

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Научная статья

УДК 51-76:630*8(571.6)

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫБОРОЧНЫХ РУБОК В ЕЛОВЫХ ДРЕВОСТОЯХ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО РЕГИОНА РОССИИ

А.Н. Колобов

Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН,
ул. Шолом-Алейхема 4, г. Биробиджан, 679016,
e-mail: alex_0201@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1048-4876>

На основе имитационного моделирования исследовали процесс восстановления запаса и структуры елового древостоя после выборочных рубок с разной интенсивностью изъятия деревьев. Результаты моделирования показали, что, когда запас древостоя достигает значения, которое было до рубки, структура древостоя не восстанавливается в исходное состояние. При интенсивности изъятия 10–40% для восстановления структуры древостоя требуется на 10–15 лет больше, чем для восстановления запаса.

Ключевые слова: имитационная модель, выборочные рубки, восстановление древостоя после рубки, запас древесины, структура древостоя.

Образец цитирования: Колобов А.Н. Имитационное моделирование выборочных рубок в еловых древостоях Дальневосточного региона России // Региональные проблемы. 2025. Т. 28, № 2. С. 29–33. DOI: 10.31433/2618-9593-2025-28-2-29-33.

В настоящее время интенсивное использование лесных ресурсов приводит к возникновению различных неблагоприятных последствий, связанных с вырождением естественных лесов, ухудшением их состояния, биоразнообразия и уменьшением запасов древесины. В связи с этим важным аспектом являются вопросы рационального использования этих ресурсов.

Рациональное лесопользование представляет собой непрерывное и неистощительное использование лесных ресурсов с такой интенсивностью и таким образом, чтобы обеспечить их биологическое разнообразие, продуктивность и возобновление, а также способность выполнять соответствующие экологические, экономические и социальные функции.

Одним из методов рационального лесопользования являются выборочные рубки, которые предусматривают формирование молодого подраста с одновременным использованием спелой древесины, обеспечивая непрерывное возобновление, выращивание и эксплуатацию леса.

Выборочная рубка – это метод лесопользования, при котором периодически вырубается отдельные деревья в количестве, гарантирующем сохранение и эффективное восстановление леса. В лесу после выборочной рубки полностью сохраняется биоценоз, благоприятствующий росту основной лесобразующей породы и быстрому восстановлению древостоя [1].

В настоящей работе приведены результаты моделирования процессов восстановления разновозрастных еловых древостоев после выборочных рубок разной интенсивности. По степени распространения и хозяйственному значению елово-пихтовые леса являются одной из преобладающих лесных формаций на Дальнем Востоке России, уступая по площади и запасам только лиственничникам.

Для решения этих задач использовали имитационную компьютерную модель, в которой учитывается пространственное расположение каждого дерева [2, 4]. Такой подход позволяет легко имитировать различные режимы выборочных

рубок, удаляя часть деревьев необходимого размера и пространственного расположения на любом шаге моделирования.

Результаты вычислительных экспериментов

На основе имитационной модели исследовали процесс восстановления запаса и структуры елового древостоя до исходного состояния после выборочных рубок с разной интенсивностью изъятия деревьев. Моделирование выборочных рубок осуществлялось на площадке размером 40×40 м, когда древостой достигал разновозрастной стадии развития, что составляет порядка 700 лет. Вырубались деревья, начиная с максимального диаметра и ниже, пока не был получен необходимый процент по запасу. Оценивали скорость и степень восстановления структуры древесного сообщества до прежнего состояния. Для оценки степени восстановления структуры древостоя после выборочной рубки использовали распределение деревьев по ступеням толщины, сравнивая его с первоначальным состоянием.

При проведении вычислительных экспериментов рассматривали интенсивность изъятия в размере 10%, 20%, 30% и 40% от общего запаса

древесины, что согласуется с рекомендациями к проведению добровольно-выборочных рубок. Согласно этим рекомендациям, интенсивность рубки составляет 15–20% через 8–15 лет, 21–30% через 15–30 лет, 40% с периодичностью 25–40 лет в зависимости от состояния насаждения и хода возобновления [3]. Результаты моделирования показали, что при такой интенсивности изъятия запас древостоя восстанавливается до прежнего состояния через 20, 35, 45 и 60 лет соответственно (рис. 1, красная линия).

Рассмотрим модельный сценарий процесса восстановления структуры древостоя при интенсивности изъятия 30% от общего запаса древесины. Изначально в процессе восстановления древостоя увеличивается число деревьев среднего диаметра от 20 до 32 см, что связано с улучшением условий освещения. При этом отсутствуют деревья последней ступени толщины (рис. 2б). В случае, когда запас древесины достигает первоначального значения (через 45 лет после рубки), структура древостоя не соответствует первоначальному состоянию, наблюдается незначительное число деревьев последней ступени толщины (рис. 2в). Восстановление структуры древостоя

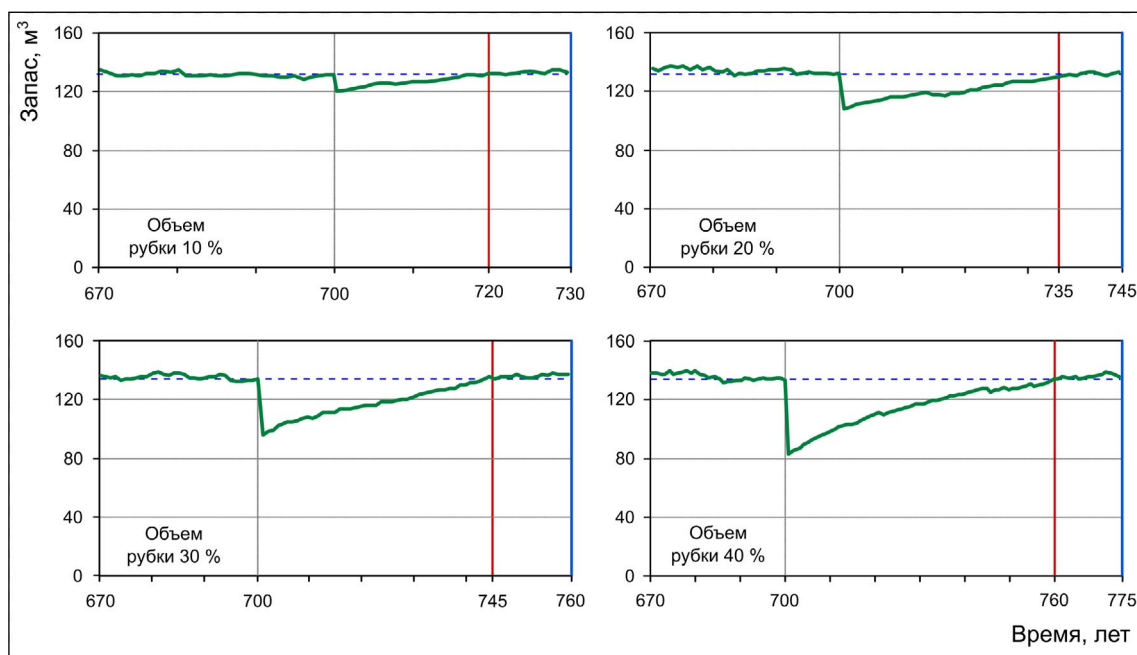


Рис. 1. Динамика запаса елового древостоя после выборочных рубок с разной интенсивностью изъятия древесины. Красная линия – время восстановления запаса, синяя линия – время восстановления структуры древостоя

Fig. 1. Dynamics of the spruce stands stock after selective cutting with different intensity of wood removal. The red line is the restoration time of the stock; the blue line is the restoration time of the stand structure

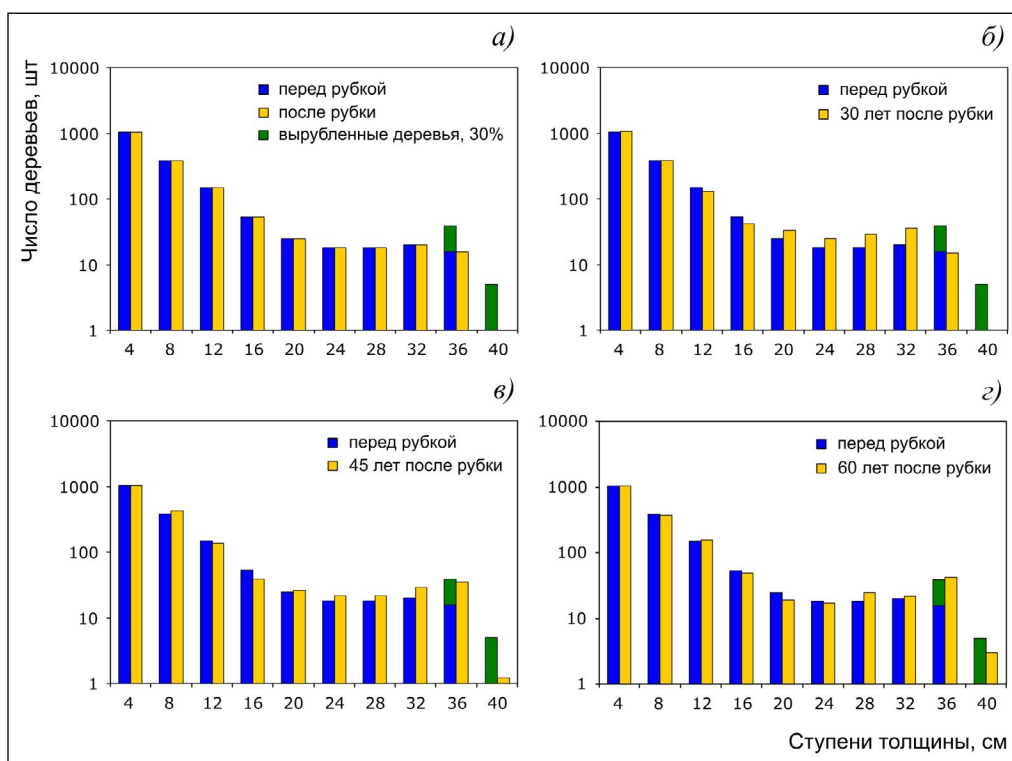


Рис. 2. Динамика распределения деревьев по ступеням толщины в процессе восстановления елового древостоя после рубки

Fig. 2. Dynamics of tree distribution by thickness grades in the process of restoration of spruce stands after felling

до исходного состояния наблюдается через 60 лет после рубки (рис. 2г). Результаты моделирования показали, что при интенсивности изъятия 10%, 20%, 30%, 40% для восстановления структуры древостоя необходимо 30, 45, 60 и 75 лет соответственно, что на 10–15 лет больше, чем для восстановления запаса (рис. 1, синяя линия).

Согласно полученным результатам моделирования, при существующих рекомендациях к проведению добровольно-выборочных рубок (15–20% через 8–15 лет, 21–30% через 15–30 лет, 40% с периодичностью 25–40 лет) запас древостоя не восстанавливается до первоначального состояния. В этом случае интервал между рубками меньше, чем полученные расчетные значения. Рассмотрим, как изменяются качественные и количественные характеристики вырубленной древесины при уменьшении интервала между рубками.

В табл. приведены результаты вычислительных экспериментов для 30% интенсивности изъятия. Из табл. видно, что при периодичности рубок 30 лет диаметр вырубленных деревьев незначительно уменьшается по сравнению с периодич-

ностью 45 лет, когда запас древостоя восстанавливается до своего максимального значения. При этом объем вырубленной древесины за одну рубку уменьшается, но частота эксплуатации участка увеличивается, что может быть выгодно при долгосрочном планировании. Дальнейшее уменьшение интервала между рубками приводит к более значительному уменьшению диаметров и запаса вырубленной древесины.

Таким образом, существующие рекомендации к проведению добровольно-выборочных рубок можно считать некоторым компромиссом, позволяющим увеличить частоту рубок на участке при сохранении качественных характеристик древесины.

Также были построены модельные сценарии восстановления запаса и структуры елового древостоя в зависимости от степени повреждения подроста в процессе выборочных рубок. Рассматривали сценарий выборочных рубок с интенсивностью изъятия 30% и периодичностью 40 лет при повреждении 70% подроста. Результаты моделирования показали, что повреждение подроста

Characteristics of selective cuttings with different frequency and removal volume 30%

Интервал между рубками	Объем изъятия за одну рубку, м ³	Максимальный диаметр вырубленных деревьев, см	Минимальный диаметр вырубленных деревьев, см
40 лет	39.5	37(1)*	31(3)
30 лет	35.8	36(21)	30(9)
20 лет	32.4	34(12)	30(17)
10 лет	26.1	34(3)	26(7)

Примечание: * – в скобках число деревьев

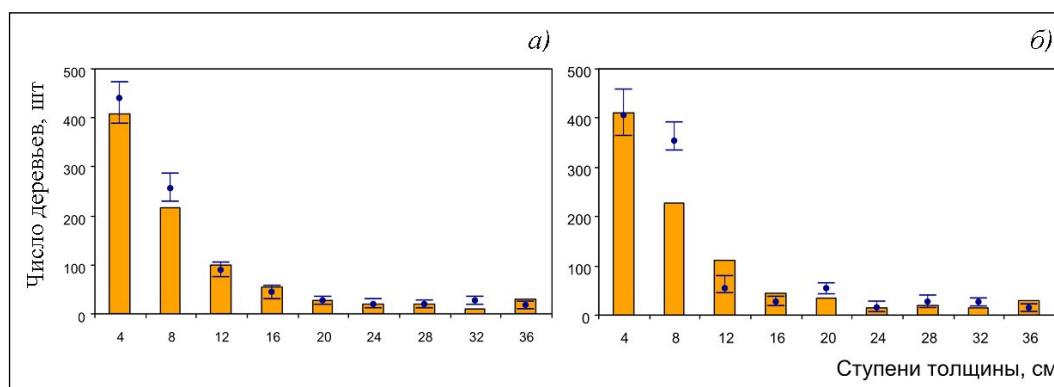


Рис. 3. Распределение деревьев по ступеням толщины через 40 лет после выборочной рубки с интенсивностью изъятия 30%: а) без повреждения подроста; б) 70% повреждения подроста. Столбики – распределение деревьев без воздействия рубок

Fig. 3. Distribution of trees by thickness grades in 40 years after selective logging with a removal intensity of 30%: a) without damage to the undergrowth; b) 70% damage to the undergrowth. Columns – distribution of trees without the impact of logging

в этом случае не оказывает влияния на скорость восстановление запаса. При этом происходят изменения в структуре древостоя. Существенно увеличивается число деревьев с диаметром ствола от 4 до 8 см и снижается количество деревьев с диаметром 8–16 см. Подрост до 4 см восстанавливается в полной мере. Распределение деревьев с диаметром выше 20 см также сохраняется.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Валяев В.Н. Выборочные и сплошнолесосечные рубки в Карелии (Сравнительная продуктивность). Петрозаводск: Карелия, 1984. 64 с.
2. Колобов А.Н. Моделирование пространствен-

но-временной динамики древесных сообществ: индивидуально-ориентированный подход // Лесоведение. 2014. № 5. С. 72–82. EDN: SQBXBF.

3. Корякин В.Н. Справочник для учета лесных ресурсов Дальнего Востока. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2010. 526 с.
4. Основные положения по рубкам главного пользования в лесах Российской Федерации. Приказ Федеральной службы лесного хозяйства России от 30.09.1993. № 260 // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.>

cntd.ru/document/9013066 (дата обращения: 10.03.2025).

5. Kolobov A.N., Frisman E.Y. Individual-based model of spatio-temporal dynamics of mixed forest stands // *Ecological Complexity*. 2016. Vol. 27. P. 29–39. DOI: 10.1016/j.ecocom.2015.10.002.

REFERENCES:

1. Valyaev V.N. *Vyborochnye i sploshnolesosechnye rubki v Karelii (Sravnitel'naya produktivnost')* Selective and continuous cutting in Karelia (Comparative productivity). Petrozavodsk: Kareliya Publ., 1984. 64 p. (In Russ.).
2. Kolobov A.N. Modeling of Spatiotemporal Dynamics of the Wooden Communities: Individual-Aligned Approach. *Lesovedenie*, 2014, no. 5. pp. 72–82. (In Russ.). EDN: SQBXBF.
3. Koryakin V.N. *Spravochnik dlya ucheta lesnykh resursov Dal'nego Vostoka* (Handbook for accounting of forest resources in the Far East). Khabarovsk: Dal'NIILKH, 2010. 526 p. (In Russ.).
4. Basic provisions on logging of the main use in the forests of the Russian Federation. Order of the Federal Forestry Service of Russia no. 260 dated 30.09.1993. *Elektronnyi fond pravovykh i normativno-tekhnicheskikh dokumentov*. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/9013066> (accessed: 10.03.2025). (In Russ.).
5. Kolobov A.N., Frisman E.Y. Individual-based model of spatio-temporal dynamics of mixed forest stands. *Ecological Complexity*, 2016, vol. 27, pp. 29–39. DOI: 10.1016/j.ecocom.2015.10.002.

SIMULATION MODELING OF SELECTIVE CUTTING IN THE SPRUCE FOREST STANDS OF THE RUSSIAN FAR EAST

A.N. Kolobov

The author has studied the process of the stock and structure of spruce stands restoration after selective cutting with different tree removal intensities, based on simulation modeling. The modeling results show that when the stock reaches the value which was before the cutting, the forest stand structure does not restore to its initial state. With a removal rate of 10–40%, the forest stand structure restoration requires 10–15 years more, than that of the stock.

Keywords: simulation model, selective felling, restoration of forest stand after felling, wood stock, tree stand structure

Reference: Kolobov A.N. Simulation modeling of selective cutting in the spruce forest stands of the Russian Far East *Regional'nye problemy*, 2025, vol. 28, no. 2, pp. 29–33. (In Russ.). DOI: 10.31433/2618-9593-2025-28-2-29-33.

Поступила в редакцию 21.04.2025

Принята к публикации 17.06.2025