

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ДИНАМИКИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ПОЧВ ГОРНЫХ ЛЕСОВ УРАЛА

Н. С. Иванова, Е. С. Золотова
Ботанический сад УрО РАН

В условиях глобального изменения климата и ухудшения экологической обстановки весьма актуальной становится проблема сохранения и восстановления лесных экосистем, определяющих стабильность биосферы. Леса Урала уже более 250 лет подвержены сильному антропогенному воздействию. Коренные леса сохранились на крайне незначительной площади, преобладают производные леса, находящиеся на различных этапах дигрессивно-демутационных смен. В целях устойчивого лесопользования и прогнозирования развития лесных экосистем Урала важно выявить основные тенденции лесовосстановительного процесса.

Цель работы заключается в выявлении особенностей восстановительной динамики лесной растительности и почв после сплошных рубок распространённого, но наименее изученного типа леса южно-таежного округа Зауральской холмисто-предгорной провинции (Средний Урал) – сосняка ягодниково-липнякового.

Работа основана на принципах генетической типологии (Колесников и др., 1973), методе пробных площадей и общепринятых методиках лесогеоботанических и почвенных исследований. На пробных площадях (0.5 га) проведены таксация древостоя и учет подроста, комплексное изучение травяно-кустарничкового яруса (Методы..., 2000), заложены полнопрофильные почвенные разрезы, описана морфология, определены некоторые водно-физические свойства (Новицкий и др., 2009). Для исследования временных зависимостей был использован метод подбора в пространстве участков, находящихся на разных стадиях восстановительно-возрастных смен, и построения из них временных рядов (Александрова, 1964). Был изучен временной ряд производных березняков ягодниково-липняковых от однолетних вырубков до 55-летних древостоев.

В качестве интегральной характеристики фитоценотической роли растений использована надземная фитомасса в абсолютно-сухом состоянии. Масса лесобразующих древесных видов определена расчетным путем. Масса стволов рассчитана по формуле: $M_{ст} = gfh\rho_{др}$, где g – площадь сечения ствола на высоте груди (в молодняках – на половине высоты дерева); f – видовое число. Для березы $f = 0,397 + (1,029/h)$ (Изюмский, 1972); h – высота дерева; $\rho_{др}$ – плотность древесины.

Масса кроны определена при помощи регрессионных уравнений, учитывающих физиологически обусловленные закономерности (пайп-модель). Для основных лесобразующих видов Урала уравнения получены В.А. Усольцевым (Усольцев, 1997). Для березы они имеют вид:

$$\ln M_{л} = -4.3637 + 1.8911 \ln D_{1.3}, \quad \ln M_{ск} = -4.4304 + 2.4645 \ln D_{1.3}.$$

Для молодняков используется диаметр у основания кроны ($D_{ок}$):

$$\ln M_{л} = -4.0912 + 2.0650 \ln D_{ок}, \quad \ln M_{ск} = -4.0592 + 2.6826 \ln D_{ок},$$

где $M_{л}$ – масса листьев в абсолютно-сухом состоянии (кг); $M_{ск}$ – масса скелета кроны в абсолютно-сухом состоянии (кг); $D_{1.3}$ – диаметр дерева (см) на высоте 1.3 м; $D_{ок}$ – диаметр у основания кроны.

Для моделирования взаимосвязи динамики древесного и травяно-кустарничкового яруса использована система дифференциальных логистических уравнений (Вольтерра, 1976):

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= A_1 x_1 - B_1 x_1^2 \\ \frac{dx_2}{dt} &= A_2 x_2 - B_2 x_2^2 + C_2 x_1 x_2. \end{aligned} \tag{1}$$

здесь $A=1/\tau$, $B=1/\tau K$, A – специфическая скорость естественного увеличения функции; τ – характерный момент времени; K – предел функции (емкость экологической ниши), комплексный фактор; произведение x_1 и x_2 описывает зависимость травяно-кустарничкового яруса от формирующегося древостоя; C – интенсивность данного взаимодействия.

Первое уравнение в системе описывает восстановительно-возрастную динамику древостоя (березы), второе – динамику подчиненного яруса (травяно-кустарничкового) и его зависимость от древостоя.

Детальный анализ моделей приведен в работах А. П. Базыкина и Б. Г. Заславского (1985), Р. А. Полуэктова (1988). На примере горных лесов Южного Урала авторами была апробирована данная система уравнений для анализа сопряженности восстановительно-возрастной динамики ярусов лесной растительности после сплошных рубок (Иванова, 2009). На примере горных лесов Среднего Урала был исследован совместный рост двух лесообразователей (Иванова и др., 2011).

Решение системы дифференциальных уравнений проведено в программе *MathCAD 2001* по методике Г. П. Быстрая с использованием разработанного им программного продукта (Куклин и др., 2005). В рамках данного исследования решалась обратная задача. В качестве критерия согласия был использован функционал невязок:

$$F(t) = \sqrt{\sum_i (Yi(t) - Yi)^2},$$

где Yi – статистические данные, $Yi(t)$ – теоретические данные.

Для описания динамики почвенных свойств было использовано логистическое уравнение:

$$\frac{dx}{dt} = Ax - Bx^2, \tag{2}$$

где x – влажность завядания или гигроскопическая влажность для горизонта А1 или ВС.

После сплошных рубок в сосняках ягодниково-липняковых в Зауральской холмисто-предгорной провинции восстановление лесной растительности идет

со сменой эдификатора. На месте коренных сосняков формируются производные березняки липняковые. По мере роста древесных растений травяно-кустарничковый ярус на вырубках разреживается. Его доминирование сохраняется в течение 9–11 лет после рубки. В дальнейшем в структуре фитомассы преобладает береза (рис. 1), период ее активного роста наблюдается в продолжение 20 лет. Фитомасса травяно-кустарничкового яруса максимальна на 1–2-летних вырубках ($300\text{--}400\text{ г/м}^2$ в абсолютно-сухом состоянии), минимальна – в 13–15-летних березняках, после 20 лет она стабилизируется на уровне $50\text{--}60\text{ г/м}^2$. Период интенсивного снижения продуктивности травяно-кустарничкового яруса длится до 15 лет. Характерные моменты времени для березы составляют 1.13 года, для травяно-кустарничкового яруса – 45,45 лет, емкость экологической ниши для березы – $11606,26\text{ г/м}^2$, для травяно-кустарничкового яруса – $188,03\text{ г/м}^2$.

Восстановительная динамика водно-физических свойств бурых горно-лесных (типичных и слабоподзоленных) почв Зауральской холмисто-предгорной провинции рассмотрена для гигроскопической влажности и влажности завядания (рис. 2). Исследован верхний (A_1) и нижний (BC) почвенный горизонт. Несмотря на небольшое количество экспериментальных данных, можно рассчитать характерные моменты времени, емкость экологической ниши и сделать предварительные выводы.

Характерные моменты времени для влажности завядания составляют 5,99 года для горизонта A_1 и 14,93 лет для горизонта BC, емкость экологической ниши для горизонта A_1 – 12,85%, для BC – 5,15%. Таким образом, для гумусового горизонта характерные моменты времени по сравнению с нижним горизонтом меньше в 2.5 раза, а емкость экологической ниши больше в 2,5 раза.

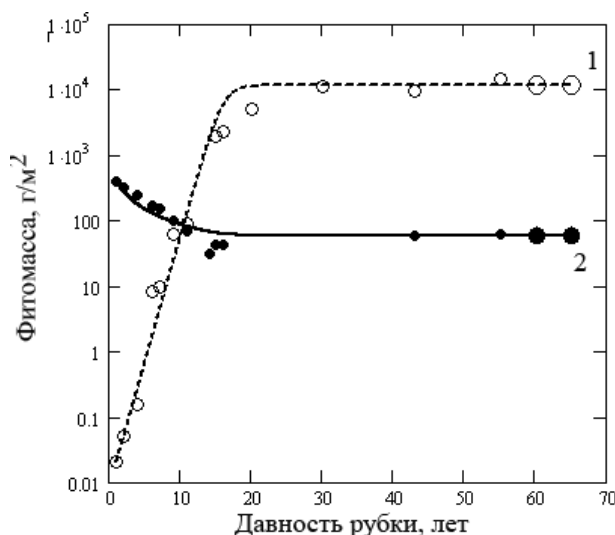


Рис. 1. Восстановительная динамика надземной фитомассы древостоя березы и травяно-кустарничкового яруса в березняках ягодниково-липняковых после сплошных рубок: 1 – надземная фитомасса березы (г/м^2); 2 – надземная фитомасса травяно-кустарничкового яруса (г/м^2); точки – статистические данные; линии – результаты решения системы зависимых нелинейных логистических уравнений (1) (две последние точки на них – прогноз вперед на 5 и 10 лет). Коэффициенты уравнений: $A_1 = 0,882$; $B_1 = 0,000076$; $C_1 = 0$; $A_2 = 0,022$; $B_2 = 0,00117$; $C_2 = 0,0000041$

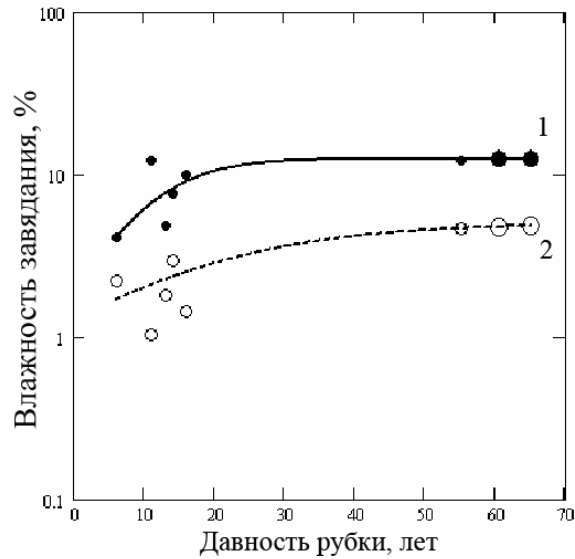


Рис. 2. Восстановительная динамика влажности завядания в березняках ягодниково-липняковых после сплошных рубок:

1 – горизонт А1; 2 – горизонт ВС; точки – статистические данные; линии - результат решения логистического уравнения 2, где x – влажность завядания горизонта почвы (две последние точки на них – прогноз вперед на 5 и 10 лет).

Коэффициенты уравнений для верхнего горизонта: $A_{A1} = 0,167$; $B_{A1} = 0,013$; для нижнего горизонта: $A_{BC} = 0,067$; $B_{BC} = 0,013$

При анализе восстановительной динамики гигроскопической влажности определены следующие коэффициенты уравнений: для верхнего горизонта $A_{A1} = 0,167$, $B_{A1} = 0,042$; для нижнего горизонта $A_{BC} = 0,067$, $B_{BC} = 0,091$. Характерные моменты времени для гигроскопической влажности аналогичны характерным моментам времени для влажности завядания. Емкость экологической ниши для горизонта А₁ – 3,98%, для ВС – 0,74%. Для верхнего горизонта емкость экологической ниши больше в 5,4 раза по сравнению с нижним.

Таким образом, впервые для березняков ягодниково-липняковых Зауральской холмисто-предгорной провинции проведен анализ восстановительной динамики после сплошных рубок древесного, травяно-кустарничкового ярусов и водно-физических свойств почв на основе дифференциальных логистических уравнений, определены динамические характеристики: характерные моменты времени, емкость экологической ниши, периоды активных изменений и время, необходимое для стабилизации структуры.

Литература

1. Александрова В. Д. Изучение смен растительного покрова // Полевая геоботаника. М.-Л.:Наука, 1964. Т. 3. С. 300–447.
2. Базыкин А. П. Математическая биофизика взаимодействующих популяций. М.: Наука, 1985. 180 с.
3. Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование. М.: Наука, 1976. 376 с.
4. Заславский Б. Г., Полуэктов Р. А. Управление экологическими системами. М., Наука, 1988. 296 с.

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. С. 76–79.
6. Иванова Н. С., Быстрой Г. П., Охотников С. А., Золотова Е. С. Модель восстановительно-возрастной динамики лесов Зауральской холмисто-предгорной провинции // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4. URL: www.science-education.ru/98-4754.
7. Изюмский П. П. Таксация тонкомерного леса. М.: Лесная промышленность, 1972. 88 с.
8. Колесников Б. П., Зубарева Р. С., Смолоногов Е. П. Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области. Практическое руководство. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1973. 176 с.
9. Куклин А. А., Быстрой Г. П., Калина А. В., Ойхер Д. Я., Комаровская А. А. Проблемы исследования наркотизации регионов России. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 53 с.
10. Методы изучения лесных сообществ. СПб.: НИИХимии СПбГУ, 2002. 240 с.
11. Новицкий М. В., Донских И. Н., Чернов Д. В. и др. Лабораторно-практические занятия по почвоведению: учебное пособие. СПб.: Проспект Науки, 2009. 320 с.
12. Усольцев В. А. Биоэкологические аспекты таксации фитомассы деревьев. Екатеринбург, УрО РАН, 1997. 216 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫБОРОЧНЫХ РУБОК В СМЕШАННЫХ ДРЕВОСТОЯХ: ИНДИВИДУАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД

А. Н. Колобов

Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН

Одним из мероприятий, позволяющих в значительной степени удовлетворять потребности лесного хозяйства в древесине, обеспечивать лесовозобновление без смены пород естественным путем и сохранять полезные многообразные функции лесов, являются выборочные и постепенные рубки. В работе приводятся результаты моделирования различных сценариев выборочных рубок на основе имитационной модели динамики смешанных древесных сообществ. Используемый в модели индивидуально-ориентированный подход, подразумевающий описание роста каждого дерева в зависимости от его видовой специфики и положения в древостое, позволяет легко имитировать различные виды рубок. Деревья размещены в пространстве и оказывают взаимное влияние друг на друга через изменение, в результате конкуренции, доли световых ресурсов, приходящихся на данное растение. Горизонтальная плоскость моделируемого участка представляет собой целочисленную имитационную решетку с расположенными на ней деревьями (рис. 1 а). Такое разбиение непрерывного пространства облегчает алгоритмы рассеивания семян, поиска ближайших соседей и хранения информации (рис. 1 б).