

УПРАВЛЕНИЕ ЛЕСАМИ, ЛЕСОУСТРОЙСТВО И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

FOREST MANAGEMENT, FOREST INVENTORY AND INFORMATION SYSTEMS IN FORESTRY

УДК 630*232

О. А. Севко¹, В. В. Коцан¹, А. А. Мусский²

¹Белорусский государственный технологический университет

²РУП «Белгослес»

ВЛИЯНИЕ ВНУТРИВИДОВОЙ И МЕЖВИДОВОЙ КОНКУРЕНЦИИ НА ТАКСАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДРЕВЕСНЫХ ПОРОД В СЛОЖНОМ ДРЕВОСТОЕ

В исследовании рассмотрены вопросы воздействия пространственной структуры сложного древостоя на его таксационные показатели. Межвидовые отношения в древостое оценивались на основании регрессионного анализа. Определены уравнения зависимости диаметра, высоты и радиального прироста стволов сосны и ели от таксационных показателей соседних деревьев различных пород и их размещения по площади.

Инструментально оценен радиальный прирост деревьев сосны и ели, а также выявлена его зависимость от изменения пространственной структуры древостоя в результате проведенной рубки. Точность исследования обусловлена использованием возможностей QGIS для обработки данных отсканированных кернов.

В результате обработки данных выявлено увеличение радиального прироста исследуемых стволов от 16 до 53% у ели и от 15 до 50% у сосны. Также анализ полученных данных показал, что прирост по объему после рубки для деревьев ели увеличился от 15 до 45%, что характеризует значительное влияние проведенной рубки. Для сосны увеличение прироста по объему варьирует от 1 до 35%.

Ключевые слова: текущий прирост, пространственная структура, сложный древостой, регрессионный анализ.

Для цитирования: Севко О. А., Коцан В. В., Мусский А. А. Влияние внутривидовой и межвидовой конкуренции на таксационные показатели древесных пород в сложном древостое // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2023. № 2 (270). С. 5–13. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-270-2-1.

O. A. Sevko¹, V. V. Kotsan¹, A. A. Musskiy²

¹Belarusian State Technological University

²Republican Unitary Enterprise “Belgosles”

THE IMPACT OF INTRASPECIFIC AND INTERSPECIFIC COMPETITION ON THE TAXATION INDICATORS OF TREE SPECIES IN A COMPLEX TREE STAND

The study examines the impact of the spatial structure of a complex tree stand on its taxation indicators. Interspecific relationships in stands were evaluated based on regression analysis. The equations of the dependence of the diameter, height and radial growth of pine and spruce trunks on the taxation indicators of neighboring trees of various breeds and their placement by area are determined.

The radial growth of pine and spruce trees has been instrumentally assessed, and its dependence on changes in the spatial structure of the stand as a result of logging has been revealed. The accuracy of the study is due to the use of Quantum GIS capabilities for processing scanned core data.

As a result of data processing, an increase in the radial growth of the studied trunks was revealed from 16 to 53% in spruce, and from 15 to 50% in pine. The calculation of the increase in the volume of the studied trunks showed that the increase in volume after felling for spruce trees increased from 15 to 45%, which characterizes the significant impact of the felling. For pine, the increase in volume growth varies from 1 to 35%.

Keywords: current growth, spatial structure, complex tree stand, regression analysis.

For citation: Sevko O. A., Kotsan V. V., Musskiy A. A. The impact of intraspecific and interspecific competition on the taxation indicators of tree species in a complex tree stand. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2023, no. 2 (270), pp. 5–13. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-270-2-1 (In Russian).

Введение. Исследования межвидовых и внутривидовых отношений между деревьями в сложных древостоях позволяет выявить степень их влияния на таксационные показатели деревьев различных пород, а также возможность воздействия на прирост древостоя при проведении рубок в нем. В исследовании А. А. Вайса отмечено, что отношения между деревьями различных пород оцениваются либо без учета характеристик центрального дерева, но с выявлением оптимального радиуса влияния; либо с учетом характеристик центрального дерева, но без выявления оптимального радиуса влияния [1].

В. А. Усольцев и М. М. Семышев в своих работах объединили оба подхода. Они оценили влияние нескольких показателей конкуренции на фитомассу и прирост ствола с учетом его таксационных характеристик, при этом установили оптимальный радиус влияния [2].

В исследованиях ряда авторов для оценки внутривидовых и межвидовых отношений, а также конкуренции между произрастающими рядом деревьями используется показатель, дающий количественное выражение конкурентных отношений. В работах С. Н. Сеннова, В. В. Копана, О. А. Севко предлагается использовать индекс конкуренции (CI) для вычисления изменчивости биологической продуктивности деревьев в насаждении [3–6].

При этом использование понятия «пространственная структура» и ее учет при оценке взаимоотношений внутри древостоя становятся закономерными [1, 2, 6, 7].

В результате исследований смешанных насаждений В. Я. Грибанов и И. В. Прокопцев пришли к выводу, что горизонтальная структура в молодых и средневозрастных насаждениях соответствует групповому распределению, а в спелых и созревающих лесах наблюдается равномерное расположение растений [8].

Динамика таксационных показателей в сложных сосново-березовых насаждениях исследуется во многих белорусских и зарубежных литературных источниках [9–11]. Актуальность данных исследований обуславливается большей устойчивостью этих древостоев к заболеваниям

и вредителям, чем чистых сосняков. Анализ динамики усыхания чистых и смешанных сосновых древостоев в условиях массового повреждения, проведенный А. В. Пупенко и О. А. Севко, показал большую устойчивость смешанных древостоев. При практически равных долях чистых и смешанных древостоев в лесном фонде исследуемых лесхозов в подавляющем большинстве случаев (91%) усыхают чистые сосновые древостои [12].

В работах И. Н. Рахтеенко указывается, что, являясь основной сопутствующей породой в сосновых насаждениях, береза оказывает значительное влияние на сосновую часть древостоя [13], при этом характер влияния березовой части на развитие деревьев сосны в сложных и смешанных насаждениях зависит в большей степени от состава насаждений. Оптимальной считается примесь до 20–30% березы. В этом случае она оказывает положительное влияние на рост и развитие сосны, выступая в качестве здорового конкурента и подгона. Увеличение примеси березы в составе древостоя оказывает угнетающее действие на сосну.

Однако в спелом возрасте для сосново-березовых древостоев характерно появление жизнеспособного подроста ели с последующим образованием второго яруса. Исследования О. А. Неволина и О. О. Ереминой подтверждают данный тезис [14]. При этом характерен переход в сложные насаждения только при развитии елового подроста, так как ель является теневыносливым древесным видом.

Естественное возобновление ели в подзоне грабово-дубово-темнохвойных лесов и дубово-темнохвойных лесов рассмотрено в работах К. В. Лабохи и Д. В. Шимана [15]. Авторы пришли к выводу, что под пологом приспевающих и спелых насаждений естественное возобновление ели обеспечивается на 47,7 и 45,5% соответственно.

В изданиях В. Н. Коновалова и В. Л. Зарубиной [16, 17], исследовавших изменения жизнедеятельности ели в чернично-березовом лесу, отмечено, что максимальная скорость роста ели наблюдается в 8-летнем березняке. С увеличением возраста березы ель из второго яруса показывает

дефицит солнечной энергии, что приводит к снижению ростовых процессов. Самый низкий рост и развитие у ели наблюдается при достижении зрелости березы. Для поддержания высокой жизнедеятельности ели в березовых лесах необходимо своевременно проводить сопутствующие рубки ухода.

Остается актуальным вопрос оценки проводимых в сложных древостоях хозяйственных мероприятий и их влияния на таксационные показатели растущей части древостоя, а также численного выражения внутривидовой и межвидовой конкуренции в древостое.

Основная часть. Исследование внутривидовой и межвидовой конкуренции на таксационные показатели древесных пород проводилось в сложном сосново-березовом древостое со вторым ярусом ели. Данные для анализа были получены в 27-м выделе 50-го квартала Негорельского учебно-опытного лесхоза, который представляет собой постоянную пробную площадь № 24 кафедры лесоустройства, заложенную в 1998 г. Повторные исследования стационара проводились в 2003, 2009, 2012, 2014 и 2020 гг. В 2013 г., после ветровала, часть пострадавших стволов была вырублена.

На пробной площади в начале исследования присутствовало 370 деревьев сосны, березы, ели и осины. На данный момент на пробной площади находится 331 дерево, причем за прошедший период подрост ели, который присутствовал в 1998 г. частично перешел во второй ярус. При этом незначительно изменился породный состав: сократилось количество деревьев осины и березы вследствие ветровала 2013 г., увеличилось количество ели в результате ее перехода из подростка во второй ярус (табл. 1).

При каждом исследовании на пробной площади для каждого дерева определялись порода, координаты X и Y в условной системе координат, возраст, состояние по Крафту, два перпендикулярных диаметра на высоте 1,3 м с вычислением среднего (D), высота ствола (H), четыре перпендикулярных радиуса кроны (R) с вычислением среднего радиуса кроны (K) и ее протяженность. Более 20 лет наблюдений позволяют с определенной достоверностью говорить о приросте стволов. В ходе исследования по разнице значений диаметров стволов был рассчитан годичный и средний радиальный прирост за этот период (Z).

На основании данных координат деревьев с помощью компонентов QGIS в результате обработки была сформирована карта-схема расположения деревьев на постоянной пробной площади (рис. 1).

Данная электронная карта отображает пространственное расположение деревьев и содержит

атрибутивные данные об их таксационной характеристике, что позволяет в дальнейшем использовать возможности ГИС для определения параметров пространственной структуры и построения регрессионных уравнений связи с таксационными показателями исследуемых деревьев. Дополнительные слои позволяют построить карты перекрытий кругов конкуренции, диаметры которых были приняты равными среднему диаметру кроны, а также карту перекрытия самих кроны.

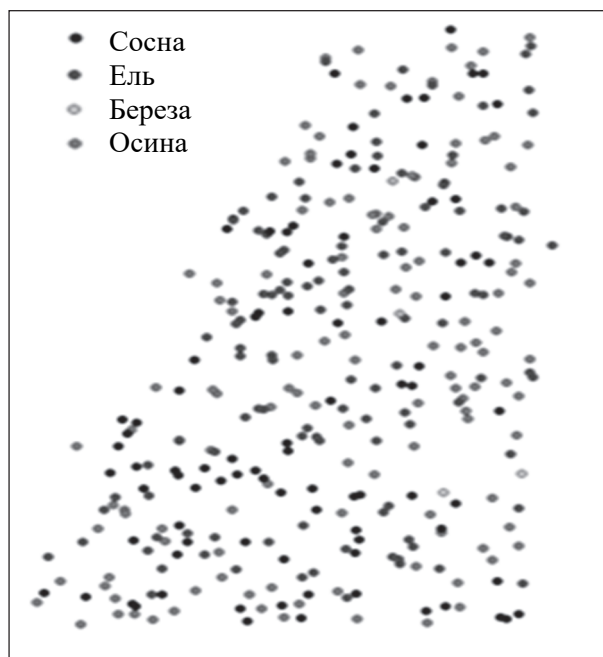


Рис. 1. Цифровая карта пробной площади

С помощью электронной карты на первом этапе были отобраны стволы, находящиеся либо рядом с пнями, либо под видимым воздействием соседних деревьев, т. е. наблюдалось перекрытие их кроны и кругов конкуренции соседних деревьев.

Для первых с помощью приростного бура были получены керны для последующего детального исследования прироста. Для вторых определялись ближайшие деревья-соседи, находящиеся в круге влияния или круге конкуренции центральных деревьев.

Для всех деревьев, которые влияют на исследуемое, с помощью инструментов QGIS измерялись расстояния до него (L), которые в последствии вместе со всеми ранее определенными таксационными показателями соседних деревьев заносились в сводную таблицу для анализа с помощью пакета программ Statistica 13. На основании собранных данных проводился анализ внутри- и межвидового влияния деревьев друг на друга, а также влияния отпада или возможных рубок отдельных деревьев на соседние.

Таблица 1

Таксационные показатели древостоя в 2022 г.

Средние показатели растущего древостоя						Средние показатели сухостоя	
Порода	Возраст, лет	Диаметр, см	Высота, м	Сумма площадей сечений, м ²	Запас, м ³	Сумма площадей сечений, м ²	Запас, м ³
Сосна	69	32,1	26,1	23,7	281,9	0,2	3,0
Ель	49	22,2	17,1	7,4	85,4	0	0
Береза	64	32,5	25,9	16,4	205,1	0,2	7,7
Осина	64	37,2	25,7	0,5	6,7	0	0
Всего	—	—	—	48,1	579,1	0,9	10,7

Анализ отобранных в качестве «центральных деревьев» сосен показал, что у большинства радиальный прирост за 10 лет составил 8–10 мм, минимум деревьев представлен с приростом 12–14 и 16–18 мм. Высота отобранных деревьев сосны варьирует от 23 до 26 м, диаметр от 18 до 38 см, при этом максимум центральных сосен представлен с радиусом кроны 6,0–6,5 м. Расстояние от центральных сосен до соседних деревьев чаще всего составляет от 4 до 6 м, реже 1–2 или 9–10 м.

С помощью регрессионного анализа было оценено влияние пространственной структуры и средних таксационных показателей соседних деревьев на таксационные показатели центральных деревьев сосны (диаметр D , высота H , радиальный прирост Z и средний радиус крон K (табл. 2)).

Результаты расчетов показывают, что влияние деревьев сосны друг на друга в данном насаждении не велико (коэффициенты детерминации не более 0,541), в приспевающем древостое достаточно большие расстояния между стволами не позволяют оказывать влияние друг на друга. Влияние соседних сосен значимо лишь на диаметры крон центральных деревьев. Это

лишний раз доказывает, что данный параметр можно оценивать в пределах кругов конкуренции. Аналогично малое влияние на центральные деревья сосны оказывается соседними деревьями березы. Однако между таксационными показателями соседних деревьев ели и центральных сосен в насаждении наблюдается тесная корреляция, а следовательно, и конкурентное взаимодействие (коэффициенты детерминации для уравнений связи диаметров стволов и радиусов крон с пространственной структурой составляют соответственно 0,907 и 0,936).

Аналогичное исследование было проведено для центральных деревьев ели. Наибольшее количество стволов имеет за 10 лет радиальный прирост от 18 до 20 мм, наименьшее количество – 24–26 мм. Диаметры центральных елей варьируют от 11,5 до 14 см, высота – от 16 до 21 м, радиусы крон – от 1,5 до 7,0 м. При этом расстояние от центральных елей до соседних деревьев изменяется от 1,5 до 6 м. Найдены зависимости таксационных показателей деревьев ели от средних значений таксационных показателей соседних деревьев (табл. 3).

Таблица 2

Модели зависимости таксационных показателей центральных деревьев сосны от параметров соседних деревьев

Показатель	Модель	Дисперсия D	Коэффициент детерминации R^2
От соседних деревьев сосны			
Z_{c1}	$b_0 + b_1 / L_c^3 + b_2 / D_{c1}^3 + b_3 \cdot H_{c1}^3$	0,258	0,508
D_{c1}	$b_0 + b_1 / L_c + b_2 \cdot D_{c1} + b_3 \cdot H_{c1}$	0,293	0,541
H_{c1}	$b_0 + b_1 \cdot L_c + b_2 \cdot D_{c1} + b_3 \cdot H_{c1} + b_4 / R_{c1}$	0,071	0,267
K_{c1}	$b_0 + b_1 \cdot L_c^2 + b_2 \cdot D_{c1} + b_3 \cdot H_{c1} + b_4 / R_{c1}$	0,459	0,677
От соседних деревьев березы			
Z_{c2}	$b_0 + b_1 \cdot L_c + b_2 / D_{c2}^2 + b_3 / H_{c2}^3 + b_4 / R_{c2}^4$	0,211	0,460
D_{c2}	$b_0 + b_1 \cdot L_c^2 + b_2 / D_{c2}^3 + b_3 / H_{c2}^4 + b_4 \cdot R_{c2}^5$	0,256	0,506
H_{c2}	$b_0 + b_1 \cdot L_c + b_2 \cdot D_{c2}^3 + b_3 / H_{c2}^4 + b_4 / R_{c2}^5$	0,640	0,800
K_{c2}	$b_0 + b_1 \cdot L_c^2 + b_2 / D_{c2}^{1,9} + b_3 / H_{c2}^3 + b_4 \cdot R_{c2}$	0,424	0,651
От соседних деревьев ели			
Z_{c3}	$b_0 + b_1 / L_c + b_2 \cdot D_{c3} + b_3 / H_{c3} + b_4 / R_{c3}$	0,425	0,652
D_{c3}	$b_0 + b_1 \cdot L_c^2 + b_2 / D_{c3} + b_3 / H_{c3} + b_4 / R_{c3}$	0,822	0,907
H_{c3}	$b_0 + b_1 \cdot L_c^2 + b_2 / D_{c3}^3 + b_3 / H_{c3}^4 + b_4 / R_{c3}^5$	0,321	0,567
K_{c3}	$b_0 + b_1 \cdot L_c^2 + b_2 \cdot D_{c3}^{1,9} + b_3 \cdot H_{c3} + b_4 \cdot R_{c3}$	0,875	0,936

Примечание. b_i – свободные члены уравнения.

Таблица 3

Модели зависимости таксационных показателей центральных деревьев ели от параметров соседних деревьев

Показатель	Модель	Дисперсия D	Коэффициент детерминации R^2
От соседних деревьев ели			
Z_{e1}	$b_0 + b_1 \cdot L_e^2 + b_2 / D_{e1}^3 + b_3 \cdot H_{e1}^4 + b_4 \cdot R_{e1}^5$	0,469	0,685
D_{e1}	$b_0 + b_1 \cdot L_e^2 + b_2 / D_{e1}^3 + b_3 / H_{e1}^4 + b_4 / R_{e1}^5$	0,116	0,341
H_{e1}	$b_0 + b_1 \cdot L_e + b_2 \cdot D_{e1}^3 + b_3 \cdot H_{e1}^4 + b_4 \cdot R_{e1}^5$	0,190	0,436
K_{e1}	$b_0 + b_1 \cdot L_e^2 + b_2 / D_{e1}^{1,9} + b_3 / H_{e1}^4 + b_4 \cdot R_{e1}^4$	0,251	0,502
От соседних деревьев березы			
Z_{e2}	$b_0 + b_1 \cdot L_e^2 + b_2 / D_{e2}^3 + b_3 \cdot H_{e2}^4 + b_4 \cdot R_{e2}^5$	0,871	0,933
D_{e2}	$b_0 + b_1 \cdot L_e^2 + b_2 \cdot D_{e2}^3 + b_3 \cdot H_{e2}^4 + b_4 \cdot R_{e2}^5$	0,210	0,459
H_{e2}	$b_0 + b_1 \cdot L_e + b_2 \cdot D_{e2}^3 + b_3 \cdot H_{e2}^4 + b_4 \cdot R_{e2}^5$	0,334	0,578
K_{e2}	$b_0 + b_1 \cdot L_e^2 + b_2 \cdot D_{e2}^3 + b_3 \cdot H_{e2}^4 + b_4 \cdot R_{e2}^5$	0,217	0,466
От соседних деревьев сосны			
Z_{e3}	$b_0 + b_1 \cdot L_e + b_2 \cdot D_{e3}^3 + b_3 \cdot H_{e3}^4 + b_4 \cdot R_{e3}^5$	0,391	0,625
D_{e3}	$b_0 + b_1 \cdot L_e^2 + b_2 / D_{e3}^3 + b_3 / H_{e3} + b_4 / R_{e3}$	0,886	0,941
H_{e3}	$b_0 + b_1 \cdot L_e + b_2 \cdot D_{e3}^3 + b_3 \cdot H_{e3}^4 + b_4 / R_{e3}^5$	0,136	0,369
K_{e3}	$b_0 + b_1 \cdot L_e^2 + b_2 / D_{e3}^{1,9} + b_3 / H_{e3}^4 + b_4 / R_{e3}^5$	0,847	0,921

Основываясь на полученных результатах, можно сделать вывод, что конкуренция между елями не высокая. Уравнения зависимости таксационных показателей центральных деревьев ели от деревьев-соседей имеют невысокие коэффициенты детерминации (самый большой наблюдается для уравнения связи радиального прироста с таксационными показателями соседних елей: $R^2 = 0,685$). Аналогично можно оценить и зависимость центральных елей от соседних берез. Только для уравнения связи радиального прироста центральных елей с таксационными показателями соседних берез наблюдается высокое значение коэффициента детерминации: $R^2 = 0,933$.

Влияние соседних сосен на центральные деревья ели значительно больше. Наблюдается четкая корреляция значений диаметров и радиусов крон ели с показателями сосен ($R^2 = 0,941$ и $R^2 = 0,921$ соответственно), зависимость радиального прироста также прослеживается.

Анализ влияния пространственной структуры в сложном древостое на исследуемые деревья показал, что в уравнениях связи прослеживается наибольшая и стабильная зависимость диаметров стволов и радиусов крон от таксационных показателей и расстояний до соседних деревьев между такими породами, как сосна (находящаяся в 1-м ярусе) и ель (2-й ярус).

Влияние проведенных рубок на таксационные показатели растущих деревьев ели определялось двумя способами. Первый способ – обработка данных с резким (в 2 и более раз) изменением радиального прироста в соседние годы, при этом рассчитывалось, на сколько процентов изменился прирост по диаметру и объему

после рубки у деревьев, находящихся непосредственно рядом с пнями. Второй способ – проводилось исследование среднепериодического прироста в программе Statistica 13. Для этого использовались данные тех деревьев на постоянной пробной площади, которые пусть и косвенно, но подвергались влиянию рубки.

В соответствии с первым методом для детального исследования радиального прироста стволов, находящихся около пней, приростным буравом брались керны (рис. 2).



Рис. 2. Измерение ширины годичных слоев

Обработка кернов проводилась в программе QGIS с увеличением и масштабированием для избегания ошибок. Измерялся каждый слой начиная с крайнего от коры для деревьев сосны (рис. 3) и ели (рис. 4).

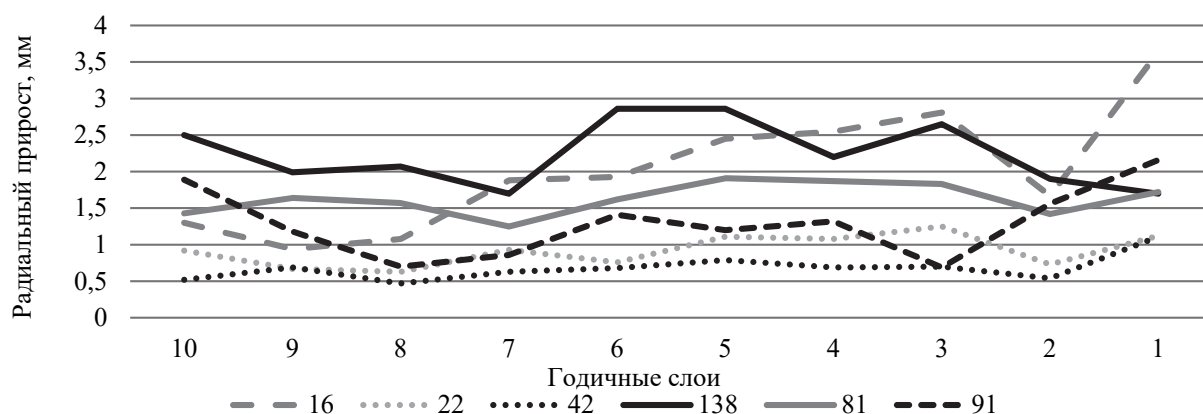


Рис. 3. Изменение годичного радиального прироста деревьев сосны

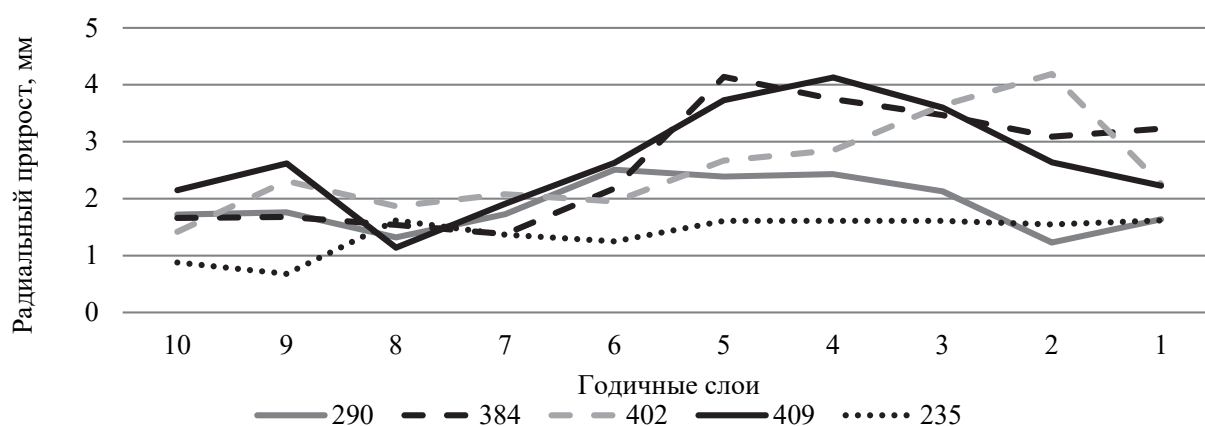


Рис. 4. Изменение годичного радиального прироста деревьев ели

Далее определялись средние значения ширины слоев до и после рубки для деревьев сосны и ели. Рассчитывался средний периодический радиальный прирост каждого дерева до рубки и после. Впоследствии вычислялся процент увеличения радиального прироста.

В результате исследования выявлено увеличение радиального прироста исследуемых стволов от 16 до 53% у ели и от 15 до 50% у сосны (табл. 4).

Вычисление процента прироста по объему исследуемых стволов проводилось по методу Шнейдера на основании ширины годичного слоя и диаметра на высоте 1,3 м. С учетом процента прироста определялся абсолютный прирост по объему исследуемых стволов.

Вычисления показали, что прирост по объему после рубки для деревьев ели увеличился от 15 до 45%, т. е. влияние проведенной рубки значительное.

Таблица 4

Изменение среднепериодического радиального прироста исследуемых стволов

Показатель	Среднепериодический радиальный прирост				
	Номера деревьев ели				
	290	384	402	409	235
До рубки, мм	1,63	1,56	1,95	1,69	1,17
После рубки, мм	1,93	3,31	2,73	3,16	1,62
Увеличение прироста, %	16	53	29	47	28

Окончание табл. 4

Показатель	Среднепериодический радиальный прирост					
	Номера деревьев сосны					
	16	22	42	138	81	91
До рубки, мм	1,25	0,79	0,58	1,81	1,47	1,16
После рубки, мм	2,51	1,01	0,75	2,36	1,73	1,39
Увеличение прироста, %	50	22	23	23	15	17

Таблица 5

Данные увеличения прироста по объему

Номер дерева	Прирост по объему				Увеличение прироста по объему, %
	до рубки, м³	до рубки, %	после рубки, м³	после рубки, %	
Для деревьев сосны					
16	0,10	29,33	0,22	64,09	34,77
22	0,10	11,98	0,14	16,14	4,16
42	0,09	8,50	0,13	11,15	2,65
138	0,29	46,08	0,31	51,43	5,35
81	0,28	22,93	0,30	24,61	1,68
91	0,14	29,41	0,14	30,75	1,35
Для деревьев ели					
290	0,09	54,89	0,12	68,90	14,02
384	0,09	50,27	0,17	93,77	43,50
402	0,09	80,43	0,13	113,51	33,08
409	0,07	88,48	0,11	133,91	45,43
235	0,05	40,89	0,05	58,52	17,63

Для сосны увеличение прироста по объему ощутимо варьирует от 1 до 35%, что, вероятно, связано с большим возрастом деревьев, их диаметром и различными расстояниями от пней (табл. 5).

Можно сделать вывод, что рубка соседних деревьев позволяет заметно увеличить прирост остающейся части древостоя (до 50% радиального прироста и 45% по объему). Однако детальное исследование показало, что прирост деревьев ели начинается через год после рубки, увеличиваясь почти в 2 раза и затем постепенно понижаясь до предыдущего уровня в течение последующих пяти лет.

Для оптимизации процесса лесовыращивания и достижения максимальных показателей радиального прироста и прироста по объему следует учитывать влияние пространственной структуры при проектировании мероприятий по возобновлению древостоев. Также пространственную структуру нужно учитывать при проведении рубок ухода в смешанных насаждениях для снижения отрицательного влияния конкуренции между различными породами и улучшения состава.

Заключение. Исследование показало: 1) существует достаточно видимый эффект при изменении пространственной структуры древостоя в результате рубок ухода; 2) эффект от рубок для ели прекращается через 5–6 лет после рубки;

3) наблюдаются достаточно выраженные зависимости между деревьями, находящимися в кругах конкуренции, что особо важно при межвидовом влиянии.

Результаты обработки экспериментальных данных показали, что изменение пространственной структуры после проведения рубок ухода позволяет увеличить радиальный прирост до 50%, а следовательно, и прирост по объему растущих стволов на 45%. Полученные цифры позволяют оценить уровень значимости и эффективности проводимых рубок ухода и, как следствие, оптимизировать в дальнейшем планирование рубок ухода для максимизации прироста древостоев.

Основываясь на результатах исследований, можно рекомендовать обновление и уточнение нормативов рубок ухода, обосновать оптимальную повторяемость и интенсивность, а также порядок отбора деревьев в рубку.

Создание оптимальной пространственной структуры древостоев при проведении рубок ухода даст возможность оптимизировать отбор деревьев в рубку, что, в свою очередь, будет способствовать улучшению качества растущих деревьев и увеличению количества получаемых сортиментов, а также позволит формировать максимально продуктивные насаждения в более короткие сроки.

Список литературы

1. Вайс А. А. Научные основы оценки горизонтальной структуры древостоев для повышения их устойчивости и продуктивности: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.02. Красноярск, 2014. 25 с.
2. Усольцев В. А., Семьшев М. М. Продукционные характеристики с учетом конкуренции деревьев в искусственных и естественных сосняках: сравнительный анализ. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 137 с.
3. Сеннов С. Н. Итоги экспериментального изучения конкуренции в древостоях // Изв. С.-Петерб. лесотехн. акад. 1993. № 11. С. 160–172.
4. Коцан В. В. Взаимосвязи между таксационными показателями деревьев в кругах конкуренции на примере сосняков мшистых искусственного происхождения // Труды БГТУ. 2014. № 1: Лесное хоз-во. С. 19–22.

5. Севко О. А., Пупенко А. В. Влияние пространственной структуры сосново-березовых древостоев на таксационные показатели деревьев сосны // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2017. № 3. С. 37–42.
6. Севко О. А. Оценка зависимости текущего прироста сосновой части смешанных сосновоберезовых древостоев от их пространственной структуры // Труды БГТУ. 2015. № 1: Лесное хоз-во. С. 41–45.
7. Коцан В. В. Классификация деревьев на основании пространственной структуры при назначении в рубки ухода // Труды БГТУ. 2015. № 1: Лесное хоз-во. С. 24–27.
8. Грибанов В. Я. Пространственная структура сосновых и лиственных деревьев // Продуктивность лесных фитоценозов. Красноярск, 1984. С. 42–47.
9. Мирошников В. С. Сосново-березовые насаждения БССР, их строение, лесоводственное и хозяйственное значение: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.02. Минск, 1955. 21 с.
10. Романов В. С. Изучение сосново-березовых культур в лесах БССР: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.02. Минск, 1956. 18 с.
11. Попов В. К. Сосново-березовые культуры Центральной лесостепи. Воронеж: Квадрат, 1997. 224 с.
12. Севко О. А., Пупенко А. В. Сравнительный анализ показателей чистых и смешанных сосновых насаждений в условиях массового усыхания в подзоне широколиственно-сосновых лесов Беларуси // Лесное хозяйство: тез. докл. 82-й науч.-техн. конф. профес.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов (с междунар. участием), Минск, 1–14 февр. 2019 г. Минск, 2019. С. 18.
13. Рахтеенко И. Н., Мартинович Б. С., Крот Л. А. Взаимоотношения древесных пород в чистых и смешанных насаждениях // Эколого-физиологические основы взаимодействия растений в фитоценозах. Минск: Наука и техника, 1976. 116 с.
14. Неволлин О. А., Еремина О. О. Подрост и его значение в формировании высокопродуктивных сосновых лесов Европейского Севера России // Лесной журнал. 1998. № 4. С. 12–18.
15. Лабоха К. В., Шиман Д. В. Особенности естественного возобновления под пологом приспевающих и спелых еловых насаждений на почвах недостаточного и умеренного увлажнения // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во. 2010. Вып. XVIII. С. 72–75.
16. Коновалов В. Н., Зарубина Л. В. Оценка жизнеспособности ели в березняке черничном в процессе его возрастного развития // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2016. № 5 (353). С. 44–60.
17. Зарубина Л. В. Рост подпологового возобновления ели на вырубках березняка черничного // Изв. С.-Петербург. лесотехн. акад. 2016. № 216. С. 58–68.

References

1. Vays A. A. *Nauchnyye osnovy otsenki gorizontal'noy stryktury drevostoyev dlya povysheniya ikh ustoychivosti i produktivnosti. Avtoreferat dissertatsii doktora sel'skohozyaystvennykh nauk* [Scientific basis for assessing the horizontal structure of forest stands for increasing their stability and productivity. Abstract of thesis DSc (Agriculture Science)]. Krasnoyarsk, 2014. 25 p. (In Russian).
2. Usoltsev V. A., Semyshev M. M. *Produksionnyye kharakteristiki s uchetom konkurentsii derev'yev v iskusstvennykh i estestvennykh sosnyakakh: sravnitel'nyy analiz* [Productive characteristics taking into account the competition of trees in artificial and natural pine forests: a comparative analysis]. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 2007. 137 p. (In Russian).
3. Sennov S. N. Results of an experimental study of competition in stands. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [News of the St.-Petersburg Forestry Engineering Academy], 1993, no. 11, pp. 160–172 (In Russian).
4. Kotsan V. V. The relationship between taxation indicators of trees in the circles of competition on the example of mossy pine forests of artificial origin. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 1: Forestry, pp. 19–22 (In Russian).
5. Sevko O. A., Pupenko A. V. Influence of the spatial structure of pine-birch forest stands on taxation indicators of pine trees. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2023, no. 2, pp. 37–42 (In Russian).
6. Sevko O. A. Assessment of the dependence of the current growth of the pine part of mixed pine-birch stands on their spatial structure. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 1: Forestry, pp. 41–45 (In Russian).
7. Kotsan V. V. Classification of trees based on spatial structure when assigned to thinning. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 1: Forestry, pp. 24–27 (In Russian).
8. Griбанov V. Ya. The spatial structure of pine and deciduous trees. *Produktivnost' lesnykh fitotsenozov* [Productivity of forest phytocenoses]. Krasnoyarsk, 1984, pp. 42–47 (In Russian).

9. Miroshnikov V. S. *Sosnovo-berezovyye nasazhdeniya BSSR, ikh stroyeniye, lesovodstvennoye i khozyaystvennoye znachenie: avtoreferat dissertatsii kandidata sel'sk Khozyaystvennykh nauk* [Pine-birch plantations of the BSSR, their structure, silvicultural and economic significance. Abstract of thesis PhD (Agriculture)]. Minsk, 1955. 21 c. (In Russian).
10. Romanov V. S. *Izucheniye sosnovo-berezovykh kul'tur v lesakh BSSR: avtoreferat dissertatsii kandidata sel'sk Khozyaystvennykh nauk* [The study of pine-birch crops in the forests of the BSSR. Abstract of thesis PhD (Agriculture)]. Minsk, 1956. 18 p. (In Russian).
11. Popov V. K. Pine-birch cultures of the Central forest-steppe. *Sosnovo-berezovyye kul'tury Tsentral'noy lesostepi*. Voronezh, Kvadrat Publ., 1997. 224 p. (In Russian).
12. Sevko O. A., Pupenko A. V. Comparative analysis of indicators of pure and mixed pine plantations in conditions of mass drying in the subzone of broad-leaved pine forests of Belarus. *Lesnoye khozyaystvo: tezis dokladov 82-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov* [Forestry: abstracts of the 82th scientific and technical conference of faculty, researchers and graduate students]. Minsk, 2019, p. 18 (In Russian).
13. Rakhtenko I. N., Martinovich B. S., Krot L. A. The relationship of tree species in clean and mixed stands. *Ekologo-fiziologicheskiye osnovy vzaimodeystviya rasteniy v fitotsenozakh* [Ecological and physiological basis for the interaction of plants in phytocenoses]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1976. 116 p. (In Russian).
14. Nevolin O. A., Eremina O. O. Undergrowth and its importance in the formation of highly productive pine forests in the European North of Russia. *Lesnoy zhurnal* [Forest journal], 1998, no. 4, pp. 12–18 (In Russian).
15. Labokha K. V., Shiman D. V. Features of natural regeneration under the canopy of ripening and ripe spruce plantations on soils of insufficient and moderate moisture. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series I, Forestry, 2010, issue XVIII, pp. 72–75 (In Russian).
16. Kononov V. N., Zarubina L. V. Evaluation of the viability of spruce in a blueberry birch forest in the process of its age development. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal* [News of Higher Educational Institutions. Forest Journal], 2016, no. 5 (353), pp. 44–60 (In Russian).
17. Zarubina L. V. Growth of under-log renewal of spruce in felling areas of blueberry birch forest. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [News of the S.-Petersburg Forestry Engineering Academy], 2016, no. 216, pp. 58–68 (In Russian).

Информация об авторе

Севко Оксана Александровна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: o.sevko@belstu.by

Коцан Владимир Васильевич – кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Wolodia250@belstu.by

Мусский Алексей Анатольевич – инженер-таксатор. РУП «Белгослес» (220089, г. Минск, ул. Железнодорожная, 27/1, Республика Беларусь). E-mail: fray5920@gmail.com

Information about the author

Sevko Oksana Aleksandrovna – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Forest Inventory. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: o.sevko@belstu.by

Kotsan Vladimir Vasil'yevich – PhD (Agriculture), Senior Lecturer, the Department of Forest Inventory. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Wolodia250@belstu.by

Muskiy Aleksei Anatolevich – engineer-taxman. Republican Unitary Enterprise “Belgosles” (27/1, Zheleznodorozhnaya str., 220089, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: fray5920@gmail.com

Поступила 15.03.2023