

УДК 51-76:630*434

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛИСТВЕННИЧНИКОВ НА ПИРОГЕННОМ УЧАСТКЕ ЛЕСА ПРИ РАЗНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ВОЗОБНОВЛЕНИЯ ПОДРОСТА

А.Н. Колобов¹, Е.С. Лонкина²

¹Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН,
ул. Шолом-Алейхема 4, г. Биробиджан, 679016,
e-mail: alex_0201@mail.ru;

²Государственный заповедник «Бастак»
ул. Шолом-Алейхема 69а, г. Биробиджан, 679014,
e-mail: lonkina83@mail.ru

В работе приводятся модельные сценарии восстановления лиственничного древостоя на пирогенном участке леса в заповеднике «Бастак» при разной интенсивности воспроизводства, которая, по эмпирическим наблюдениям, составила от 120 до 920 особей подроста в год на гектар. Основным инструментом исследования служила разработанная ранее индивидуально-ориентированная модель пространственно-временной динамики древостоя. Показано, что изменение интенсивности возобновления, в пределах рассмотренного диапазона, не оказывает существенного влияния на процессы восстановления лиственничника на исследуемом пирогенном участке леса.

Ключевые слова: лиственничный древостой, пирогенный участок, интенсивность возобновления подроста, имитационная модель.

Введение

К одному из важнейших факторов, влияющих на состав, строение и развитие лесных сообществ Дальневосточного региона России, относятся пожары. Природное разнообразие лесов складывается в основном из различных стадий послепожарных сукцессий [5, 6]. В связи с этим возникают различные задачи, направленные на изучение лесовосстановительных процессов, прогнозирование породного и возрастного состава лесов. Для изучения этих процессов рассматриваются особенности естественного возобновления основных лесообразующих пород на территориях горельников [1, 2, 7]. Интенсивность возобновления подроста определяет последующую динамику древостоя и, соответственно, является одним из основных параметров, который необходимо учитывать при построении прогнозных сценариев восстановления древесных сообществ. Основные трудности, которые возникают при прогнозировании динамики запаса, породного и возрастного состава лесных экосистем, связаны со значительной продолжительностью процессов их развития. Для решения этой проблемы широко используются методы компьютерного и математического моделирования [11, 12].

В настоящей работе приводятся модельные сценарии восстановления численности, запаса и структуры лиственничного древостоя на пирогенном участке леса в зависимости от интенсивности возобновления подроста. Основным инструментарием исследования служила разработанная ранее имитационная модель пространственно-временной динамики древесных сообществ TEMFORM [3, 9].

Материалы и методы

Для изучения послепожарных лесовосстановительных сукцессий в древесных сообществах Дальневосточного региона была заложена постоянная пробная площадь размером 50×50 м в лиственничнике, пройденном пожаром. Растительное сообщество расположено в Еврейской автономной области на территории заповедника «Бастак». При описании пробной площади собирали следующий эмпирический материал: координаты, вид, диаметр ствола на уровне груди, диаметр кроны и высота каждого дерева. Координаты деревьев измеряли с помощью рулетки, предварительно разбив площадку на полосы размером 10×50 м. Ширину кроны измеряли по 4 направлениям (юг, север, запад, восток) от центра ствола до самой широкой части в данном направлении.

Таблица
Видовой и количественный состав деревьев
на исследуемой пробной площади через
семь лет после пожара

Table
Species and quantitative composition of trees in the
studied trial area in seven years after the fire

Вид дерева	Деревья	Подрост
Лиственница Каяндера	131	498
Береза плосколистная	4	84
Всего	135	582

В табл. приведен видовой и количественный состав деревьев на рассматриваемой пробной площади. На момент сбора данных после пожара прошло семь лет. Из табл. видно, что после пожара сохранилась часть древостоя, который в основном представлен деревьями лиственницы Каяндера (*Larix sajanderi*) и несколькими деревьями березы плосколистной (*Betula platyphylla*). Численность подроста лиственницы, сформировавшегося за семилетний период, составила 498 штук. Подростом считали деревья, диаметр ствола которых не превышает 6 см. Также измеряли высоту подроста, которая изменялась в диапазоне от 0,5 до 6 м. На рис. 1 показано распределение подроста лиственницы по ступеням высоты с шагом 1 метр. Так как высота дерева зависит от его возраста, то, исходя из графика, можно сказать, что число молодых особей в разные годы существенно различалось. Предположим, что полученное распределение по высоте соотносится с распределением деревьев по возрасту. Более точное распределение подроста по возрасту можно получить с помощью определения онтогенетического состояния особей, так как особи одной высоты могут быть разного возраста. В рамках данной работы такие исследования не проводились, ограничиваясь распределением по ступеням высоты. В данном случае интенсивность воспроизводства составляет от 30 до 230 особей в год (120–920 шт./га), что соответствует численности подроста первой и второй ступеней высоты. Относительно низкая численность подроста высотой более 3 м может быть связана как с естественными процессами отмирания, так и с воздействием неблагоприятных факторов и не соответствовать их начальной численности.

Интенсивность возобновления подроста является одним из необходимых параметров при построении прогнозных сценариев развития древостоя. В работе [4] при моделировании процессов

восстановления лиственничника на исследуемом пирогенном участке леса в качестве значимого параметра возобновления подроста рассматривали среднее число особей, образовавшихся за семилетний период после пожара. В настоящей работе строятся прогнозные сценарии восстановления численности, запаса и структуры лиственничного древостоя после пожара, рассматриваются минимальная и максимальная интенсивность возобновления подроста, которая составила 30 и 230 особей в год.

В качестве инструмента моделирования использовали разработанную ранее имитационную модель пространственно-временной динамики древесных сообществ [3, 9]. Она позволяет проводить вычислительные эксперименты с различными комбинациями видовой и возрастной структуры древостоя, произрастающего на территории с умеренным климатом, где основным системообразующим фактором формирования и развития лесных экосистем является свет. В основе построения модели находится индивидуально-ориентированный подход, согласно которому моделирование динамики древостоя складывается из описания роста каждого дерева с учетом его видовых характеристик и пространственного расположения на площадке. Таким образом, модель позволяет формировать начальное пространственное расположение деревьев на площадке с заданными характеристиками для каждого дерева.

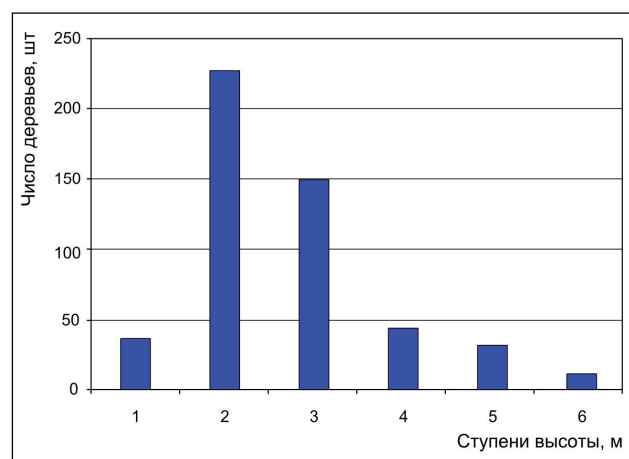


Рис. 1. Распределение подроста лиственницы по ступеням высоты на исследуемой пробной площади (50×50 м)

Fig. 1. Distribution of larch undergrowth by height steps on the studied trial site (50×50 m)

Рост дерева описывается следующей системой уравнений, позволяющей вычислять объем, высоту и диаметр ствола на каждом шаге моделирования с учетом влияния конкуренции со стороны рядом стоящих деревьев:

$$\frac{dV}{dt} = Pb - cVH,$$

$$P = \left(\frac{P_m \cdot V^{2/3}}{p} \cdot \ln \left(\frac{P_m + a \cdot Q}{P_m + a \cdot Q \cdot \exp(-pV^d)} \right) \right) \quad (1)$$

$$H(t) = c_1 (1 - \exp(-c_2(t - t_0)))^{c_3}, \quad (2)$$

$$D = \sqrt{\frac{4V}{\pi \cdot H \cdot \alpha \cdot V^{-\gamma}}}, \quad (3)$$

где V, H, D – объем, высота и диаметр ствола дерева; a – начальный наклон кривой продуктивности; P – интенсивность фотосинтеза дерева; P_m – максимальная интенсивность фотосинтеза единицы листовой поверхности; p – коэффициент поглощения света; d – фрактальная размерность кроны; b – коэффициент преобразования энергии в прирост объема ствола; c – коэффициент пропорциональности расходов энергии на транспорт ассимилятов; Q – доля солнечной радиации, падающей на наружную поверхность кроны; c_1, c_2, c_3 – видоспецифичные параметры роста дерева в высоту; α, γ – коэффициенты зависимости видового числа от объема ствола.

В модели принято, что дерево отмирает, если в результате снижения освещенности, в процессе конкуренции за свет, интенсивность фотосинтеза становится меньше некоторой пороговой величины. Это условие записывается в следующем виде: $\frac{P(V(t), Q)}{P_0(V_m(t), Q_0)} < n(V_m(t))$. Здесь $P(V(t), Q)$,

$P_0(V_m(t), Q_0)$ – интенсивность фотосинтеза кроны дерева (см. уравнение 1), растущего в условиях затенения ($Q < 1$) и при полном освещении ($Q_0 = 1$); $V(t), V_m(t)$ – текущий и максимально возможный (без затенения, $Q_0 = 1$) в данном возрасте объем ствола дерева; t – возраст дерева; $n(V_m(t))$ – пороговая величина отклонения текущей интенсивности фотосинтеза от максимально возможного в данном возрасте значения.

Результаты моделирования

В качестве исходных данных для моделирования использовали пространственные координаты расположения подростка и деревьев лиственницы на исследуемой пробной площади. Диаметр

ствола каждого дерева также определяли в соответствии с данными измерений [4]. Оценка параметров модели для лиственничного древостоя производилась на основе фактических данных таблиц хода роста [8], результаты которой приведены в работе [10].

На рис. 2, 3 показаны модельные сценарии динамики запаса и численности деревьев лиственничного древостоя на исследуемом пирогенном участке леса при интенсивности возобновления 30 и 230 особей в год. Период моделирования составил 200 лет, что соответствует стадии формирования одновозрастного древостоя. Из графиков видно, что увеличение интенсивности возобновления подростка до 230 особей в год не приводит к увеличению запаса, а, наоборот, запас древесины немного уменьшается (рис. 2). Такой эффект возникает в результате того, что при увеличении плотности подростка усиливается интенсивность его изреживания (рис. 3б, рис. 4, диаметр 0–4 см). Как следствие, это приводит к снижению численности более крупных деревьев на следующих этапах развития древостоя (рис. 4, диаметр 8–12 см; 20–24 см).

Результаты вычислительных экспериментов показали, что уменьшение интенсивности образования молодых особей до 30 штук в год приводит к значительному снижению общей численности подростка в древостое (рис. 4, диаметр 0–4 см). При этом динамика численности деревьев больших ступеней толщины (диаметр 12–16 см, 16–20 см и 20–24 см) существенно не изменяется (рис. 4).

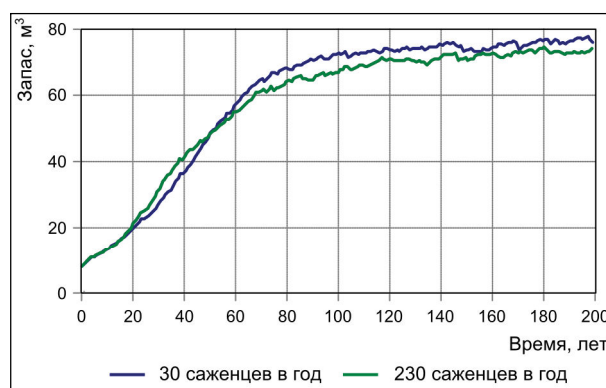


Рис. 2. Динамика запаса древесины лиственничного древостоя на имитационной площадке (50×50 м) при интенсивности возобновления 30 и 230 особей в год

Fig. 2. Dynamics of the larch stand stock on the simulation site (50 × 50 m) with the renewal intensity of 30 and 230 units a year

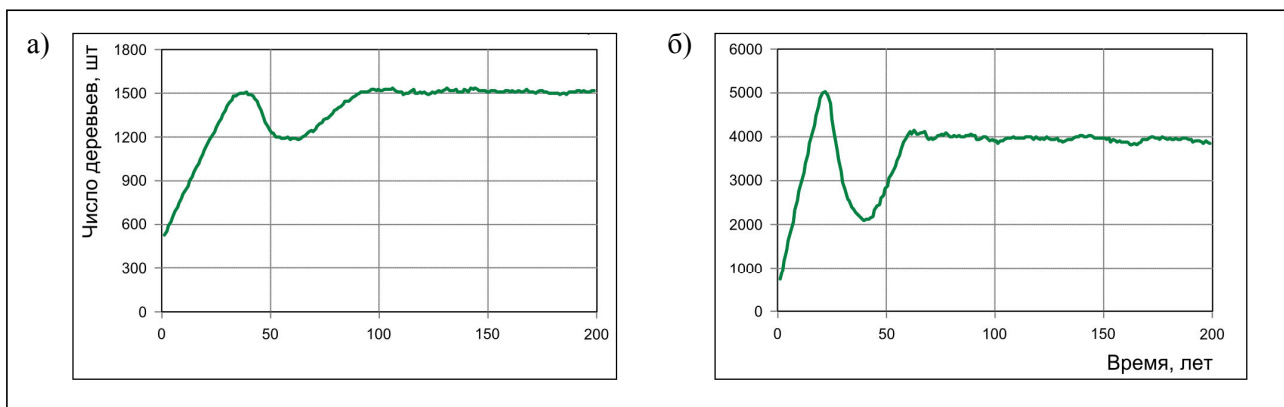


Рис. 3. Динамика численности деревьев в лиственничном древостое на имитационной площадке при интенсивности возобновления 30 (А) и 230 (Б) особей в год

Fig. 3. Dynamics of the trees number in larch stands on the simulation site with the renewal intensity of 30 (A) and 230 (B) units a year

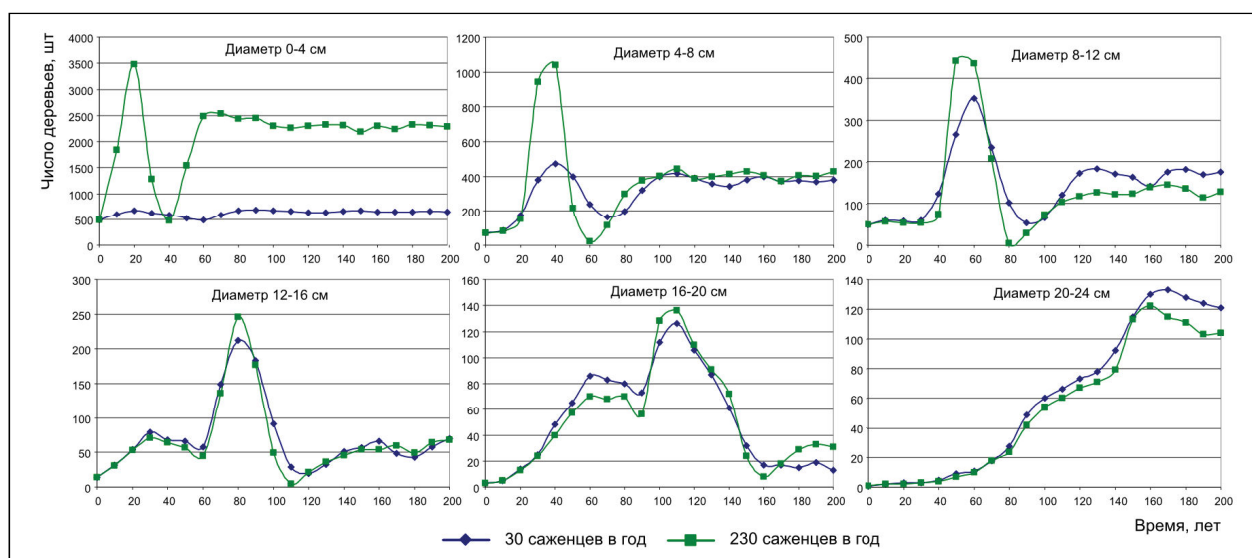


Рис. 4. Динамика численности деревьев разных ступеней толщины в лиственничном древостое на имитационной площадке при интенсивности возобновления 30 и 230 особей в год

Fig. 4. Dynamics in the number of trees with different thickness of larch stands on the simulation site with the renewal intensity of 30 and 230 units a year

Таким образом, динамика восстановления запаса и структуры лиственничного древостоя после пожара существенно не зависит от интенсивности возобновления подроста в пределах исследуемого диапазона.

Заключение

Построены модельные сценарии восстановления лиственничного древостоя на пирогенном участке леса в заповеднике «Бастак» при разной

интенсивности возобновления, которая, по эмпирическим наблюдениям, составила от 30 до 230 особей в год. Показано, что снижение интенсивности возобновления до установленного минимального значения приводит к значительному уменьшению численности подроста и не оказывает существенного влияния на динамику численности крупных деревьев. При этом запас древесины не уменьшается, а, наоборот, немного увеличива-

ется. Таким образом, для построения прогнозных сценариев восстановления лиственничника на исследуемом пирогенном участке леса достаточно использовать среднее значение интенсивности возобновления подроста, что позволяет адекватно отразить динамику прогнозируемых параметров древостоя.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН, а также при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-04-00073 а.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Горбунов И.В. Изучение жизненного состояния и процесса возобновления лиственничников после пожаров на территории Ивано-Арахлейского природного парка (Восточное Забайкалье) // Вестник КрасГАУ. 2015. № 10. С. 135–144.
2. Иванов В.А., Иванова Г.А., Бакшеева Е.О. Послепожарное возобновление в светлохвойных насаждениях Красноярского края // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2017. Т. 3, № 2. С. 240–244.
3. Колобов А.Н. Моделирование пространственно-временной динамики древесных сообществ: индивидуально-ориентированный подход // Лесоведение. 2014. № 5. С. 72–82.
4. Колобов А.Н., Лонкина Е.С. Имитационное моделирование процессов восстановления лиственничников на пирогенном участке заповедника «Бастак» // Региональные проблемы. 2017. Т. 20. № 4. С. 5–8.
5. Комарова Т.А. Послепожарные сукцессии в лесах южного Сихотэ-Алиня. Владивосток: ДВО РАН, 1992. 224 с.
6. Комарова Т.А., Сибирина Л.А., Яковлева А.Н. Формирование и развитие послепожарных древостоев в лесах южного Сихотэ-Алиня // Лесоведение. 2007. № 2. С. 12–21.
7. Матвеев А.М., Матвеев П.М., Бакшеева Е.О., Ерохина З.В. Особенности послепожарного возобновления в среднетаежных лиственничниках Красноярского края // Хвойные борельной зоны. 2003. Т. 21, № 1. С. 10–14.
8. Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г., Нильссон С., Булуй Ю.И. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесобразующих пород Северной Евразии (нормативно справочные материалы). 2-е изд., доп. М.: Междунар. ин-т прикладного системного анализа, 2008. 886 с.
9. Kolobov A.N., Frisman E.Ya. Individual-based model of spatio-temporal dynamics of mixed forest stands // Ecological Complexity. 2016. Vol. 27. P. 29–39.
10. Kolobov A.N., Frisman E.Ya. Evaluate the initial spatial structure and heterogeneity of the composition for spruce and larch stands on real data self-thinning of even-aged stands // Ecological Complexity. 2018. Vol. 34. P. 89–99.
11. Peng C.H. Growth and yield models for uneven-aged stands: Past, present, and future // Forest Ecology and Management. 2000. Vol. 132. P. 259–279.
12. Porte A., Bartelink H.H., Modeling mixed forest growth: a review of models for forest management // Ecological Modelling. 2002. Vol. 150. P. 141–188.

SIMULATION OF THE PROCESSES OF LARCH FORESTS RESTORATION IN THE PYROGENIC FOREST AREA WITH DIFFERENT INTENSITY OF UNDERGROWTH REGENERATION

A.N. Kolobov, E.S. Lonkina

The paper presents model scenarios of larch stand restoration in the pyrogenic area of the Bastak Reserve at different reproduction intensity, ranging from 120 to 920 units of undergrowth a year per hectare, according to empirical observations. As the main research tool it was used the previously developed individual-based model of the spatiotemporal dynamics of forests. The research shows that a change in the renewal intensity, within the range considered by the authors, does not significantly affect the larch trees restoration in the studied pyrogenic area of the forest.

Keywords: larch forest stand, pyrogenic site, undergrowth renewal intensity, simulation model.