

Леса России и хозяйство в них. 2026. № 2 (97). С. 90–96.

Forests of Russia and economy in them. 2026. № 2 (97). P. 90–96.

Научная статья

УДК 630*624.4

DOI: 10.51318/FRET.2026.97.2.008

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ДЕРЕВЬЕВ ПРИ РУБКАХ УХОДА В ЕЛОВО-БЕРЕЗОВЫХ МОЛОДНЯКАХ СЕВЕРО-ТАЕЖНОГО РАЙОНА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Сергей Викторович Коптев¹, Сергей Васильевич Третьяков²,
Никита Александрович Буньков³

¹⁻³ Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова,
Архангельск, Россия

^{1,2} Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства,
Архангельск, Россия

¹ s.koptev@narfu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5402-1953>

² s.v.tretyakov@narfu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5982-3114>

³ bunkov.na@edu.narfu.ru, <http://orcid.org/0009-0006-5216-8843>

Аннотация. В работе приведены результаты изучения закономерностей строения по диаметру елово-березовых молодняков вторичных генераций, произрастающих в Северо-таежном районе Архангельской области. Для проведения исследования использованы материалы пробных площадей, заложенных в елово-березовых молодняках, пройденных рубками ухода (прочистки) в соответствии с лесоводственными требованиями. Целью исследования являлась оценка структурных изменений насаждений и разработка модельных инструментов для оптимизации дифференциации деревьев при назначении в рубку. Установлено, что проведение рубок ухода с интенсивностью 38–40 % по количеству деревьев приводит к статистически достоверному (по критерию Колмогорова – Смирнова) изменению строения древостоев по диаметру. При этом достигается целевое изменение состава в пользу ели при полном сохранении ее текущего запаса. На основе данных перечета деревьев построены регрессионные модели связи диаметра у шейки корня с диаметром на высоте 1,3 м, высоты с диаметром. Полученные ряды распределения числа деревьев березы по грациям диаметра и их модели отражают продолжающиеся процессы дифференциации деревьев в результате ослабления внутривидовой и межвидовой конкуренции после проведения лесохозяйственных мероприятий. Результаты исследования позволяют разработать научно обоснованные подходы к назначению рубок ухода в елово-березовых молодняках с различным средним диаметром древостоя для Северо-таежного лесного района, а также могут быть использованы для повышения лесоводственной эффективности лесохозяйственных мероприятий и качества устойчивого лесопользования.

Ключевые слова: елово-березовые молодняки, рубки ухода, прочистки, ряды распределения числа деревьев по диаметру, модели

Благодарности: публикация подготовлена по результатам НИР, выполненных в рамках госзадания ФБУ «СевНИИЛХ» на проведение прикладных научных исследований в сфере

деятельности Федерального агентства лесного хозяйства (регистрационный номер темы: 123022800118–4).

Для цитирования: Коптев С. В., Третьяков С. В., Бунков Н. А. Дифференциация деревьев при рубках ухода в елово-березовых молодняках Северо-таежного района Архангельской области // Леса России и хозяйство в них. 2026. № 2 (97). С. 90–96.

Original article

TREE DIFFERENTIATION AT CLEAN CUTTING IN SPRUCE-BIRCH YOUNG FORESTS OF THE NORTHERN TAIGA DISTRICT, ARKHANGELSK REGION

Sergey V. Koptev¹, Sergey V. Tretyakov², Nikita A. Bunkov³

¹⁻³ Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia

^{1,2} Northern Research Institute of Forestry, Arkhangelsk, Russia

¹ bunkov.na@edu.narfu.ru, <http://orcid.org/0009-0006-5216-8843>

² s.koptev@narfu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5402-1953>

³ s.v.tretyakov@narfu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5982-3114>

Abstract. The paper presents the results of researching the structural patterns of the diameter of spruce-birch young forests of secondary generations growing in the Northern taiga district of the Arkhangelsk region. The research is based on data from sample plots established in young spruce-birch forests that have had clean cutting (thinning) in accordance with silvicultural requirements. The research aimed to assess the structural changes in the plantations and to develop model tools for optimizing tree differentiation when selecting trees for cutting. It was found that clean cutting with an intensity of 38–40 % by the number of trees leads to a statistically significant (according to the Kolmogorov-Smirnov criterion) change in the structure of forest stands by diameter. This achieves the target shift in species composition in favor of spruce while fully maintaining the current growing stock. Based on the data from the tree count, regression models were constructed for the relationship between the diameter at the root and the diameter at a height of 1,3 m, and the relationship between the height and the diameter. The obtained distribution series and their models reflect the ongoing processes of tree differentiation due to the weakening of intraspecific and interspecific competition following forestry interventions. The results of the research make it possible to develop scientifically based approaches to the designation of clean cutting in young spruce-birch forests with different average diameters for the northern taiga forest region, and also used to improve the silvicultural efficiency of forestry activities and the quality of sustainable forest management.

Keywords: spruce-birch young forests; mixed spruce-birch stands; clear cutting and thinning; tree diameter distribution rows, models

Acknowledgments: the publication is based on the results of research carried out within the framework of the state assignment of the Federal State Budgetary Institution “Northern Research Institute of Forestry” to conduct applied scientific research in the field of the Federal Forestry Agency (registration number of the topic: 123022800118-4).

For citation: Koptev S. V., Tretyakov S. V., Bunkov N. A. Tree differentiation at clean cutting in spruce-birch young forests of the Northern taiga district, Arkhangelsk region // Forests of Russia and economy in them. 2026. № 2 (97). P. 90–96.

Введение

Рубки ухода за лесом являются приоритетным лесоводственным мероприятием, сущность которого заключается в сохранении и формировании целевых насаждений в соответствии с условиями произрастания, а также повышении объемов и качества насаждений (Мелехов, 1989; Морозов, 1949). На Европейском Севере России значение рубок ухода многократно возрастает в связи с исторически сложившейся структурой лесного фонда за счет влияния экологических, биологических и антропогенных воздействий. Активное проведение сплошных концентрированных рубок во второй половине XX в. на территории Архангельской области привело к формированию больших площадей вторичных елово-березовых насаждений (Лесной план..., 2018). В большинстве случаев основная часть угнетенного елового древостоя остается под пологом березового (Сурина и др., 2020). Таким образом, изучение лесоводственных и таксационных аспектов рубок ухода в смешанных хвойных молодняках Северо-таежного района является важным направлением. При этом остается проблема разработки актуальных нормативов назначения и оценки рубок ухода в молодняках (Чибисов, 2010; Чибисов, 2018).

Цель, объекты и методы исследования

Целью исследования является изучение структурных изменений в смешанных елово-березовых молодняках после проведения в них рубок ухода (прочистки) для разработки критериев дифференциации деревьев при отборе в рубку и прогнозирования лесоводственной эффективности мероприятий, проводимых в Северо-таежном районе Архангельской области.

В состав Северо-таежного района Архангельской области входит 16 лесничеств с общей площадью лесов 14,5 млн га. Средняя доля покрытой лесом площади составляет $76,2 \pm 2,5$ % с колебанием от 58,3 до 91,1 %. По нашим расчетам общий средний прирост в расчете на 1 га составляет $1,26 \pm 0,1$ м³/га с колебанием от 0,36 до 2,0 м³/га. Доля хвойных насаждений варьирует в пределах 80–93 %, доля низкобонитетных насаждений

(IV класс и ниже) составляет в среднем 90 %. Фонд рубок ухода в молодняках составляет 390,7 тыс. га (Лесной план..., 2018).

Северо-таежный район Архангельской области не включен в зону интенсивного ведения лесного хозяйства. Требуется рассмотрение такой возможности путем научных обоснований, корректировки и разработки соответствующей нормативной базы назначения и оценки рубок ухода (Атрохин, Иевинь, 1985; Нормативы коммерческих рубок..., 2008).

Исследования проводили методом закладки пробных площадей в соответствии с общепринятыми методиками с учетом ОСТ 56-69-83 «Площади пробные лесоустроительные» (1984) в 2024 г. Объекты исследования заложены в елово-березовых молодняках вторичной генерации, пройденных рубками ухода в молодняках (объединенный вариант осветления и прочистки). Размеры пробных площадей определялись изменчивостью таксационного диаметра и необходимой точностью опыта.

На пробных площадях проводили учет срубленных деревьев, сложенных в кучи, по породам, диаметрам оснований и длине стволов. В целях установления связи диаметра основания с диаметром на высоте груди проводили измерения диаметров на высотах 0, 0,5, 1,0, 1,3 м. Пробные площади заложены в древостоях с разными средними диаметрами.

Полученные данные с пробных площадей соответствовали средним диаметрам березовой части древостоев 2,5 см (ПП 2) и 4,0 см (ПП 1). Данные для среднего диаметра 3,5 см, представленного в исследовании, получены методом интерполяции.

Результаты и их обсуждение

Строение древостоя по диаметру является ключевым признаком, позволяющим выявлять закономерности формирования насаждений, и служит основой для научного обоснования лесохозяйственных мероприятий (Морозов, 1949; Ткаченко, 1955).

Для перехода от измеренного при перечеде диаметра в комле D_0 к таксационному диаметру $D_{1,3}$

получены регрессионные модели для ели (1) и березы (2):

$$D_{1,3} = 0,1985D_0^{1,419}, R^2 = 0,995, \quad (1)$$

$$D_{1,3} = 0,8794D_0 - 0,523, R^2 = 0,990. \quad (2)$$

Модели позволяют рассчитывать таксационный диаметр по данным измерений в комле, что,

в свою очередь, упрощает учет срубленных деревьев, уложенных в кучи (Чибисов, 2018).

До проведения рубок ухода на пробных площадях сформировались смешанные березово-еловые насаждения (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Таксационные показатели исследуемых объектов
Forest inventory characteristics of the research objects

Средние показатели Average indicators	ПП № 1 до рубки SP № 1 before cutting		ПП № 1 после рубки SP № 1 after cutting		ПП № 2 до рубки SP № 2 before cutting			ПП № 2 после рубки SP № 2 after cutting		
	Е S	Б B	Е S	Б B	С P	Е S	Б B	С P	Е S	Б B
Состав древостоя Forest stand composition	6Б4Е 6Б4S		6Е4Б 6S4B		6Б3Е1С 6B3S1P			5Е4Б1С 5S4B1P		
Порода Species	Е S	Б B	Е S	Б B	С P	Е S	Б B	С P	Е S	Б B
Возраст, лет Age, years	30	25	30	25	25	35	25	25	35	25
Высота, м Height, m	3	5	3	5	3	2	4	3	2	4
Диаметр, см Diameter, cm	3,0	4,0	3,0	4,0	2,0	2,0	2,5	2,0	3,0	2,5
Количество деревьев, тыс. шт./га Number of trees, thousands/ha	3,2	4,8	3,0	2,0	0,8	3,0	6,8	0,8	2,9	2,6

Примечание. Е – ель; Б – береза; С – сосна.
Note. E – spruce; B – birch; C – pine.

На основе данных перечета деревьев на пробных площадях смоделированы ряды распределения числа деревьев березы по диаметру на высоте 1,3 м в процентах для трех средних диаметров древостоев. Указаны градации диаметров для оптимальной выборки при проведении ухода в молодняках для различных средних диаметров древостоев (табл. 2). Структура еловой части древостоя в ходе прочистки осталась неизменной.

С увеличением среднего диаметра древостоя в результате изъятия тонкомерной части деревьев происходит снижение доли тонкомерных деревьев диаметром от 0,5 до 2,5 см на 17–41 % от общего количества деревьев и увеличение доли деревьев в оставляемых градациях таксационных диаметров соответственно.

Для каждого полученного ряда распределения подобраны регрессионные уравнения, показывающие высокую точность аппроксимации (табл. 3).

Получено уравнение целевого диаметра $D_{ц}$ для выборки деревьев при рубках ухода в древостоях разных средних диаметров $D_{ср}$:

$$D_{ц} = 0,743 D_{ср} - 0,414. \quad (3)$$

Максимально возможные значения таксационных диаметров $D_{1,3\max}$ березы при разных средних диаметрах древостоев определяются по уравнению

$$D_{1,3\max} = 3,0189e^{0,241D_{ср}}. \quad (4)$$

Объемы стволов березы V в зависимости от таксационного диаметра определяли по уравнению

$$V = 0,0003D_{1,3}^{1,675}, R^2 = 0,94. \quad (5)$$

В целях статистической проверки гипотезы о значимости различий между полученными распределениями применялся критерий Колмогорова – Смирнова (Кобзарь, 2006). Полученные значения показывают статистическую достоверность различия в строении насаждений ели разного среднего диаметра.

Основным показателем для прогнозирования роста является модель связи высоты и таксацион-

ного диаметра. Получена общая средняя модель связи высоты H с таксационным диаметром:

$$H = 1,449LN(D_{1,3}) + 2,244, R^2 = 0,91. \quad (6)$$

Рубки ухода с интенсивность 38–40 % по количеству деревьев привели к целенаправленному изменению породного состава с лиственного на хвойное хозяйство и изменению структуры древостоя.

Таблица 2
Table 2

Ряды распределения числа деревьев березы по диаметру на высоте 1,3 м
Distribution of birch trees by diameter at breast height (DBH) classes

Диаметр на 1,3 м DBH, cm	Ряды распределения, % DBH class distribution, %			Средняя высота, м Average height, m	Объем ствола, м ³ Stem volume, m ³
	Д _{ср} – 2,5 см	Д _{ср} – 3,5 см	Д _{ср} – 4 см		
0,5	6,3	3,0	1,7	1,5	0,000200
1	11,0	6,5	3,3	2,5	0,000210
1,5	17,7	12,0	7,0	2,7	0,000545
2	18,4	17,0	12,0	3	0,000880
2,5	15,0	18,5	17,0	3,2	0,001465
3	10,5	13,5	17,0	3,5	0,002050
3,5	7,9	10,0	14,0	3,8	0,002900
4	5,3	7,0	10,0	4	0,003750
4,5	3,9	5,5	7,5	4,5	0,004970
5	2,6	4,0	6,0	5	0,006190
5,5	1,3	3,0	4,5	5,3	0,007000
Итого Total	100,0	100,0	100,0	–	–

Таблица 3
Table 3

Модели связи числа деревьев N с таксационным диаметром X
для различных уровней среднего диаметра древостоя
Models of the relationship between tree number N and taxation diameter X
for different average forest stand diameter levels

Средний диаметр, см Average diameter, cm	Коэффициенты уравнений Equation coefficients	Основная ошибка m_y Standard error of the estimate S_e	F-value
2,5	$N = (0,85 + 0,323X - 0,673X^2) / (1 - 0,687X + 0,206X^2)$	1,45	28
3,5	$LNN = (0,85 + 0,323X) / (1 - 0,499X + 0,131X^2)$	0,48	428
4,0	$N = (0,625 + 1,121X - 0,033X^2) / (1 - 0,633X + 0,123X^2)$	0,21	156

При проведении рубки изымались преимущественно деревья березы и тонкомерные, перспективные деревья ели. Запас березы сократился на 60–65 %, что соответствует лесоводственной задаче ослабления конкурентного влияния.

Средний объем ствола ели до и после рубки достоверно не изменился (критерий Стьюдента, $p > 0,05$): с $0,00205 \pm 0,00021$ до $0,00221 \pm 0,00022$ м³. В то же время средний объем ствола березы после рубки стал статистически существенно выше ($p > 0,05$): с $0,00206 \pm 0,00021$ до $0,00270 \pm 0,00027$ м³, что, в свою очередь, подтверждает выбор более крупных деревьев березы при рубке. Количество деревьев березы остается на приемлемом уровне, что дает возможность проводить рубки ухода и с более высокой интенсивностью.

Согласно полученным данным, можно сделать вывод о том, что для района исследований проведение рубок ухода в молодняках с интенсивностью изъятия в 38–40 % целесообразно. Основным таксационным критерием при отборе деревьев в рубку, помимо породы, должна быть относительная

позиция дерева в ряду распределения по диаметру. Следует проводить выборку деревьев из левой части кривых распределения.

Выводы

1. Полученные данные дифференциации числа деревьев по таксационному диаметру достоверно отражают структурные изменения после проведения рубок ухода в молодняках.

2. Установлена и статистически подтверждена закономерная связь между средним диаметром древостоя и распределением числа деревьев по ступеням диаметра. При увеличении среднего диаметра с 2,5 до 4,0 см отмечается правостороннее смещение модального значения диаметра и сокращение доли тонкомерных деревьев.

3. Выявленные закономерности и разработанные модели позволяют научно обосновать отбор деревьев при проведении рубки ухода в молодняках и служат основой для прогнозирования лесоводственной эффективности мероприятий.

Список источников

- Атрохин В. Г., Иевинь И. К. Рубки ухода и промежуточное лесопользование. М. : Агропромиздат, 1985. 255 с.
- Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М. : Физматлит, 2006. 816 с.
- Лесной план Архангельской области: утв. постановлением правительства Архангельской области от 26 декабря 2018 г. № 589-пп // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/462641881> (дата обращения: 18.12.2025).
- Мелехов И. С. Лесоводство. М. : Агропромиздат, 1989. 302 с.
- Морозов Г. Ф. Учение о лесе. 7-е изд. М. ; Л. : Гослесбумиздат, 1949. 455 с.
- Нормативы коммерческих рубок ухода (прореживание и проходные) для модели интенсивного и устойчивого ведения лесного хозяйства / Б. Д. Романюк, А. М. Кудряшова, А. А. Кнize [и др.] // Проект всемирного фонда дикой природы (WWF) «Псковский модельный лес». СПб., 2008. 84 с.
- ОСТ 56-69-83. Пробные площади лесоустойчивые. Метод закладки. М. : Центр. бюро науч.-техн. информ. Гослесхоза СССР, 1984. 60 с.
- Сурина Е. А., Минин Н. С., Дворяшин А. В. Меры по совершенствованию воспроизводства лесов (рубки ухода) в различных лесорастительных условиях северо-таежного лесного района Европейской части Российской Федерации // Лесная наука современности. VI Мелеховские научные чтения. Архангельск, 2020 С. 52–57.
- Ткаченко М. Е. Общее лесоводство. 2-е изд. М. ; Л. : Гослесбумиздат, 1955. 599 с.
- Чибисов Г. А. Лесоводственные основы рубок ухода в лесах европейского Севера // Проблемы таежного лесоводства : сб. науч.тр. СевНИИЛХ. Архангельск, 2010. С. 25–39.

Чибисов Г. А. Особенности роста и формирования молодняков на Европейском Севере и регулирование их плотности // Лесоведение. 2018. № 1. С. 45–55.

References

- Atrokhin V. G., Ievin I. K.* Thinning and Intermediate Forest Utilization. Moscow : Agropromizdat, 1985. 255 p.
- Chibisov G. A.* Growth and formation patterns of young forests in the European North and their density regulation // Russian Journal of Forest Science. 2018. № 1. P. 45–55. (In Russ.)
- Chibisov G. A.* Silvicultural foundations of thinning in the forests of the European North // Problems of Taiga Forestry : Collection of Scientific Papers of the Northern Research Institute of Forestry. Arkhangelsk, 2010. P. 25–39. (In Russ.)
- Forest Plan of the Arkhangelsk Region : Approved by the Decree of the Government of the Arkhangelsk Region № 589-pp dated December 26, 2018 // Electronic fund of legal and regulatory-technical documents : [website]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/462641881> (In Russ.)
- Kobzar A. I.* Applied Mathematical Statistics for Engineers and Scientists. Moscow : Fizmatlit, 2006. 816 p.
- Melekhov I. S.* Silviculture. Moscow : Agropromizdat, 1989. 302 p.
- Morozov G. F.* The Doctrine of the Forest. 7th ed. Moscow ; Leningrad : Goslesbumizdat, 1949. 455 p.
- OST 56-69-83. Forest Management Sample Plots. Method of Establishment. Moscow : Central Bureau of Scientific and Technical Information of the USSR State Forestry Committee, 1984. 60 p.
- Standards for Commercial Thinnings (Commercial Cleaning and Final Thinning) for the Model of Intensive and Sustainable Forest Management / *B. D. Romanyuk, A. A. Knize, S. V. Shinkevich* [et al.] // Pskov Model Forest (WWF) Project, Saint Petersburg, 2008. 84 p.
- Surina E. A., Minin N. S., Dvoryashin A. V.* Measures to improve forest reproduction (thinning) in various forest site conditions of the northern taiga forest region of the European part of the Russian Federation // Forest Science of Our Time. VI Melekhov Scientific Readings. Arkhangelsk, 2020. P. 52–57. (In Russ.)
- Tkachenko M. E.* General Silviculture. 2nd ed. Moscow ; Leningrad : Goslesbumizdat, 1955. 599 p.

Информация об авторах

С. В. Коптев – доктор сельскохозяйственных наук;
С. В. Третьяков – доктор сельскохозяйственных наук, профессор;
Н. А. Буньков – аспирант.

Information about the authors

S. V. Koptev – Doctor of Agricultural Sciences;
S. V. Tretyakov – Doctor of Agricultural Sciences, Professor;
N. A. Bunkov – Postgraduate student.

Статья поступила в редакцию 26.01.2026; принята к публикации 18.02.2026.

The article was submitted 26.01.2026; accepted for publication 18.02.2026.
