

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ СЦЕНАРИЕВ ВЫБОРОЧНЫХ РУБОК: ИМИТАЦИОННЫЙ ПОДХОД

А.Н. Колобов

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

В работе приводятся результаты моделирования и анализа различных сценариев динамики елового древостоя в зависимости от используемых стратегий выборочных рубок. Продемонстрирована возможность применения разработанной имитационной модели в области лесоводства при выборе и обосновании эффективных стратегий лесопользования в соответствии с поставленными целями хозяйствования.

Ключевые слова: индивидуально-ориентированная модель, выборочные рубки, запас древостоя, стратегии лесопользования.

Введение

Устойчивое управление лесами представляет собой многоцелевое, непрерывное и неистощительное использование лесных ресурсов с такой интенсивностью, которая позволяет обеспечить долговременные экономически выгодные взаимоотношения человека и лесных экосистем и сохранить биоразнообразие, продуктивность, возобновление и жизнеспособность последних. Одним из мероприятий, предоставляющих возможность в значительной степени удовлетворять потребности лесного хозяйства в древесине, обеспечивать лесовозобновление без смены пород естественным путем, сохранять полезные многообразные функции лесов, являются выборочные и постепенные рубки. Они в наибольшей степени отвечают природе разновозрастных лесов, а результаты их зависят от правильного и грамотного проведения [2].

Выборочная рубка – это метод лесопользования, при котором периодически вырубаются отдельные деревья в количестве, гарантирующем сохранение всех функций леса и эффективное восстановление лесного массива. В лесу после выборочной рубки полностью сохраняется биоценоз, благоприятствующий росту основной лесобразующей породы деревьев и быстрому восстановлению древостоя. Вследствие этого сводится к минимуму необходимость в посадках и длительном, трудоёмком уходе за ними. При выборочных рубках сохраняется весь молодняк и подрост, который в результате прореживания леса ускоряется в росте и быстро заполняет образовавшиеся пустоты. В итоге при долгосрочном лесопользова-

нии экономический эффект может в несколько раз превышать эффект от сплошных рубок.

В работе приводятся результаты моделирования и анализа различных сценариев выборочных рубок в еловом древостое на основе разработанной имитационной компьютерной модели [4, 3].

Описание модели

Данная модель направлена на проведение вычислительных экспериментов со всевозможными комбинациями видовой и возрастной структуры древостоев, произрастающих на территории с умеренным климатом, где основным системообразующим фактором формирования и развития лесных экосистем является свет. Она содержит несколько уравнений и параметров, большинство из которых можно оценить на основе имеющихся стандартных данных лесной таксации. Особое внимание при построении модели уделяется описанию и изучению механизмов внутривидовой и межвидовой конкуренции, которая является определяющим фактором, формирующим характерные сообщества деревьев. При этом учитывается пространственная структура древостоя как основной фактор, влияющий на напряженность конкурентных отношений [6]. В основе построения модели лежит индивидуально-ориентированный подход, согласно которому моделирование динамики древостоя складывается из описания роста каждого дерева с учетом его видовых характеристик и локально доступных ресурсов. Деревья размещены на площадке с заданными пространственными координатами и оказывают взаимное влияние друг на друга через конкуренцию за свет. Моделируе-

мый участок представляет собой целочисленную имитационную решетку с размером ячейки 40×40 см, что сопоставимо с размерами ствола взрослого дерева. В каждой ячейке одновременно может находиться только одно дерево, которое не привязано к ее центру, а располагается в ней случайным образом (рис. 1). На каждом шаге моделирования, который равен одному году, рассчитывается рост и отмирание деревьев, а также естественное возобновление. Вычисляется прирост объема ствола и диаметра дерева в зависимости от степени затенения соседними деревьями. Отмирание дерева происходит в результате конкуренции за свет и предельного возраста, а также влияния различных внешних факторов, таких как ветровалы, поедание подроста копытными, фитофаги, пожары, рубки. В качестве результатов моделирования исследователь получает различные статистические данные – запас, численность, пространственное распределение, возрастная структура, видовой состав древостоя, которые представлены в виде графиков, таблиц, диаграмм.

Моделирование выборочных рубок

Рассмотрим применение разработанной модели для анализа различных стратегий лесопользования с целью нахождения оптимального объема и периодичности рубок в зависимости от поставленной цели хозяйствования. Здесь может возникнуть несколько задач: определить максимальное изъятие древесины при выполнении условия лесовосстановления, что обеспечивает непрерывное лесопользование; найти компромисс

между количеством и качеством заготавливаемой древесины, который выражается в присутствии деревьев больших ступеней толщины; проведение выборочных рубок при сохранении экосистемы в первоначальном состоянии (например в лесопарках, рекреационных зонах). Выбор эффективной стратегии лесопользования в зависимости от поставленной задачи осуществляется путем принятия экспертного решения на основе анализа различных сценариев рубок.

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. Для устойчивого лесопользования и эффективного лесовосстановления применяют выборочные рубки, которые в долгосрочной перспективе дают гораздо больший экономический эффект, чем сплошные. При таком виде рубок периодически удаляют часть деревьев в разновозрастном лесу, сохраняя экосистему и её природоохранную функцию. По технологии осуществления выборочные рубки могут подразделяться на: добровольно-выборочные, группово-выборочные, равномерно-постепенные, группово-постепенные (котловинные), длительно-постепенные, чересполосные постепенные рубки [5].

В данной работе проводилось моделирование различных режимов добровольно-выборочных рубок, при которых равномерно по площади вырубаются в первую очередь поврежденные,

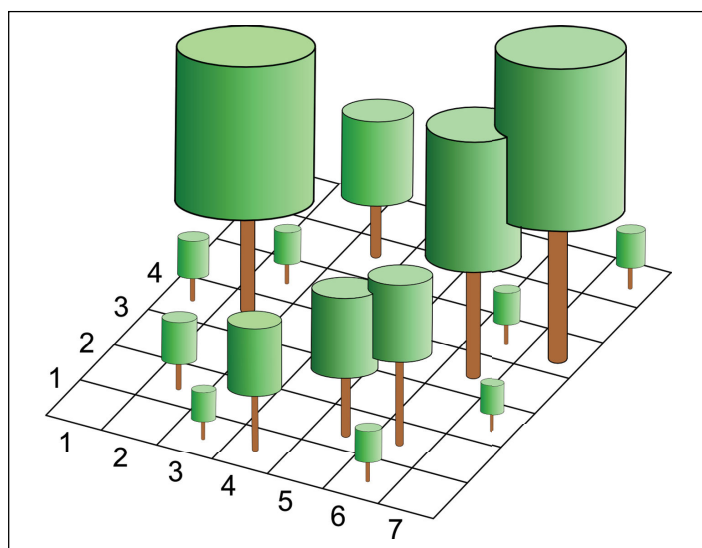


Рис. 1. Размещение деревьев на координатной решетке моделируемого участка

Fig. 1. Location of trees on the coordinate grid of the simulated plot

перестойные, спелые с замедленным ростом дерева. Эти вырубki предусматривают формирование молодого подроста с одновременным использованием спелой древесины, обеспечивая непрерывное возобновление, выращивание и эксплуатацию леса. По современным требованиям интенсивность рубки составляет 15–20% через 8–15 лет, 21–30% с периодичностью 15–30 лет, 40% с повторяемостью 25–40 лет в зависимости от состояния насаждения и хода возобновления.

Моделирование выборочных рубок осуществлялось для насаждений ели аянской на площадке размером 40×40 м, начиная с 700 лет, когда древостой достигает разновозрастной стадии развития [3]. Результаты оценки параметров модели для этого вида приведены в работе [3]. Производилось изъятие деревьев в объеме 30% от общего запаса с различной периодичностью на протяжении 240 лет. Общий запас древесины рассчитывался как сумма объема стволов на участке с диаметром выше 6 см, что соответствует круглым лесоматериалам хвойных пород. Вырубались деревья, начиная с максимального диаметра и ниже, пока не был получен необходимый процент по запасу. Эффективность стратегии лесопользования оценивалась по количеству изъятых древесины и степени восстановления структуры древесного сообщества до прежнего состояния. Одной из

основных характеристик структуры древостоя является распределение по ступеням толщины диаметров стволов, анализируя которое можно проследить динамику его восстановления после рубок [1]. На рис. 2 показаны сценарии динамики запаса елового древостоя при различных режимах выборочных рубок.

Из графиков видно, что при рубке деревьев в размере 30% от общего объема с периодичностью 10 и 30 лет запас древостоя снижается по сравнению с начальной величиной (рис. 2а, б). При рубках с повторяемостью 40, 60 лет запас древостоя успевает восстанавливаться до первоначального значения (рис. 2в, г). В табл. приведены характеристики рассматриваемых режимов рубок, которые показывают, что средний объем вырубленной за один раз древесины увеличивается, а общий запас деревьев, вырубленных за 240 лет, уменьшается с увеличением периода изъятия. Уменьшение интервала между рубками приводит к снижению значений максимального и минимального диаметра вырубляемых деревьев, что сказывается на качественных характеристиках заготавливаемой древесины (табл.).

Анализ распределений по ступеням толщины диаметров ствола показал, что при рубках с периодичностью 10 лет структура древостоя не успевает прийти к прежнему виду. Отсутству-

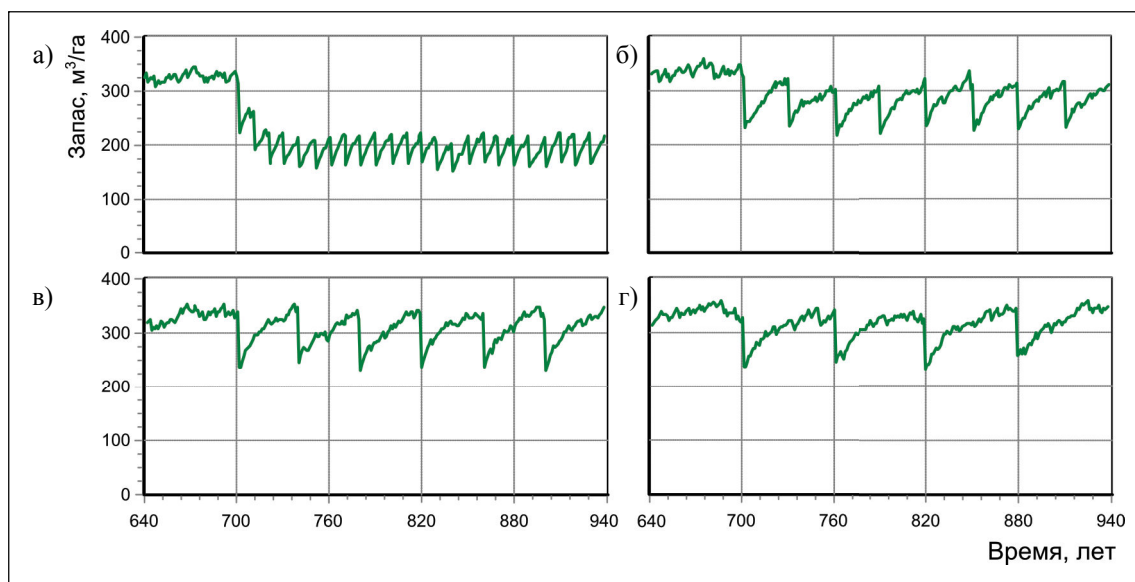


Рис. 2. Сценарии динамики запаса елового древостоя при различных режимах рубок: а) период рубок 10 лет; б) 30 лет; в) 40 лет; г) 60 лет, интенсивность изъятия деревьев во всех случаях 30%

Fig. 2. Scenarios of spruce stands resources dynamics at different felling modes: а) felling period of 10 years; б) 30; в) 40; г) 60, tree felling intensity in all cases – 30%

| Режим рубок | Средний объем изъятия за одну рубку, м ³ /га | Общий объем изъятия за 240 лет, м ³ /га | Максимальный диаметр изъятых деревьев, см | Минимальный диаметр изъятых деревьев, см |
|-------------|---|--|---|--|
| 10 лет, 30% | 64 | 1600 | 22 | 17 |
| 30 лет, 30% | 92 | 738 | 29 | 24 |
| 40 лет, 30% | 101 | 611 | 29 | 26 |
| 60 лет, 30% | 104 | 403 | 30 | 26 |

ют деревья с диаметром выше 24 см, возрастает количество деревьев среднего диаметра (рис. 3). Такой рост возникает в результате перераспределения освободившихся световых ресурсов между деревьями нижних ярусов. Распределения диаметров ствола, наиболее близко соответствующие первоначальному состоянию древостоя, наблюдаются в третьем и четвертом сценариях рубок, хотя в третьем случае практически отсутствуют деревья последней ступени толщины (рис. 3). Эту проблему можно решить, если удалять деревья не последовательно начиная с большего диаметра, а случайным образом.

Моделирование различных режимов выборочных рубок показало, что первый сценарий обеспечивает максимальное количество древесины,

вырубаемой за 240 лет, по сравнению с остальными. Во втором сценарии получаем большее количество изымаемой древесины за весь период рубок, чем в третьем. При этом по качественным характеристикам, отражающим величину диаметра стволов вырубаемых деревьев, они не сильно отличаются друг от друга (табл.). Данная стратегия с периодичностью рубок 30 лет может служить компромиссом между количеством и качеством заготавливаемой древесины. При изъятии деревьев в объеме 30% от общего запаса каждые 60 лет структура древостоя восстанавливается до исходного состояния, что может быть приемлемым при необходимости сохранять экосистему в первоначальном виде.

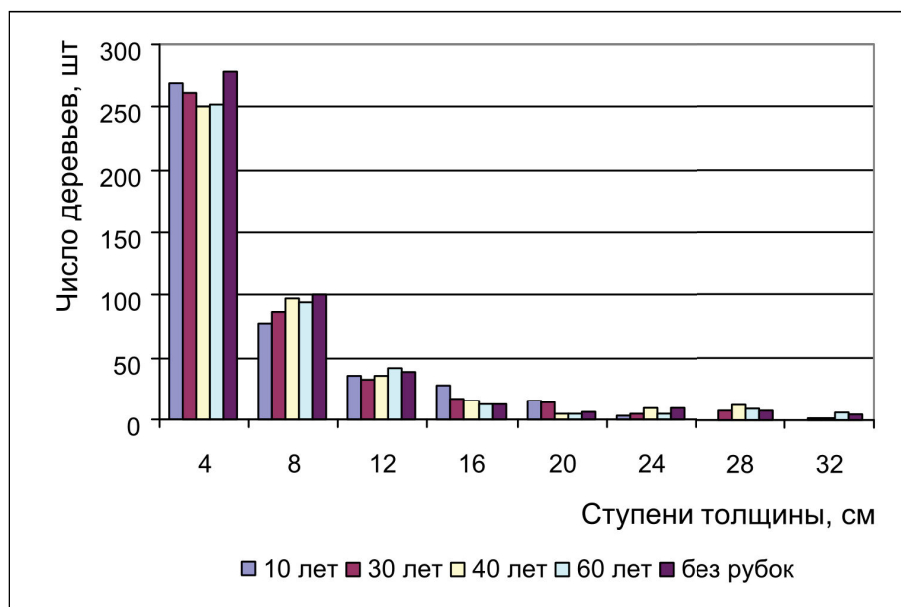


Рис. 3. Распределение по ступеням толщины диаметров ствола при естественном развитии древостоя и после рубок с периодом 10, 30, 40, 60 лет

Fig. 3. Distribution of trees according to the stages of stem thickening at a natural development of the stand, and after its felling, with the periods of 10, 30, 40, and 60 years

Заключение

На основе предложенной модели было построено несколько сценариев развития еловых насаждений при разных режимах выборочных рубок. Анализ полученных сценариев показал, что в зависимости от интенсивности и периодичности рубок могут быть реализованы различные стратегии лесопользования, направленные, например, на максимальное изъятие древесины при выполнении условия лесовосстановления; получение определенных качественных характеристик древесины при максимальном изъятии и минимальном времени восстановления. Таким образом, продемонстрирована возможность применения данной модели в области лесоводства при выборе и обосновании эффективных стратегий ведения лесного хозяйства в зависимости от поставленных задач.

Исследования проведены в рамках комплексной программы фундаментальных исследований ДВО РАН «Дальний Восток» (№ 15-П-6-012).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Борисов А.Н., Иванов В.В. Имитационное моделирование динамики темнохвойных древостоев при выборочных рубках // Хвойные борельные зоны. 2008. Т. XXV, № 1–2. С. 135–140.
2. Валяев В.Н. Выборочные и сплошнолесосечные рубки в Карелии (Сравнительная продуктивность). Петрозаводск: Карелия, 1984. 64 с.
3. Колобов А.Н. Моделирование пространственно-временной динамики древесных сообществ: индивидуально-ориентированный подход // Лесоведение. 2014. № 5. С. 72–82.
4. Колобов А.Н., Фрисман Е.Я. Моделирование процесса конкуренции за свет в одновозрастных древостоях // Известия РАН. Серия биологическая. 2013. № 4. С. 463–473.
5. Лесная энциклопедия: в 2 т. / под. ред. Г.И. Воробьева. М.: Советская энциклопедия, 1985. 563 с.
6. Kolobov A., Frisman E., 2012. Formation of the Mosaic Structure of Vegetative Communities due to Spatial Competition for Life Resources. In: Jordán, F., Jørgensen, S.E. (Eds), Models of the Ecological Hierarchy: From Molecules to the Ecosphere. Elsevier B.V. P. 131–147.

The paper presents the results of modeling and analysis of various scenarios dynamics of spruce stands dependent on the strategies of selective felling. The author demonstrates a possibility of application of the developed simulation model in forestry, substantiating it as a good choice and effective strategy in the forest management.

Keywords: individual-based models, selective felling, growing stock, forest management strategies.