

# СОПРЯЖЕННОСТЬ ВОССТАНОВИТЕЛЬНО-ВОЗРАСТНОЙ ДИНАМИКИ ДРЕВОСТОЯ И ПОДЧИНЕННЫХ ЯРУСОВ В ДЛИТЕЛЬНО-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, длительно-производные березняки, древостой и подчиненные ярусы, сопряженность динамики, моделирование.***

Ранее нами анализировалось восстановление после сплошных рубок структуры темнохвойной компоненты лесных экосистем в горах Южного Урала (во вновь формирующихся ельниках, коротко- и длительно-производных березняках, устойчиво-производных осинниках) [1, 2, 3, 4]. В этих статьях подробно охарактеризован район, методика и объекты ис-

следований. Вопросу влияния древостоя на подчиненные ярусы (травяно-кустарничковый и моховой) посвящена предыдущая статья [5]. В ней на примере одного наиболее динамичного ряда восстановления и развития лесных экосистем (коротко-производных березняков) детально рассмотрена возможность моделирования сопряженности дина-



мики 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 ана-

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

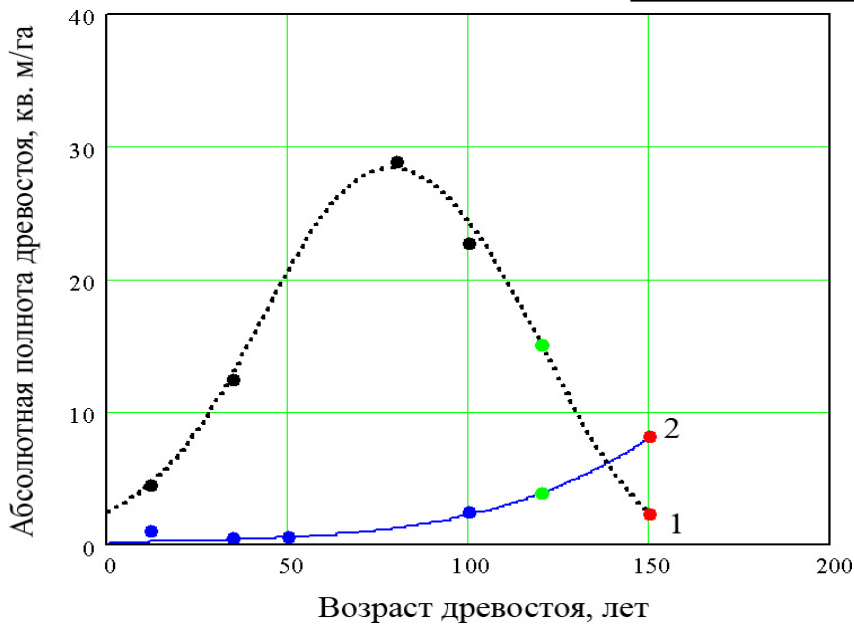


Рисунок 1. Моделирование восстановительно-возрастной динамики древостоя длительно-производных березняков:

1 – абсолютная полнота березы пушистой, 2 – абсолютная полнота ели сибирской и пихты сибирской, точки – статистические данные, линии – результаты решения системы зависимых нелинейных логистических уравнений (две последние точки на них – прогноз на 20 и 50 лет вперед). Система уравнений имеет вид:

$$\frac{dx_2}{dt} = 0,032x_2 - 0,00176x_2^2 - 0,000012x_1x_2$$

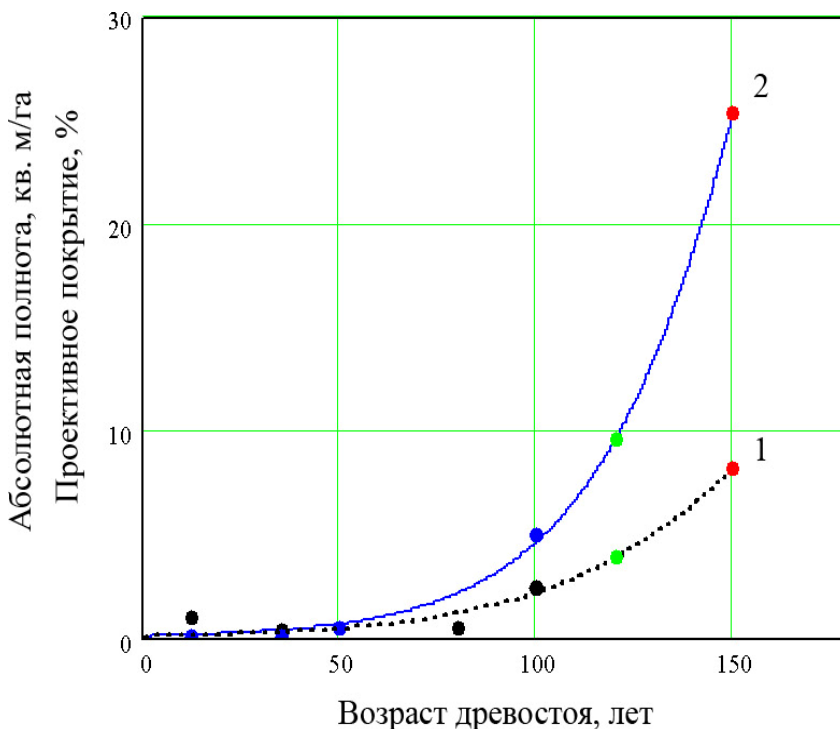


Рисунок 2. Моделирование сопряженной восстановительно-возрастной динамики темнохвойной компоненты древостоя и мохового яруса в процессе формирования длительно-производных березняков после сплошных рубок в горах Южного Урала:

1 – абсолютная полнота ели и пихты (kv. m/ga), 2 – проективное покрытие мхов (%), точки – статистические данные, линии – результаты решения системы зависимых нелинейных логистических уравнений (две последние точки на них – прогноз на 20 и 50 лет). Система уравнений имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= 0,032x_1 - 0,00176x_1^2 \\ \frac{dx_2}{dt} &= 0,039x_2 - 0,00041x_2^2 + 0,0000588x_1x_2 \end{aligned}$$

лиза для изучения динамики лесов.

Целью данной статьи является выявление сопряженности динамики и определение динамических характеристик древостоя и подчиненных ярусов для наиболее распространенного эколого-динамического ряда восстановления и развития сообществ - длительно-производных березняков, в котором позиции ели сибирской и пихты сибирской сильно подорваны.

Главная задача - определение характерных моментов времени для древостоя, травяно-кустарничкового, мохового ярусов и выявление времени, необходимого для восстановления исходной структуры лесной растительности.

Работа выполнена по программе Президиума РАН "Биологическое разнообразие".

#### Описание модели

Биологические системы обладают неограниченной микрогетерогенностью. В статье рассмотрен уровень развивающихся во времени фитоценозов. В качестве взаимодействующих подсистем анализируются ярусы лесной растительности: древостой, травяно-кустарничковый и моховой. Для исследования временных зависимостей использован метод подбора в пространстве участков, находящихся на разных стадиях восстановительно-возрастных смен, и построения из них временных рядов [6]. Этот метод принципиально отличается от метода наблюдений за динамикой растительности на постоянных пробных площадях. Их различия, положительные и отрицательные стороны подробно охарактеризовала В.Д. Александрова [6]. Здесь отметим только, что в связи с длительностью восстановительно-возрастных смен в лесах такой метод исследований оказывается единственно возможным. Кроме того, он позволяет в какой-то степени исключить влияние климатических факторов (осадков, температуры, солнечной активности и др.) на продуктивность подпологовой растительности в лесах (все стадии динамики исследуются в течение одного сезона).

Для моделирования динамики ярусов лесной растительности и их взаимовлияния нами используется следующая система дифференциальных логистических уравнений [7, 8]:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = A_1x_1 - B_1x_1^2 + C_1x_1x_2 \\ \frac{dx_2}{dt} = A_2x_2 - B_2x_2^2 + C_2x_1x_2 \end{cases}$$

Здесь  $A=1/t$ ,  $B=1/tK$ ,  $A$  - специфическая скорость естественного увеличения функции,  $t$  - характерный момент времени,  $K$  - предел функции, произведения  $x_1$  и  $x_2$  описывают зависимость подчиненных ярусов от

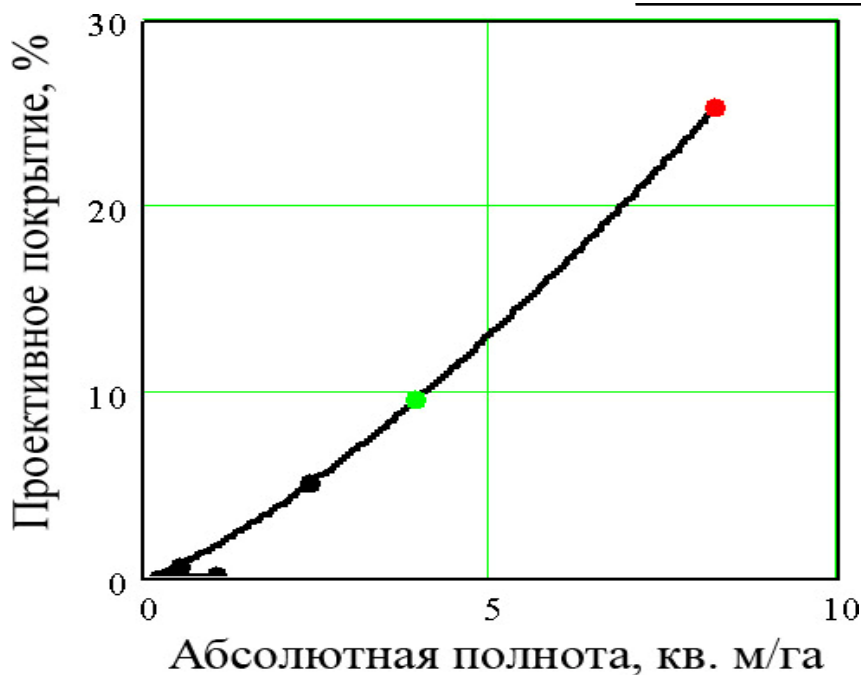


Рисунок 3. Корреляционная зависимость проективного покрытия мхов (%) от абсолютной полноты ели и пихты (кв. м/га). Гладкая жирная линия находится из решений уравнений

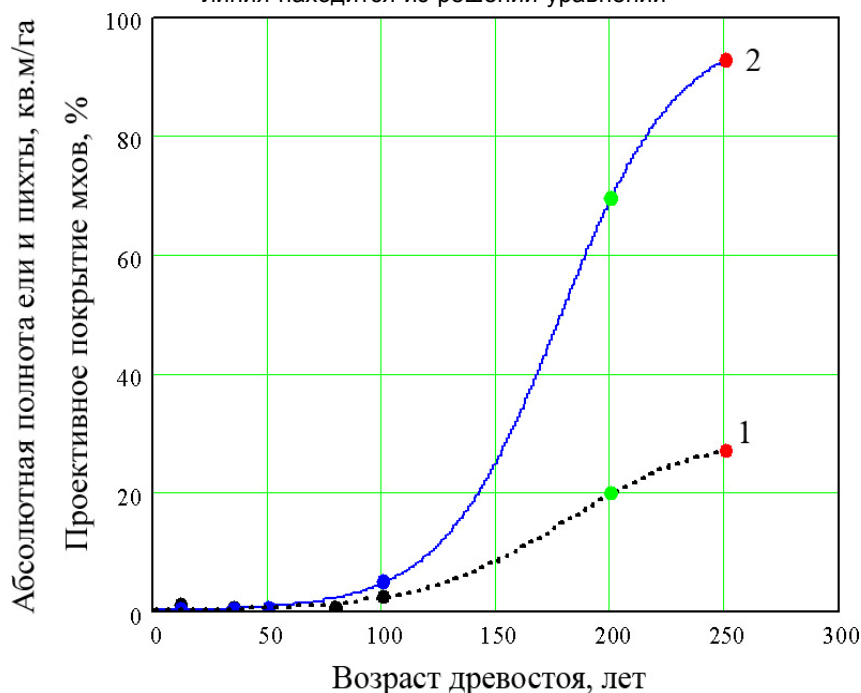


Рисунок 4. Определение времени, необходимого для восстановления исходной абсолютной полноты темнохвойной компоненты древостоя и проективного покрытия мохового яруса в длительно-производных березняках:

1 – абсолютная полнота ели и пихты (кв. м/га), 2 – проективное покрытие мхов (%), точки – статистические данные, линии – результаты решения системы зависимых нелинейных логистических уравнений (две последние точки на них – прогноз на 120 и 150 лет). Система дифференциальных уравнений и их параметры – как на рисунке 2, изменено только время прогноза

формирующегося древостоя, а  $C$  – интенсивность этого взаимодействия.

Первое уравнение в системе описывает восстановительно-возрастную динамику древостоя (таксационные характеристики получены Г.В. Андреевым [9]), второе – подчинен-

ного яруса (травяно-кустарничкового или мохового) и его зависимость от древостоя.

Решение системы дифференциальных уравнений проведено в программе MathCAD 2001 по методике Г.П. Быстрая [7, 8] с использованием

разработанного им программного продукта [8]. Решалась обратная задача – по статистическим данным методом последовательных приближений определялись параметры динамических уравнений.

#### Результаты и обсуждение

В длительно-производных березняках в древостое доминирует береза пушистая. Участие ели сибирской и пихты сибирской составляет по запасу 1-2 единицы [9]. В связи с этим необходимо рассмотрение взаимовлияния этих древесных видов. В качестве интегральной характеристики участка древесного вида в структуре сообщества принимается абсолютная полнота (сумма площадей сечений стволов древостоя).

На рисунке 1 изображена восстановительно-возрастная динамика абсолютной полноты березы пушистой и темнохвойной компоненты древостоя после сплошных рубок. Рассмотрен временной ряд от 5 до 100 лет. Точки соответствуют статистическим данным, линии – результат решения уравнений.

Этот рисунок показывает, что в длительно-производных березняках береза пушистая доминирует в древостое более 130 лет (до ее массового вывала), при этом увеличение абсолютной полноты ели сибирской и пихты сибирской происходит очень медленно. Такой вид графика указывает на близость критической границы для темнохвойных видов, при переходе через которую популяции уже не смогут восстановиться. Разница в характерных моментах времени для березы и темнохвойной компоненты древостоя – почти в два раза. Сравнение с коротко-производными березняками [5], где наблюдается устойчивое восстановление исходных темнохвойных лесов, показывает, что в длительно-производных березняках характерный момент времени для ели сибирской и пихты сибирской увеличивается в 1,7 раза.

Зависимость восстановления мохового яруса от темнохвойной компоненты древостоя отражает рисунок 2, а их корреляционную зависимость – рисунок 3.

Эти рисунки выявляют сопряженную динамику мохового яруса и темнохвойных видов. Формирующаяся темнохвойная компонента древостоя оказывает положительное влияние на развитие мохового яруса. Их корреляционная зависимость приведена на рисунке 3. Сравнение длительно-производных (рис. 2) и коротко-производных березняков [5] по темпам восстановительной динамики мохового яруса и темнохвойных видов выявляет резкое увеличение времени, необходимого для восстановления исходной структуры лесной экосистемы. В коротко-производных березняках значения абсо-

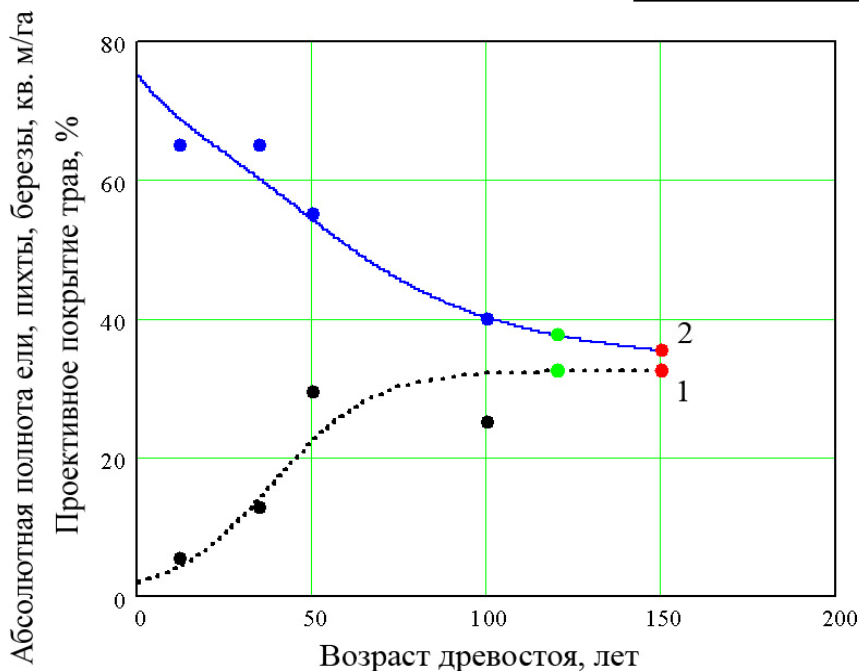


Рисунок 5. Моделирование сопряженной восстановительно-возрастной динамики древостоя и травяно-кустарничкового яруса в процессе формирования длительно-производных березняков:

1 – абсолютная полнота ели, пихты, березы (кв. м/га), 2 – проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса (%), точки – статистические данные, линии – результаты решения системы зависимых нелинейных логистических уравнений (две последние точки на них – прогноз на 20 и 50 лет). Система уравнений имеет вид:

$$\frac{dx_1}{dt} = 0,071x_1 - 0,00217x_1^2$$

$$\frac{dx_2}{dt} = 0,036x_2 - 0,000588x_2^2 - 0,000529x_1x_2$$

лютной полноты темнохвойных видов к 100 годам после рубки достигают значений, характерных для субкоренных ельников. В длительно-производных березняках в это время только начинается период интенсивного роста (рис. 2).

Оценить время, необходимое для восстановления исходной структуры древостоя и мохового яруса, позволяет рисунок 4. На этом рисунке уве-

лично время прогноза до 250 лет (до того момента, когда функции приближаются к своему пределу). Это соответствует времени, необходимому для восстановления исходной структуры лесной экосистемы. По сравнению с коротко-производными березняками оно увеличивается более чем на 100 лет.

На травяно-кустарничковый ярус древостой оказывает угнетающее

влияние. В качестве фактора, определяющего структуру травяно-кустарничкового яруса, рассмотрим суммарную абсолютную полноту темнохвойных и лиственных древесных видов (рис. 5).

Увеличение абсолютной полноты древесного яруса в длительно-производных березняках идет быстрее, чем в коротко-производных. Характерные моменты времени ( $t = 1/A$ , где  $A$  – параметр в первом уравнении системы) равны 14 и 17 лет соответственно для формирующихся длительно- (рис. 5) и коротко-производных березняков [5]. Однако снижение проективного покрытия в процессе формирования длительно-производных березняков происходит медленнее по сравнению с коротко-производными. Характерные моменты времени ( $t = 1/A$ , где  $A$  – параметр во втором уравнении системы) равны 28 и 19 лет соответственно для формирующихся длительно- (рис. 5) и коротко-производных березняков (Иванова, 2009). Это связано резким снижением участия темнохвойных древесных видов в длительно-производных березняках.

#### Заключение

Таким образом, системы связанных дифференциальных уравнений хорошо описывают восстановительно-возрастную динамику лесной растительности и позволяют не только определить динамические характеристики экосистем, характер и уровень взаимозависимостей между отдельными подсистемами, но и корректно на количественном уровне сравнить различные эколого-динамические ряды восстановления и развития сообществ.

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

#### Литература

1. Иванова Н. С., Андреев Г. В. Естественное восстановление структуры ценопопуляций ели сибирской и пихты сибирской в темнохвойных лесах Южного Урала // Аграрный вестник Урала. 2008. № 6. С. 82-86.
2. 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.
3. Иванова Н. С., Андреев Г. В. Естественное восстановление структуры ценопопуляций ели сибирской и пихты сибирской под пологом длительно-производных березняков в горах Южного Урала // Аграрный вестник Урала. 2008. № 8. С. 74-76.
4. Иванова Н. С., Андреев Г. В. Устойчиво-производные осинники западных низкогорий Южного Урала // Аграрный вестник Урала. 2008. № 10. С. 91-92.
5. 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.
6. Александрова В. Д. Изучение смен растительного покрова // Полевая геоботаника. М.; Л.: Наука, 1964. Т. 3. С. 300-447.
7. Быстрый Г. П., Комаровская А. А., Тетяев П. Е. Объемы теневой экономики в обороте наркотиков в УрФО: материалы науч. конф. «Теневая экономика: проблемы диагностики и нейтрализации» / ИЭ УрО РАН. Екатеринбург, 2004. С. 120-121.
8. Куклин А. А., Быстрый 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 темнохвойных древостоев на западном макросклоне Южного Урала // Лесное хозяйство. 2007. № 3. С. 38-40.