарничкового яруса в лесах западных низкогорий Южного Урала // Ботанический журнал. 2007. Т. 92. № 9. С. 1427-1442.
4. Иванова Н. С. Исследование сопряженности восстановительно-возрастной динамики древостоя и подчиненных ярусов в коротко-производных березняках западных низкогорий Южного Урала // Аграрный вестник Урала. 2009. № 1. С. 76-79.
5. Иванова Н. С. Сопряженность восстановительно-возрастной динамики древостоя и подчиненных ярусов в длительно-производных березняках западных низкогорий Южного Урала // Аграрный вестник Урала. 2009. № 2. С. 79-82.
6. Иванова Н. С., Андреев Г. В. Естественное восстановление структуры ценопопуляций ели сибирской и пихты сибирской в темновойных лесах Южного Урала // Аграрный вестник Урала. 2008. № 6. С. 82-86.
7. Иванова Н. С., Андреев Г. В. Естественное восстановление структуры ценопопуляций ели сибирской и пихты сибирской под пологом коротко-производных березняков в горах Южного Урала // Аграрный вестник Урала. 2008. № 7. С. 75-77.
8. Куклин А. А., Быстрай Г. П., Калина А. В., Ойхер Д. Я., Комаровская А. А. Проблемы исследования наркотизации регионов России. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 53 с.
9. Андреев Г. В. Восстановительно-возрастная динамика темновойных древостоев на западном макросклоне Южного Урала // Лесное хозяйство. 2007. № 3. С. 38-40.
10. Очков В. Ф. Mathcad 8 Pro для студентов и инженеров. М.: КомпьютерПресс, 1999.

В процессе формирования коротко-производных березняков и восстановления эдификаторной роли ели сибирской и пихты сибирской продуктивность злаковых и осоковых видов снижается. Снижение их фитомассы идет более интенсивно по сравнению со снижением общей фитомассы травяно-кустарничкового яруса: характерные моменты времени для общей продуктивности трав составляют 18,9; для продуктивности злаковых и осоковых видов – 4,2 (рис. 1, 4). Корреляционные зависимости общей фитомассы трав и фитомассы злаковых и осоковых видов от абсолютной полноты ели сибирской и пихты сибирской – сходные (рис. 2, 5).

Моделирование динамики продуктивности отдельных видов рассмотрим на примере кислицы обыкновенной. Этот вид обычен в субкоренных и производных лесах. В коротко-производных лесах ее динамика может быть описана системой из трех уравнений: две причины, одно следствие (рис. 6). Увеличение абсолютной полноты ели сибирской и пихты сибирской оказывает положительное влияние на рост кислицы обыкновенной и мхов. Разрастаясь, моховой покров тормозит развитие кислицы обыкновенной. В результате мы наблюдаем достаточно сложную динамику продуктивности рассматриваемого вида (рис. 6).

Заключение

Таким образом, системы из двух и трех связанных дифференциальных логистических уравнений хорошо описывают восстановительно-возрастную динамику продуктивности травяно-кустарничкового яруса лесной растительности и отдельных видов, выявляя внутрикосистемные взаимосвязи.

Автор выражает глубокую благодарность за активное содействие в моделировании и предоставленный программный продукт профессору Геннадии Павловичу Быстрай.