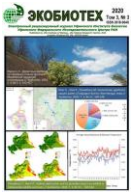
ЭКОБИОТЕХ
ISSN 2618-964X http://ecobiotech-journal.ru



РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНЫХ СХЕМ ЛЕСОПОСАДКИ МЕТОДОМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Колобов А.Н.*, Фрисман Е.Я.

Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН, Биробиджан (Россия)
*E-mail: alex_0201@mail.ru

Одним из способов повысить продуктивность искусственного лесонасаждения является регулирование густоты и взаимного расположения деревьев. В связи с этим возникают задачи нахождения оптимальных схем лесопосадки для получения максимального запаса древесины заданного диаметра. На основе разработанной имитационной модели проведен сравнительный анализ продуктивности еловых насаждений при разных схемах посадки. Определены оптимальные схемы лесопосадки еловых насаждений, обеспечивающих максимальный запас мелкой, средней и крупной древесины. Показано, что для максимизации запаса древесины разного класса крупности требуется разная начальная густота насаждения: чем выше класс крупности выращиваемой древесины, тем меньше оптимальная густота посадки.

Ключевые слова: искусственное лесонасаждение, имитационная модель, еловый древостой, запас древесины, густота насаждения

DEVELOPMENT OF OPTIMAL PLANTING SCHEMES BY SIMULATION

Kolobov A.N.*, Frisman E.Ya.

Institute for complex analysis of regional problems Far Eastern Branch of the Russian Academy of Science, Birobidzhan (Russia)
*E-mail: alex_0201@mail.ru

One way to increase the productivity of artificial forestation is to control the density and relative position of trees. In this regard, there are tasks of finding the optimal planting schemes to obtain the maximum wood stock of a given diameter. Based on the developed simulation model, a comparative analysis of the productivity of spruce stands with different planting schemes was carried out. The optimal forest planting schemes for spruce stands, which provide the maximum stock of small, medium and large wood, are determined. It is shown that in order to maximize the stock of wood of different size classes, different initial planting densities are required. The higher the size classes of the grown wood, the lower the optimal planting density.

Keywords: artificial forestations, simulation model, spruce forest stand, wood stock, density of plantings

Поступила в редакцию: 30.04.2020

DOI: 10.31163/2618-964X-2020-3-3-418-423

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день альтернативой лесозаготовок в естественных древостоях является создание искусственных лесных плантаций, обеспечивающих получение древесины с заданными качественными характеристиками. Лесная плантация должна обладать высокой продуктивностью, что позволяет получать наибольший запас выращиваемой древесины. Одним из способов повысить продуктивность насаждения является регулирование густоты и взаимного расположения деревьев [Мерзленко, Бабич, 2011]. В связи с этим возникают задачи направленные на разработку оптимальных схем лесопосадки, которые обеспечивают получение максимального запаса древесины с определенными качественными характеристиками.

В данной работе методами имитационного моделирования решается задача нахождения оптимального размещения деревьев на участке для получения максимального запаса выращиваемой древесины заданного диаметра.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве плантационной культуры рассматривали ель, которая по степени распространения и хозяйственному значению является одной из преобладающих древесных пород на Дальнем Востоке России. Для моделирования динамики запаса еловых насаждений при разных схемах посадки использовали разработанную ранее имитационную модель пространственно-временной динамики древесных сообществ [Kolobov, Frisman, 2016]. Она позволяет проводить вычислительные эксперименты с различными комбинациями видовой и возрастной структуры древостоя, произрастающих 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 локально доступных ресурсов. Деревья размещены на площадке с заданными пространственными координатами и оказывают взаимное влияние друг на друга через конкуренцию за свет. Такой подход позволяет легко имитировать различные схемы лесопосадок.

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:

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

$$H(t) = \mathrm{c}_1(1 - \exp(-\mathrm{c}_2(t - t_0)))^{\mathrm{c}3}, \qquad (2)$$

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

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 затенения со стороны рядом стоящих деревьев, интенсивность фотосинтеза становится меньше некоторой пороговой величины. Подробное описание модели роста дерева в условиях конкуренции за свет можно найти в работах [Колобов, 2014; Kolobov, Frisman, 2016].

Оценка параметров модели производилась на основе данных таблиц хода роста нормальных еловых насаждений 2 класса бонитета [Загреев и др., 1992]. На рисунке 1 показаны графики роста объема ствола и высоты дерева ели аянской (*Picea jezoensis*), а также приведены значения коэффициентов детерминации (R^2) и ошибки аппроксимации ($\bar{A}$).

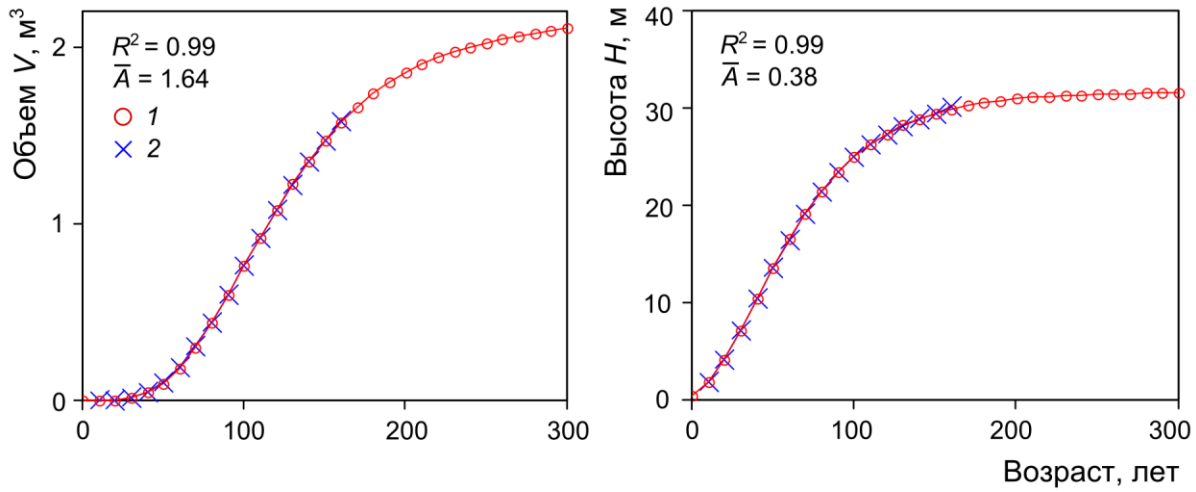


Рис. 1. Графики роста объема ствола (*V*) и высоты (*H*) дерева ели аянской (1 – модельные данные, 2 – эмпирические данные).

Подбирая оптимальные схемы посадки, учитывался тот факт, что саженцы не являются одинаковыми, имея различную степень конкурентоспособности, что соответственно определяет разную вероятность отмирания деревьев в процессе конкуренции за свет. В работе [Kolobov, Frisman, 2018] для елового древостоя были получены следующие оценки начального распределения саженцев расположенных по возрастанию степени конкурентоспособности: $q_1 = 0.57$, $q_2 = 0.25$, $q_3 = 0.11$, $q_4 = 0.049$, $q_5 = 0.021$, где q_i – доля саженцев от их общего числа на моделируемом участке.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

На основе разработанной имитационной модели проведен модельный анализ продуктивности еловых насаждений в зависимости от ширины междурядий и шага посадки деревьев. В результате необходимо было определить оптимальные значения параметров размещения лесокультурных посадочных мест для получения максимального запаса мелкой, средней и крупной деловой древесины. Деловую древесину разделяют на три класса крупности: мелкая древесина, минимальный диаметр ствола которой по длине хлыста находится в диапазоне 6-13 см, средняя - диапазон минимального диаметра 14-24 см, крупная – минимальный диаметр больше 24 см [ГОСТ 17462-84, 2000].

На рисунке 2 показаны графики запаса мелкой, средней, крупной древесины елового насаждения в зависимости от расстояния между деревьями при квадратной схеме посадки. Из графиков видно, что увеличение начальной численности деревьев позволяет увеличить запас древесины, но чем выше плотность древостоя, тем сильнее проявляются процессы самоизреживания в результате конкуренции за ресурсы, что приводит к снижению запаса. Оптимальное расстояние между деревьями для выращивания мелкой, средней и крупной древесины при квадратной схеме посадки соответственно составило: 1.4 × 1.4 м, 2.4 × 2.4 м, 4 × 4 м (рис. 2). Время, за которое еловый древостой достигает заданных качественных характеристик, соответственно составило 36, 68, 155 лет. Таким образом, показано, что для максимизации запаса древесины разного класса крупности требуется разная начальная густота насаждения: чем выше класс крупности выращиваемой древесины, тем меньше оптимальная густота посадки.

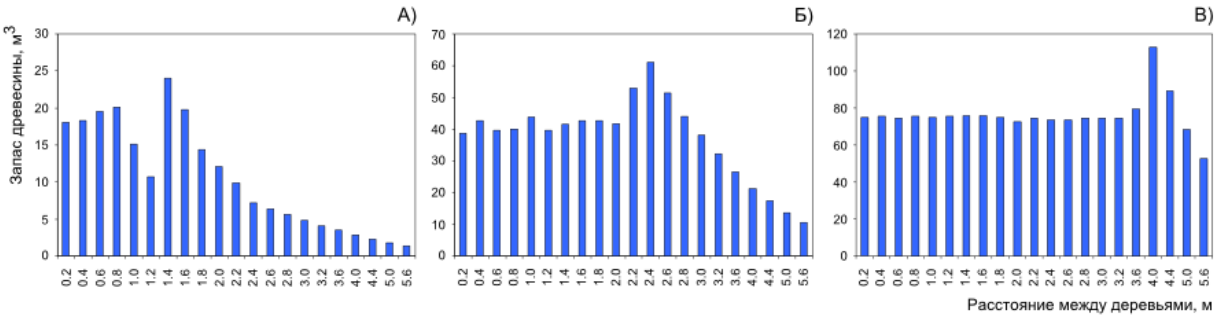


Рис. 2. Запас древесины елового насаждения в зависимости от расстояния между деревьями при квадратной схеме посадки: а) мелкая; б) средняя; в) крупная древесина

Показано, что процесс самоизреживания древостоя зависит как от начальной густоты насаждения, так и от взаимного расположения деревьев на участке, что в итоге определяет величину запаса древесины заданного диаметра.

На рисунке 3 приведена динамика запаса древостоя в зависимости от расстояния между саженцами (густоты насаждения) при квадратной схеме посадки: 1.4 × 1.4 м (5102 шт./га), 1.2 × 1.2 м (6944 шт./га), 1 × 1 м (10000 шт./га). Отсюда видно, что чем выше начальная густота насаждения, тем раньше возникает процесс естественного изреживания в силу того, что раньше происходит смыкание крон, усиливая напряженность конкурентных отношений.

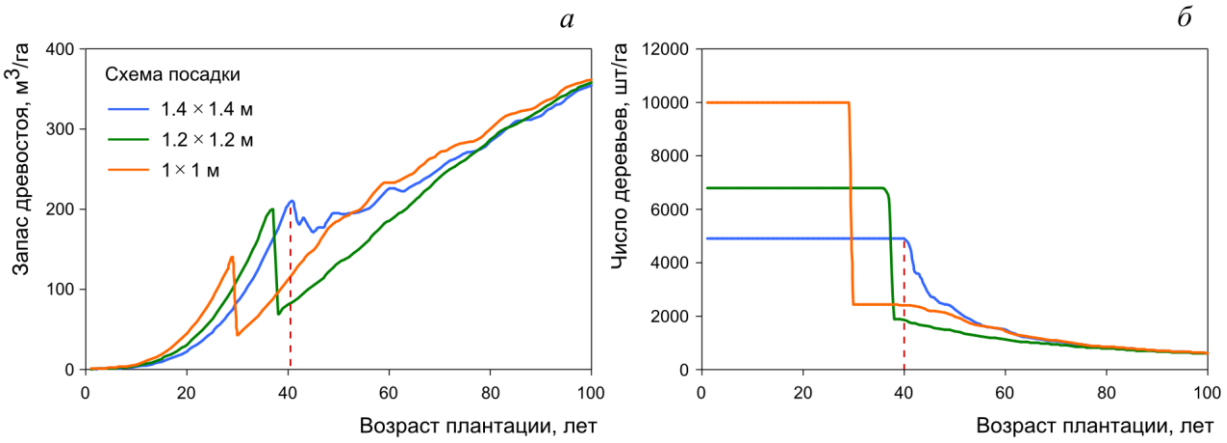


Рис. 3. Динамика запаса и численности деревьев елового насаждения в зависимости от расстояния между саженцами при квадратной схеме посадки.

На рисунке 4 показана динамика запаса елового древостоя в зависимости от ширины междурядий и шага посадки при одинаковой начальной численности саженцев: 2 × 2.8 м, 1.4 × 4 м, 1 × 5.6 м (1786 шт./га) и 2 × 2 м, 4 × 1 м, 5 × 0.8 м (2500 шт./га). Из графиков видно, что уменьшение ширины междурядий с одновременным увеличением шага посадки приводит к снижению запаса древесины в результате того, что процесс изреживания начинается раньше. В этом случае смыкание крон деревьев, расположенных в соседних рядах, происходит раньше, усиливая напряженность конкурентных отношений за световые ресурсы. Вместе с тем увеличение шага посадки оказывается недостаточным для существенного улучшения условий освещения, необходимых для дальнейшего роста, что в итоге приводит к отмиранию наименее конкурентоспособных деревьев.

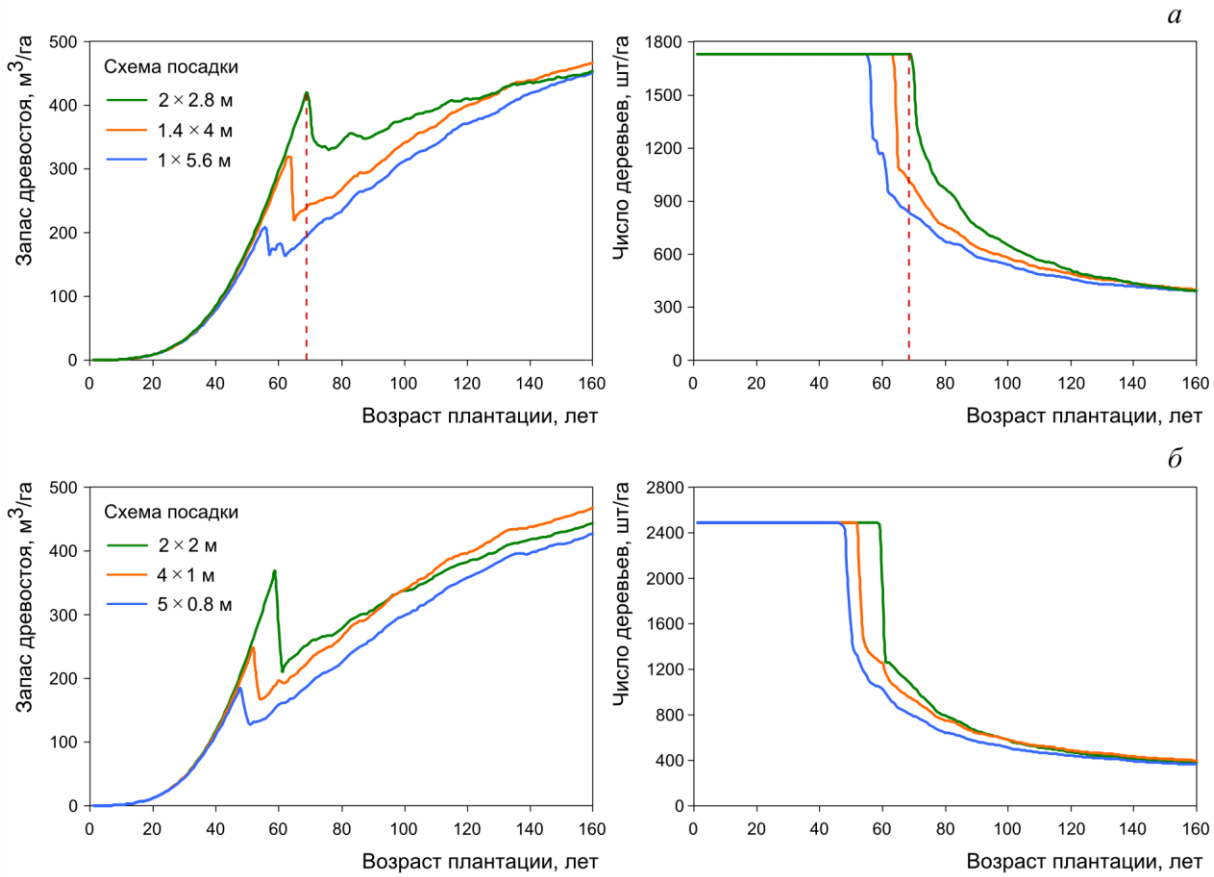


Рис. 4. Динамика запаса и числа деревьев елового насаждения в зависимости от ширины междурядий и шага посадки при одинаковой начальной численности саженцев.

Проведенные вычислительные эксперименты показали, что в случае одинаковой начальной густоты насаждения процесс естественного изреживания древостоя при прямоугольной схеме посадки возникает раньше, чем при квадратной схеме посадки (рис. 4 б). Таким образом, квадратная схема посадки является оптимальной для получения максимального запаса древесины заданного диаметра.

ВЫВОДЫ

Вычислительные эксперименты показали, что для получения максимального запаса древесины разного класса крупности требуется разная начальная густота насаждения. Чем выше класс крупности выращиваемой древесины, тем меньше оптимальная густота посадки. Установлено, что при одинаковой начальной численности саженцев квадратная схема посадки является оптимальной для получения максимального запаса древесины заданного диаметра. Таким образом, для максимизации запаса выращиваемой древесины достаточно рассматривать квадратные схемы посадки подбирая оптимальную густоту насаждения.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена в рамках государственного задания Института комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 17462-84 – продукция лесозаготовительной промышленности. Термины и определения. Москва: ИПК издательство стандартов, 2000. 11 с.
2. Загреев В.В., Сухих В.И., Швиденко А.З., Гусев Н.Н., Мошкалев А.Г. Общесоюзные нормативы для таксации лесов. М.: Колос, 1992. 195 с.
3. Колобов А.Н. Моделирование пространственно-временной динамики древесных сообществ: индивидуально-ориентированный подход // Лесоведение. 2014. № 5. С. 72–82.
4. Мерзленко М.Д., Бабич Н.А.. Теория и практика искусственного лесовосстановления. Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, 2011. 239 с.
5. Kolobov A.N., Frisman E.Ya. Individual-based model of spatio-temporal dynamics of mixed forest stands // Ecological Complexity. 2016. V. 27. P. 29–39. DOI: 10.1016/j.ecocom.2015.10.002
6. 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. V. 34. P. 89-99. DOI: 10.1016/j.ecocom.2017.09.005