

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ШИРИНЫ ГОДИЧНЫХ КОЛЕЦ ДЕРЕВЬЕВ В БЕРЕЗНЯКАХ И ЕЛЬНИКАХ УВИНСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА (УДМУРТСКАЯ РЕСПУБЛИКА)

Д.А. Поздеев[✉], Р.Р. Абсалямов, М.В. Якимов

ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет», Россия, 426069, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Студенческая, д. 11

dap219@mail.ru

Установлена средняя ширина годичного кольца березы в сосняке липовом — 0,6 мм, в ельнике липняковом — 1,1 мм, а также средняя ширина годичного кольца ели в ельнике липняковом — 3,0 мм. Показана изменчивость ширины годичного кольца древесных пород, составившая от 30 до 49 %, при этом закономерности ее варьирования с возрастом не выявлены. Сформированы группы древостоев по возрасту. Выявлено наличие значимых различий в дисперсиях выборок образованных кластеров. Выполнен корреляционный анализ, указавший на наличие связи ширины годичного кольца и возраста древостоя в исследуемых типах леса. Установлено различие ширины годичного кольца березы в разных типах леса в древостоях с одинаковым возрастом. Предложен анализ уравнений простой регрессии с возрастом и диаметром стволов древостоев. Проведен подбор уравнений нелинейных функций, объясняющих указанные зависимости.

Ключевые слова: лесной фонд, ельник, березняк, пробные площади, керны древесины, ширина годичного кольца дерева

Ссылка для цитирования: Поздеев Д.А., Абсалямов Р.Р., Якимов М.В. Сравнительный анализ ширины годичных колец деревьев в березняках и ельниках Увинского лесничества (Удмуртская Республика) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 5. С. 42–54. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-5-42-54

Изучение древостоев основных лесообразующих пород имеет большое значение для лесного хозяйства. На территории РФ березовые и еловые древостои распространены повсеместно в лесной и лесостепной зонах, за исключением районов Северо-Восточной Сибири, и немногочисленных пустынных и полупустынных территорий.

Ельники Удмуртской Республики подробно изучены в работе [1]. В частности, в главе «Строение древостоев ели» приведены данные о строении древостоев по диаметрам стволов и фитомассе крон [1].

В работе [2] на основании изучения динамики и состояния еловых насаждений Удмуртской Республики сделан вывод о снижении их площади в период с 2009 по 2015 гг. Значительное сокращение площадей еловых древостоев произошло в районе хвойно-широколиственных лесов — 15 %, в южно-таежном районе оно составило 6 %.

В работе [3] автор пришел к выводу о масштабных деграционных процессах, происходящих в еловых древостоях Удмуртской Республики, наблюдаемых в наиболее продуктивных типах леса. Отмечено их неблагоприятное санитарное состояние в лесном районе хвойно-широколиственных лесов, связанное с жизнедеятельностью вредителя короеда-типографа (*Ips typographus*),

а также его постепенное распространение и в южно-таежном лесном районе [3].

Материалы изучения березняков Удмуртской Республики представлены в работах [4–6]. По этим данным и данным государственного лесного реестра Удмуртии за период с 2007 по 2022 гг. установлены изменения площадей ельников и березняков (табл. 1).

Постепенное снижение площади ельников в указанный период происходило до 2015 г., а затем площади ельников стали резко уменьшаться — с 725,3 до 619,7 тыс. га.

Площади березняков в отличие от ельников увеличились с 604,8 до 690,5 тыс. га. Аналогичные изменения характерны и для запасов древесины березняков и ельников (табл. 2).

Снижение запасов древесины ельников характерно всем группам возраста, а в спелых и перестойных древостоях оно значительное — с 26 до 21 млн м³. В березняках происходит существенное увеличение запасов спелых и перестойных древостоев — с 36 до 41 млн м³.

При изучении прироста объема стволов отдельных деревьев и запаса прироста древостоев важное значение имеет прирост диаметра ствола, который можно определить по радиальному приросту деревьев.

Изучение запаса древесины древостоев и радиального прироста деревьев проведено многими авторами [7–12]. Ширина годичных колец деревьев

подробно рассматривается в рамках преподавания дисциплины «Дендрохронология» [13]. По мнению авторов работы [13], первой отечественной научной работой по дендрохронологии была книга профессора Одесского университета Ф.Н. Шведова «Дерево как летопись засух», изданная в 1892 г. [14].

История развития дендрохронологии в Америке и Европе, на Ближнем Востоке и в Советском Союзе подробно описана также в работе [13].

Одним из центров дендрохронологии в Советском Союзе считалась научная школа, образованная в 1960-х годах в Институте ботаники Академии наук Литовской ССР на базе лаборатории дендрохронологии и дендроклиматологии [13]. В ежегодных научных отчетах этой лаборатории преобладают научные статьи Т.Т. Битвинскаса, Б.А. Колчина [15–17]. Тематика научных статей включала в себя проблемы дендрохронологии, материалы исследований прироста насаждений, особенности применения дендроклиматических методов в лесоустройстве и лесном хозяйстве.

К представителям известной сибирской школы дендрохронологии относятся Е.А. Ваганов и И.А. Терсков, а их работа [18] свидетельствует о развитии микрофотометрических методов изучения строения годовых колец древесных растений в конце 1970-х годов.

Активные исследования в данном направлении ведутся во всем мире и в настоящее время. Так, в статье [19] оценивается реакция радиального роста сосны обыкновенной и ели на климат и рельефа местности в Скалистых горах Альберты.

Работа [20] о влиянии осадков и температуры воздуха на ширину годовых колец деревьев пихты греческой (*Abies cephalonica*) на горе Джиона в материковой Греции подтверждает значимость климатических факторов при формировании радиального прироста ствола пихты греческой.

Снижение радиального прироста ели белой (*Picea glauca*) в центральной части города Нью-Йорка ввиду современных климатических тенденций рассматривается в статье [21]. Ее авторами выявлено, что длительные периоды с летней

Т а б л и ц а 1
Изменения площадей ельников и березняков за период с 2007 по 2022 гг.

Changes in the areas of spruce and birch forests from 2007 to 2022

Год	Лесопокрытая площадь с преобладанием древесной породы			
	Ель		Береза	
	тыс. га	процент относительно общей лесопокрытой площади	тыс. га	процент относительно общей лесопокрытой площади
2007	792,6	41,0	608,2	31,0
2008	787,1	40,6	606,3	31,3
2009	790,7	40,7	604,8	31,2
2010	785,3	40,5	607,5	31,3
2011	772,3	39,9	614,7	31,7
2012	760,4	39,4	616,6	31,9
2013	752,9	39,1	617,7	32,1
2014	747,2	38,9	619,3	32,2
2015	725,3	37,9	627,5	32,8
2016	677,6	35,5	664,9	34,8
2018	672,3	35,2	669,0	35,1
2022	619,7	32,6	690,5	36,4

температурой более +30 °С провоцируют раннее прекращение радиального прироста диаметра ствола независимо от наличия сезонных осадков.

Подобные результаты получены и представлены в работе о фенотипическом и генетическом влиянии стресса, вызванного засухой, на рост вершины, ширину годовичного кольца, плотность древесины и биомассу семян ели белой (*Picea glauca*) [22]. Авторы сделали вывод, что с увеличением интенсивности и продолжительности стресса, вызванного засухой, радиальный прирост заметно снижался, а плотность древесины имела тенденцию к увеличению.

В исследовании [23] изучено влияние долгосрочных изменений в составе насаждений и свой-

Т а б л и ц а 2
Запас древесины и средний прирост ельников и березняков в 2018 и 2022 гг.

Wood stock and average growth of spruce and birch forests in 2018 and 2022

Древостой	Год	Запас общий, млн м ³	Запас по группам возраста, млн м ³				Общий средний прирост, млн м ³	Средний возраст, лет
			Молодняки	Средневозрастные	Приспевающие	Спелые и перестойные		
Ельник	2018	112,60	18,16	41,58	26,73	26,13	2,11	50
	2022	103,58	16,89	40,56	24,59	21,54	1,98	49
Березняк	2018	109,94	2,15	47,68	23,86	36,25	2,44	48
	2022	117,54	2,02	48,00	26,47	41,05	2,52	49

ствах почвы на радиальный прирост диаметра ствола клена сахарного (*Acer saccharum* Marsh.) и пихты бальзамической (*Abies balsamea* (L.) Mill.) в лесах на северо-востоке Северной Америки.

Авторы работы [24], изучая радиальный рост сосны стланиковой (*Pinus pumila*) в северной части гор Дасинань на северо-востоке Китая, пришли к выводу, что она на малой высоте в горах более чувствительна к климатическим изменениям (особенно температуры воздуха), чем на средней и большой. Влияние влажности на радиальный прирост кустарника заметно проявляется именно на средних высотах.

Статья [25] посвящена изучению влияния среднемесячной температуры и суммы положительных температур воздуха на радиальный прирост древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях техногенного воздействия на отвалах угольных предприятий Кузбасса.

Дендрохронология — это высокотехнологичная наука, в которой не прекращается поиск новых эффективных методов изучения годичных колец деревьев. Так, в методической части работы [26] рассматривается сравнение различных методов определения ширины годичных колец. Как менее трудоемкий рекомендован метод определения ширины годичных колец по среднему радиусу.

В работе [27] предлагается простой неразрушающий метод оценки годичного прироста объема растущих деревьев, основанный на анализе годичных колец деревьев при выборе двух точек определения прироста для каждого модельного дерева, и простых правилах тригонометрии.

Методы оценки радиального прироста диаметра стволов деревьев также развиваются. В статье [28] приводится оценка дисперсии среднего прироста на основании двойной выборки для стратификации (2SS).

С развитием новых технологий и программного обеспечения появляется качественно новая возможность посмотреть на выявленные ранее зависимости и закономерности, установленные дендрохронологией.

Цель работы

Цель работы — исследование ширины годичных колец еловых и березовых древостоев, формирующих радиальный прирост диаметра ствола и, как следствие, запас прироста древесины.

Материалы и методы

В исследованиях были использованы данные таксационных описаний выделов Ува-Туклинского участкового лесничества Увинского лесничества. Группировка (стратификация) таксационных выделов проводилась по типам леса и возрастным периодам [29, 30]. В результате анализа выделено

38 лесных страт березняков, которые объединены в укрупненные группы [6], в ельниках выделено две укрупненные группы страт (табл. 3).

Расчет объема выборки учетных выделов для каждой страты определяется по формуле [31]

$$N = \frac{S^2 t^2}{(Xg)^2},$$

где S^2 — дисперсия запасов древесины;

t^2 — значение критерия Стьюдента ($t = 1,96$ для вероятности 0,95);

X — среднее значение запаса древесины, м³/га;

g — целевая точность (в долях единицы).

При принятии базовой точности ($g = 10\%$) определения запаса по стратам проведен расчет оптимального количества пробных площадей по стратам (табл. 4).

В березняках выбраны учетные выделы в двух укрупненных группах, представленных наибольшими площадями, — ельнике липняковом и сосняке липовом. В ельниках выбрана группа — ельник липняковый, сосняк липовый. После чего был составлен маршрут для закладки пробных площадей.

Количество и размер пробной площади подбирали в соответствии с требованиями выборочной таксации [32]. Оформление круговых пробных площадей регламентируется ОСТ 56-69-83 «Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки» [33].

Величина радиуса круговой пробной площади зависит от относительной полноты и среднего диаметра ствола преобладающего элемента леса [29]. Размещение круговых площадей должно быть равномерным по всему учетному выделу. Для этого прокладываются граничные и внутренние визиры. Центр пробной площади указывается кольшком высотой 0,5 м и толщиной 5 см, ограничение площади выполняют мерной лентой.

Перечет деревьев на круговой площади постоянного радиуса ведется по каждой древесной породе, категориям технической годности (качества) и ступеням толщины. По технической годности деревья подразделяются на три категории: деловые, полуделовые, дровяные.

В пределах пробной площади для каждой составляющей породы измеряют высоту растущих деревьев (с помощью высотомера) — по три дерева в трех средних ступенях толщины [33].

Средний диаметр древостоя элемента леса определяют через среднюю площадь сечения стволов, а среднюю высоту — с помощью кривой высот, т. е. графически.

Полекамеральная обработка данных замеров на круговых пробных площадях постоянного радиуса предполагает также определение и других таксационных показателей древостоя элемента леса, яруса и насаждения (относительной пол-

Т а б л и ц а 3

Характеристика укрупненных групп лесных страт березняков и ельников

Characteristics of enlarged groups of birch and spruce forests strata

Древостой	Название укрупненной группы лесной страты	Площадь укрупненной группы страт, га	Количество страт в укрупненной группе, шт.	Средний состав укрупненной группы	Средний запас древесины березы в группе, м ³ /га
Березняк	Ельник липняковый (C ₂ , C ₃)	4009,7	6	7Б2Е1Ос+Лп	91
	Ельник черничный (C ₂ , C ₃)	807,6	8	7Б2Е1Ос+Лп	75
	Ельник широколиственный (Д ₃)	512,6	6	7Б3Е+С+Ос	66
	Сосняк липовый (C ₂ , C ₃)	2069,4	11	7Б1Е1Лп1С+Ос	54
	Сосняк черничный (В ₃)	271,1	2	7Б2Е1Ос+С+Ос	79
	Ельник кисличный (C ₂ , C ₃)	231,4	5	7Б2Е1Ос+Лп	66
Ельник	Ельник липняковый (C ₂ , C ₃)	95,6	3	7Е2Б1Лп+П	105
	Сосняк липовый (C ₂ , C ₃)	19,5	2	5Е3Лп2Б	103

Т а б л и ц а 4

Оптимальное количество учетных выделов березняков и ельников по стратам

Optimal number of survey plots of birch and spruce forests by strata

Древостой	Название страты	Площадь страты, га	Средний запас древесины выдела, м ³	Дисперсия запасов древесины, м ³	Коэффициент вариации запаса древесины, %	Оптимальное количество учетных выделов, шт.
Березняк	Ельник липняковый (C ₂ , C ₃)	4009,7	91	413,8	8,5	9
	Сосняк липовый (C ₂ , C ₃)	2069,4	54	237,2	5,7	8
Ельник	Ельник липняковый (C ₂ , C ₃)	95,6	105	230,3	4,3	4
	Сосняк липовый (C ₂ , C ₃)	19,5	103	210,5	4,7	3

ноты, запаса, состава древостоя, разряда высот, класса товарности, класса бонитета) [33].

Согласно методике отбора кернов древесины [34], для дендрохронологического анализа используются круговые поперечные спилы, бруски древесины по радиусу и диаметру, клиновидные выпилены с пней и живых деревьев, буровые керны и высечки. В настоящее время широкое применение нашли буровые керны древесины. Значительным преимуществом кернов древесины является то, что при их отборе живому дереву не наносятся серьезные повреждения и требуется значительно меньше времени и сил по сравнению с взятием других перечисленных выше образцов древесины.

Керны необходимо отбирать на высоте 1,3 м от поверхности земли по произвольно взятому радиусу. Использование для взятия кернов нижней части ствола не запрещается, однако следует иметь в виду, что прирост комлевой части формируется неравномерно и колебания его отражают преимущественно эффекты влияния механической нагрузки на ствол, а не другие параметры окружающей среды.

Сверление совершается в направлении, перпендикулярном продольной оси ствола дерева.

Керны стволов, близких по поперечному сечению к окружности, берутся по одному произвольному направлению. При эллипсовидной форме поперечного сечения ствола взятие кернов может быть строго ориентированным по сторонам света или в произвольном направлении по двум противоположным радиусам. Деревья, имеющие наклон ствола, не используются для взятия кернов древесины.

Допускается просверлить дерево насквозь. При этом полученный керн древесины будет с противоположными радиусами.

Качество отбираемых кернов не менее важно, чем правильность их взятия. Не используют керны, у которых отсутствует начальная часть древесины вместе с корой. В случае если у керна отсутствует только кора, а древесина полностью сохранилась, то керн можно использовать.

Особое внимание необходимо уделять остроте винчиваемой части бурава. Правильно заточенные буравы снижают частоту появления сломанных кернов, что важно, поскольку такие керны не используются. Керны с наличием гнили также использовать запрещено [34].

Отбор кернов древесины березы и ели осуществлялся у модельных деревьев с использо-

Таксационные показатели и ширина годовых колец деревьев в березняках и ельниках

Taxation indices and width of trees annual rings in birch and spruce forests

Древостой	Квартал	Выдел	Состав	Таксационные показатели преобладающего элемента леса и насаждения					Минимальная и максимальная ширина годовичного слоя за 10 лет, мм
				Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Средний возраст, лет	Класс бонитета	Полнота	
Березняк	Сосняк липовый								
	21	17	5Б2Е3Ос	22,3	23,0	60	2	0,5	0,5...0,7
	36	2	8Б2Е+Лп	18,8	27,0	90	1	0,5	0,4...0,8
	36	5	8Б2Ос	22,2	23,0	55	1	0,2	0,5...0,7
	36	8	9Б1Е+Лп	15,1	19,0	40	1	0,8	0,6...1,0
	36	12	9Б1Ол	15,7	16,0	30	1	0,5	0,6...1,0
	67	1	4Б3С2Е1Ос	30,5	25,0	90	1	0,5	0,4...0,6
	67	18	4Б2С2Ос1Е	26,3	24,8	55	1	0,4	0,6...0,8
	80	13	6Б2Лп1Е1Ос	29,3	25,0	70	1	0,8	0,8...1,0
	100	2	9Б1Лп+В	32,9	24,2	65	1	0,8	0,4...0,8
	100	7	5Б5Е+Лп	21,6	23,0	60	2	0,2	0,5...0,8
	Ельник липняковый								
	25	13	7Б3Е+Лп	22,7	24,0	60	1	0,7	1,1...1,3
	25	18	5Б3Е2Ос	23,4	23,0	60	2	0,6	0,6...0,9
	80	19	8Б2Е+Лп	21,5	21,5	50	1	0,8	0,8...1,1
	80	20	7Б2Ос1Лп	29,4	26,0	70	1	0,7	1,3...1,5
	100	5	9Б1Лп	26,1	24,0	70	2	0,6	1,3...1,6
132	12	9Б1Е	14,0	15,0	30	2	0,8	0,9...1,2	
Ельник	Ельник липняковый								
	25	15	7ЕЗБ	22,7	24,0	60	1	0,7	1,8...5,8
	25	21	5ЕЗБ2Ос	23,4	23,0	60	2	0,6	0,4...4,0

ванием возрастного бурава (бурав Пресслера) на высоте 1,3 м от поверхности земли. Дополнительно радиальный прирост деревьев ели оценивался по спилам на высоте от 1 до 1,3 м от поверхности земли. Всего было отобрано 96 кернов и взято 12 спилов модельных деревьев ели.

Керны наклеивались на специальную деревянную подложку, а затем их поверхность тщательно зачищалась остро режущим инструментом (канцелярским ножом).

Определение ширины годовых колец за последние 10 лет выполнялось с помощью микроскопа МБС-1, цифровой фотокамеры и измерительной лупы.

Результаты и обсуждение

Сложность идентификации годовых колец у рассеянно-сосудистых лиственных пород заключается в отсутствии четкой границы между ранней и поздней древесиной, однако при до-

статочном увеличении годовые кольца можно идентифицировать. На спилах ели после шлифовки границы годовых колец четко выделяются (табл. 5).

Для выявления среднего значения ширины годовых колец и их изменчивости проведена обработка результатов методом описательной статистики [35–37] (табл. 6).

Средняя величина годовичного кольца березы в сосняке липовом составляет 0,6 мм, а в ельнике липняковом — 1,1 мм.

Средняя ширина годовичного кольца ели в типе леса ельник липняковый составляет 3,0 мм.

Коэффициент изменчивости ширины годовичного кольца березы варьирует в пределах от 30,5 до 42,5 %, причем существенных различий между типами леса не наблюдается. Для древостоев ели коэффициент изменчивости варьирует от 32,0 до 49,3 %. Точность опыта во всех случаях не превышает 8 %, а коэффициент достоверности

Т а б л и ц а 6

Статистические показатели средней ширины годовичного кольца деревьев березы и ели

Statistical indices of average annual ring width of birch and spruce trees

Древостой	Квартал	Выдел	Средняя ширина годовичного кольца, мм	Коэффициент изменчивости %	Точность опыта, %	Коэффициент достоверности	Коэффициент асимметрии	Коэффициент эксцесса
Березняк	Сосняк липовый							
	21	17	0,62	31,0	5,0	31,0	-0,07	2,30
	36	2	0,51	34,2	6,1	51,0	-0,42	1,03
	36	5	0,57	33,8	5,2	57,0	0,33	-0,55
	36	8	0,85	39,0	7,2	42,5	1,03	1,45
	36	12	0,72	30,5	6,5	72,0	0,27	-0,24
	67	1	0,51	42,5	8,0	17,0	0,59	0,89
	67	18	0,65	36,0	5,4	65,0	-0,34	0,48
	80	13	0,82	34,2	6,6	41,0	-0,27	0,74
	100	2	0,58	30,2	4,6	58,0	-0,13	-0,61
	100	7	0,63	39,4	5,0	21,0	0,03	-0,78
	Ельник липняковый							
	25	13	1,15	38,4	5,2	57,5	-0,21	-0,41
	25	18	0,76	41,0	8,0	25,3	-0,47	-0,64
	80	19	0,82	33,6	5,8	41,0	0,30	-0,05
	80	20	1,36	35,2	6,5	68,0	-0,10	-0,14
100	5	1,38	32,0	6,0	69,0	0,20	-0,23	
132	12	1,05	45,2	4,2	35,0	-0,34	-0,42	
Ельник	Ельник липняковый							
	25	15	4,80	30,0	5,2	32,0	0,08	-0,42
	25	21	2,71	33,2	5,1	49,3	0,16	0,01

больше 3, что свидетельствует о достаточном количестве наблюдений и достоверных результатах.

Для древостоев березы в сосняке липовом отмечаются как положительные, так и отрицательные значения коэффициентов асимметрии и эксцесса ширины годовичного кольца. Зависимость коэффициента асимметрии от возраста не прослеживается, поскольку в случае одинакового возраста, например в 90 лет, его значение составляет +0,59 и -0,42 соответственно. Коэффициент эксцесса проявляет себя аналогично.

Березняки ельника липнякового по коэффициенту асимметрии не отличаются от березняков сосняка липового, однако коэффициент эксцесса при любом возрасте имеет отрицательное значение, что демонстрирует более пологая кривая по сравнению с кривой нормального распределения. В древостоях ельника липнякового коэффициент асимметрии ширины годовичного кольца имеет положительное значение, а коэффициент эксцесса изменяется от -0,42 до +0,01.

Для сравнения ширины годовичных колец березняков в совокупности с другими таксационными показателями в разных типах леса проведен кластерный анализ. Идея кластерного анализа по «*k*-средним» [38] заключается в минимизации суммарного квадратичного отклонения точек кластеров от центров этих кластеров. Оценить результат можно с использованием коэффициента дисперсии, который должен стремиться к единице.

Проведение кластерного анализа по «*k*-средним» с использованием возраста древостоя, среднего диаметра древостоя, средней ширины годовичного кольца в сосняке липовом позволило получить предсказуемые результаты. Выделены четыре кластера: 1 — 30...40 лет; 2 — 55...65; 3 — 70; 4 — 90 лет; при этом коэффициент дисперсии равен 0,79. В ельнике липняковом выявлено три кластера: 1 — 30 лет; 2 — 50...60; 3 — 70 лет; с коэффициентом дисперсии — 0,88. В ельниках ввиду недостаточного количества данных кластерный анализ не выполнялся.

Для проверки гипотезы о равенстве дисперсий внутри образованных кластеров выполнен тест Левена по медиане [7, 10, 12].

Проверка статистической гипотезы с помощью данного теста основана на сравнении значения F -статистики и соответствующей величины p -значения.

Если p -значение меньше выбранного уровня значимости ($p < 0,05$), то нулевая гипотеза отвергается и можно делать вывод о наличии значимых различий в дисперсиях выборок (табл. 7).

Полученные результаты (см. табл. 7) свидетельствуют о наличии равенства в дисперсиях кластера 4 в сосняке липовом, а также в кластере 2 в ельнике липняковом.

Т а б л и ц а 7

Результаты выполнения теста Левена внутри кластеров березовых древостоев

Results of Levene's test within birch stand clusters

Кластер	Возраст древостоев, входящих в кластер, лет	F -статистика	p -значение
Сосняк липовый			
1	55; 55; 60; 60; 65	5,027	0,002
2	30; 40	13,846	0,002
4	90; 90	2,586	0,125
Ельник липняковый			
2	50; 60; 60	1,814	0,182

В кластерах 1 и 2 в березняках сосняка липового нулевая гипотеза отвергается, что свидетельствует о неравенстве дисперсий выборок.

Значение F -статистики оценивается по принципу, чем выше ее значение, тем выше вероятность того, что средние значения не во всех группах равны.

Результаты корреляции Пирсона [39] показали, что существует отрицательная связь средней тесноты между возрастом древостоя элемента леса и шириной годичного кольца в сосняке липовом, но положительная связь средней тесноты — в ельнике липняковом (табл. 8). Чем выше p -значение, тем больше оно поддерживает нулевую гипотезу и свидетельствует об отсутствии различий в выборочной и ожидаемой корреляции.

Т а б л и ц а 8

Корреляция ширины годичного кольца с возрастом древостоя по Пирсону и Спирмену внутри кластеров березовых древостоев

Pearson and Spearman correlations of annual ring width with stand age within birch stand clusters

Наименование показателя	Сосняк липовый		Ельник липняковый	
	по Пирсону	по Спирмену	по Пирсону	по Спирмену
Коэффициент корреляции	-0,628	-0,619	+0,478	+0,677
p -значение	0,052	0,056	0,378	0,139
Ковариация	-1,410	-5,611	1,887	2,300
Тестовая статистика	-2,284	-2,233	1,088	1,838

Т а б л и ц а 9

Матрица коэффициентов парных корреляций средних таксационных показателей и ширины годичных слоев березняков

Matrix of pairwise correlation coefficients of average taxation indices and annual ring width in birch stands

Показатель	Средний возраст	Средний диаметр	Средняя высота	Коэффициент состава березы	Ширина годичного кольца
Сосняк липовый					
Средний возраст	1				
Средний диаметр	0,54	1			
Средняя высота	0,88	0,62	1		
Коэффициент состава березы	-0,40	-0,42	-0,47	1	
Ширина годичного слоя	-0,63	-0,31	-0,55	0,23	1
Ельник липняковый					
Средний возраст	1				
Средний диаметр	0,97	1			
Средняя высота	0,97	0,96	1		
Коэффициент состава березы	-0,35	-0,34	-0,46	1	
Ширина годичного слоя	0,48	0,47	0,39	0,45	1

Таблица 10

**Сравнительная характеристика ширины годовых колец
при критическом значении $t_{st} = 2,101$**

Comparative characteristics of annual ring widths at the critical value $t_{st} = 2,101$

Квартал (выдел), тип леса		Фактическое значение t_{ϕ}	Результат
21 (17), сосняк липовый	25 (18), ельник липняковый	6,1	Наблюдаемое различие статистически значимо
100 (7), сосняк липовый	25 (13), ельник липняковый	14,4	Наблюдаемое различие статистически значимо
21 (17), сосняк липовый	100 (7), сосняк липовый	1,93	Наблюдаемое различие статистически не значимо
25 (18), ельник липняковый	25 (13), ельник липняковый	10,1	Наблюдаемое различие статистически значимо

Таблица 11

**Уравнения регрессии зависимости средней ширины годового
кольца Y от возраста дерева A и диаметра ствола $D_{1,3}$
в березняках**

**Regression equations of average annual ring width dependence Y
on tree age A and trunk diameter $D_{1,3}$ in birch forests**

Тип леса	Уравнение	Коэффициент детерминации
Сосняк липовый	$Y = 0,8859 - 0,003902A$	0,39
	$Y = 0,7874 - 0,006026D_{1,3}$	0,10
Ельник липняковый	$Y = 0,6150 + 0,008324A$	0,23
	$Y = 0,5341 + 0,02418 D_{1,3}$	0,23

Таблица 12

**Уравнения зависимости средней ширины годового кольца Y
от возраста дерева A и диаметра ствола $D_{1,3}$ в березняках**

**Equations of dependence of average annual ring width Y on the tree age A and
trunk diameter $D_{1,3}$ in birch forests**

Тип леса	Уравнение	Коэффициент детерминации
Сосняк липовый	$Y = 0,9341e^{-0,006A}$	0,45
	$Y = -0,214\ln(A) + 1,5155$	0,37
	$Y = -2E - 0,5A^2 - 0,0018A + 0,8269$	0,40
	$Y = 2,5241A^{-0,338}$	0,41
	$Y = 0,7865e^{-0,009 D_{1,3}}$	0,10
	$Y = -0,156\ln(D_{1,3}) + 1,1319$	0,13
	$Y = 0,0012D_{1,3}^2 - 0,0613D_{1,3} + 1,406$	0,19
	$Y = 1,3077D_{1,3}^{-0,23}$	0,12
Ельник липняковый	$Y = 0,7112e^{0,007A}$	0,18
	$Y = 0,3179\ln(A) - 0,185$	0,15
	$Y = 0,001A^2 - 0,0964A + 3,0104$	0,77
	$Y = 0,3742A^{0,2601}$	0,11
	$Y = 0,6654e^{0,0203D_{1,3}}$	0,18
	$Y = 0,4161\ln(D_{1,3}) - 0,2049$	0,16
	$Y = 0,0051D_{1,3}^2 - 0,195D_{1,3} + 2,758$	0,53
	$Y = 0,368D_{1,3}^{0,3406}$	0,12

Ковариация проверяет взаимосвязь между двумя переменными. Диапазон ковариаций не ограничивается ни в отрицательную, ни в положительную сторону. Положительная ковариация свидетельствует, что изменения идут в одном направлении, а отрицательная — показывает противоположное направление, т. е. когда одна переменная увеличивается, вторая переменная, как правило, уменьшается, и наоборот.

Тестовая статистика свидетельствует о том, что полученные результаты находятся в доверительном интервале на уровне 95 %.

Матрица коэффициентов парных корреляций по изучаемым показателям приведена в табл. 9.

Высокой положительной связью обладают отношения среднего диаметра и высоты древостоя с его средним возрастом, а также связь средней высоты и среднего диаметра древостоя. Эти взаимосвязи хорошо известны и объясняются во многих источниках [29, 30, 37, 39].

Корреляция коэффициента состава со средним возрастом, средним диаметром и средней высотой древостоя в рассматриваемых типах леса существенно не отличается и характеризуется как отрицательная слабой тесноты.

Ширина годичного кольца, коррелируя с таксационными показателями в сосняке липовом, характеризуется как средняя и слабая отрицательная, а в ельнике липняковом — как слабая положительная. Для выявления различий в ширине годичных колец в разных типах леса проведено сравнение средних величин по критерию Стьюдента в древостоях 60-летнего возраста. Эта возрастная группа встречается в обоих типах леса [39].

Подтверждено различие в средней ширине годичного кольца не только в разных типах леса, но и в ельнике липняковом при одинаковом среднем возрасте древостоев (табл. 10). В целях моделирования средней ширины годичного кольца составлены уравнения простой регрессии с возрастом и диаметром древостоев [39] (табл. 11), а также проведен подбор уравнений нелинейных функций (табл. 12).

Для получения приемлемых результатов рекомендуется использовать уравнения с коэффициентом детерминации не менее 0,5. Согласно этому условию для описания изучаемых зависимостей в ельнике липняковом наиболее подходит уравнение полинома второй степени. В условиях сосняка липового можно рекомендовать к использованию экспоненциальную зависимость средней ширины годичного кольца от возраста древостоя.

Регрессионные уравнения, представленные в табл. 11, в должной мере не объясняют достаточную долю общей вариации.

Выводы

1. Амплитуда колебания ширины годичного кольца березы в ельнике липняковом выше, чем в сосняке липовом, а ее максимальное значение составляет 1,38 мм.

2. Ширина годичного кольца ели в ельнике липняковом изменяется от 0,4 мм до 5,8 мм, а ее среднее значение равно 3,0 мм.

3. Варьирование ширины годичного кольца березы в среднем составляет 36,0 %, ели — 40,5 %.

4. Зависимость коэффициентов асимметрии и эксцесса средней ширины годичного кольца от возраста древостоя не прослеживается как в березняках, так и в ельниках.

5. Кластерный анализ позволил сформировать семь кластеров в березняках исследуемых типов леса. Выявлены значимые различия в дисперсиях выборок кластеров 1 и 2 сосняка липового.

6. Корреляционный анализ выявил отрицательную связь средней тесноты между возрастом древостоя элемента леса березы и шириной годичного кольца в сосняке липовом и положительную связь средней тесноты в ельнике липняковом.

7. При моделировании изучаемых зависимостей таксационных показателей в ельнике липняковом рекомендуется использовать уравнение полинома второй степени, а в условиях сосняка липового использовать экспоненциальную зависимость средней ширины годичного кольца от возраста древостоя.

Список литературы

- [1] Соколов П.А., Петров А.А. Таксация ельников Прикамья (на примере Удмуртии). Ижевск: Изд-во ИЖГСХА, 2004. 272 с.
- [2] Končrková A., Petek A., Kmet' J., Petřík P., Vedernikov K.E., Zagrebin E.A., Islamova N.A., Grigoriev R.A., Pashkova A.S., Zhuravleva A.N., Bukharina I.L., Hůdková H. Impact of the European bark beetle *ips typographus* on biochemical and growth properties of wood and needles in Siberian spruce *Picea obovata* // *Central European Forestry J.*, 2020, t. 66, no. 4, pp. 243–254.
- [3] Ведерников К.Е. Лесоводственно-таксационное состояние ельников *Piceetum oxalidosum* Удмуртской Республики // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2021. Т. 25. № 6. С. 20–30. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-6-20-30
- [4] Петров А.А., Поздеев Д.А., Малышев В.С. Сравнительный анализ ельников и березняков Прикамья по диаметру стволов // *Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии*, 2010. № 4 (25). С. 50–52.
- [5] Соколов П.А., Малышев В.С., Петров А.А., Поздеев Д.А. Таксация леса. Динамика таксационных показателей и надземной фитомассы древостоев березы. Ижевск: Изд-во ИЖГСХА, 2010. 68 с.
- [6] Абсалямов Р.Р., Поздеев Д.А., Якимов М.В., Старков М.Н. Особенности формирования запаса березняков Увинского лесничества Удмуртской республики на участках леса, переданных в аренду ООО «Орион» //

- Научные инновации в развитии отраслей АПК. Материалы Междунар. науч.-практ. конф. В 3 т. 18–21 февраля 2020 г., Ижевск. Ижевск: Изд-во ИжГСХА, 2020. Т. 1. С. 102–107.
- [7] Поздеев Д.А., Якимов М.В., Семакин В.А. Радиальный прирост древесины березняков Увинского лесничества Удмуртской Республики // Научные разработки и инновации в решении стратегических задач агропромышленного комплекса: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. В 2 т. 15–18 февраля 2022 г., г. Ижевск. Ижевск: Изд-во ИжГСХА, 2022. Т. 2. С. 21–29.
- [8] Андреев Г.В., Поздеев Е.Г., Иванчиков С.В., Ходырева Ю.Н. Изучение формирования и роста производного березняка на основе радиального прироста деревьев: Экологические исследования в Висминском биосферном заповеднике. Екатеринбург: Среднеуральское книжное издательство. Новое время, 2006. С. 49–56.
- [9] Андреев Г.В., Алесенков Ю.М. Рост по диаметру березы, ели и сосны и приросты поврежденной ели в длительно-производном травяно-зеленомошном березняке. Красноярск: Изд-во СГТУ, 2013. 18 с.
- [10] Кладько Ю.В., Бенькова В.Е. Радиальный рост древесных видов в условиях антропогенной нагрузки г. Красноярска // Сибирский лесной журнал, 2018. № 4. С. 49–57.
- [11] Манов А.В. Радиальный прирост сосны обыкновенной в островном массиве бора лишайникового Печорского Заполярья // Известия Коми НЦ УрО РАН, 2014. № 4 (20). С. 13–19.
- [12] Рыбаков Д.С. Влияние загрязнения серой на радиальный прирост *Pinus sylvestris* L. в Республике Карелия // Принципы экологии, 2017. № 2 (23). С. 47–60. DOI 10.15393/j1.art.2017.6042
- [13] Колчин Б.А., Черных Н.Б. Дендрохронология Восточной Европы (Абсолютные дендрохронологические шкалы с 788 г. по 1970 г.) / под ред. В.В. Седова. М.: Наука, 1977. 128 с.
- [14] Шведов Ф. Дерево как летопись засух / Сообщ. в годич. заседании Новорос. об-ва естествоиспытателей, янв. 17, 1892 г. СПб.: Тип. Имп. Акад. наук, 1892. 16 с.
- [15] Колчин Б.А., Битвинкас Т.Т. Современные проблемы дендрохронологии. Проблемы абсолютного датирования в археологии. М.: Наука, 1972. С. 80–92.
- [16] Битвинкас Т.Т. К вопросу о применении дендроклиматических методов в лесоустройстве. Современные вопросы лесоустройства. Каунас: Изд-во Литовской сельскохозяйственной академии, 1966. С. 177–179.
- [17] Битвинкас Т.Т. Динамика прироста насаждений и возможности ее прогнозирования (в условиях Литовской ССР) // Доклады Тимирязевской сельскохозяйственной академии, Вып. 99. М.: Изд-во Тимирязевской сельскохозяйственной академии, 1964. С. 497–503.
- [18] Ваганов Е.А., Терсков И.А. Анализ роста дерева по структуре годовых колец / под ред. А.С. Исаева. Новосибирск: Наука. Сибирское отд., 1977. 94 с.
- [19] Askerman F., Goldblum D. Lodgepole pine and interior spruce radial growth response to climate and topography in the Canadian Rocky Mountains, Alberta // Canadian J. of Forest Research, 2021, no. 51(7), pp. 986–1001. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2019-0305>.
- [20] Koulelis P.P., Fassoulis V.P., Petrakis P.V., Ioannidis K.D., Alexandris S. The impact of selected climatic factors on the growth of Greek fir on Mount Giona in mainland Greece based on tree ring analysis // Austrian J. of Forest Science, 2022, t. 139, no. 1, pp. 1–30.
- [21] Lapis A., Robinson G., Lawrence G. Radial growth decline of white spruce (*Picea glauca*) during hot summers without drought: preliminary results from a study site south of a boreal forest border // Canadian J. of Forest Research, 2022, no. 52(4), pp. 582–590.
- [22] Soro A., Lenz P., Roussel J.R., Larochelle F., Bousquet J., Achim A. The phenotypic and genetic effects of drought induced stress on apical growth, ring width, wood density and biomass in white spruce seedlings // New Forests, 2023, v. 54, pp. 789–811.
- [23] Gauthray-Guyénet V., Schneider R., Achim A., Fortin M., Pare D., Arseneault D. Legacy of forest composition and changes over the long-term on tree radial growth // Canadian J. of Forest Research, 2021, no. 51(10), pp. 1501–1511.
- [24] Yang J., Cooper D.J., Zhang X., Song W., Li Z., Zhang Y., Zhao H., Han S., Wang X. Climatic controls of *Pinus pumila* radial growth along an altitude gradient // New Forests, 2022, v. 53, pp. 319–335. <https://doi.org/10.1007/s11056-021-09858-x>
- [25] Шереметов Р.Т., Уфимцев В. И. Оценка влияния температуры на радиальный прирост сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях техногенного воздействия // Вестник Кемеровского государственного университета, 2012. № 4–1 (52). С. 24–28.
- [26] Теринов Н.Н., Полухин А.В. Сравнение методов измерения годовых колец деревьев и применение этих методов в лесных исследованиях // Журнал Сибирского федерального университета. Биология, 2012. № 1. С. 97–107.
- [27] Tsakalimi M., Petaloudi L-M., Ganatsas P.A Research note on developing a novel method for the estimation of annual volume increment in standing trees // Austrian J. of Forest Sciens, 2023, t. 140, no. 4, pp. 241–248.
- [28] Fischer C., Saborowski J. Variance estimation for mean growth from successive double sampling for stratification // Canadian J. of Forest Research, 2020, no. 50(12), pp. 1405–1411. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2020-0058>
- [29] Верхунов П.М., Черных В.Л. Таксация леса. Йошкар-Ола: Изд-во Марийского государственного технического университета, 2009. 396 с.
- [30] Загреев В.В., Сухих В.И., Швыденко А.З., Гусев И.Н., Мошкалев А.Г. Общесоюзные нормативы для таксации лесов. М.: Колос, 1992. 495 с.
- [31] Черных В.Л., Ворожцов Д.М., Вдовин Е.С. Совершенствование методики выборочной таксации запаса древостоев на примере Учебно-опытного лесничества Республики Марий Эл // Вестник ПГТУ. Серия: Лес. Экология. Природопользование, 2011. № 1. С. 3–10.
- [32] Поздеев Д.А. Таксация леса. Учебная практика. Ижевск: Изд-во ИжГСХА, 2016. 179 с.
- [33] ОСТ 56-69-83. Пробные площади лесоустроительные. Методы закладки. М.: Издательство стандартов, 1983. 59 с.
- [34] Румянцев Д.Е., Липаткин В.А., Черакшев А.В., Воробьева Н.С. Методические рекомендации по отбору ядер древесины для целей дендрохронологических исследований в лесоведении и лесоводстве. М.: Профессиональная наука, 2022. 44 с.
- [35] Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.
- [36] Свалов С.Н. Применение статистических методов в лесоводстве: статья в журнале Итоги науки и техники. М.: Изд-во ВИНТИ, 1985. 164 с.
- [37] Соколов П.А., Черных В.Л. Вариационная статистика. Йошкар-Ола: МарГТУ, 1990. 100 с.
- [38] Мاستицкий С.Э., Шитиков В.К. Статистический анализ и визуализация данных с помощью R. М.: ДМК Пресс, 2015. 496 с.
- [39] Герасимов Ю.Ю., Хлюстов В.К. Математические методы и модели в расчетах на ЭВМ: применение в лесоводстве и экологии. М.: МГУЛ, 2001. 260 с.

Сведения об авторах

Поздеев Денис Александрович  — канд. с.-х. наук, доцент кафедры лесоустройства и экологии, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет», dap219@mail.ru

Абсальямов Рафаэль Рамзиевич — канд. с.-х. наук, доцент, зав. кафедрой лесоустройства и экологии, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет», lesovod27@yandex.ru

Якимов Михаил Витальевич — ст. преподаватель кафедры лесоустройства и экологии, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет», mikhailyackimov@yandex.ru

Поступила в редакцию 10.04.2024.

Одобрено после рецензирования 15.07.2024.

Принята к публикации 22.08.2024.

COMPARATIVE ANALYSIS OF ANNUAL TREE RINGS WIDTH FOR BIRCH GROVES AND SPRUCE FORESTS IN UVINSKY FORESTRY (UDMURT REPUBLIC)

D.A. Pozdeev , **R.R. Absalyamov**, **M.V. Yakimov**

Udmurt State Agrarian University, 11, Studentskaya st., Izhevsk, 426069, Udmurt Republic, Russia

dap219@mail.ru

The average width of the annual ring of birch in the linden and pine forest is 0,6 mm, in the spruce and linden forest it equals to 1,1 mm, while the average annual ring width of spruce in the linden and spruce forest is 3,0 mm. The variability of the tree species annual ring width, ranging from 30 to 49 %, was shown, while the age variation patterns were not revealed. Groups of stands by age have been formed. The presence of significant differences in the samples variances of the formed clusters was revealed. A correlation analysis was performed, indicating the presence of a relationship between the width of the annual ring and the age of the stand in the studied forest types. The difference in the width of the birch annual ring in different types of forest in stands of the same age has been established. The analysis of simple regression equations with age and diameter of tree trunks is proposed. The selection of equations of nonlinear functions explaining these dependencies is carried out.

Keywords: forest fund, spruce forest, birch forest, trial areas, wood cores, the width of the annual tree ring

Suggested citation: Pozdeev D.A., Absalyamov R.R., Yakimov M.V. *Sravnitel'nyy analiz shiriny godichnyh kolec derev'ev v bereznyakah i el'nikah Uvinskogo lesnichestva (Udmurtskaya Respublika)* [Comparative analysis of annual tree rings width for birch groves and spruce forests in Uvinsky forestry (Udmurt Republic)]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 5, pp. 42–54. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-5-42-54

References

- [1] Sokolov P.A., Petrov A.A. *Taksatsiya el'nikov Prikam'ya (na primere Udmurtii)* [Taxation of spruce forests in the Kama region (using the example of Udmurtia)]. Izhevsk: IzhGSHA, 2004, 272 p.
- [2] Konôpková A., Petek A., Kmeť J., Petrik P., Vedernikov K.E., Zagrebin E.A., Islamova N.A., Grigoriev R.A., Pashkova A.S., Zhuravleva A.N., Bukharina I.L., Húdoková H. Impact of the European bark beetle *ips typographus* on biochemical and growth properties of wood and needles in Siberian spruce *Picea obovata*. *Central European Forestry J.*, 2020, t. 66, no. 4, pp. 243–254.
- [3] Vedernikov K.E. *Lesovodstvenno-taksatsionnoe sostyanie el'nikov Piceetum oxalidosum Udmurtskoy Respubliki* [Forestry and taxation characteristics of Spruce (*Piceetum oxalidosum*) stands in Udmurt Republic]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 6, pp. 20–30. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-6-20-30
- [4] Petrov A.A., Pozdeev D.A., Malyshev V.S. *Sravnitel'nyy analiz el'nikov i bereznyakov Prikam'ya po diametru stvolov* [Comparative analysis of spruce and birch forests of the Kama region by trunk diameter]. *Vestnik Izhevskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Izhevsk State Agricultural Academy], 2010, no. 4 (25), pp. 50–52.
- [5] Sokolov P.A., Malyshev V.S., Petrov A.A., Pozdeev D.A. *Taksatsiya lesa. Dinamika taksatsionnykh pokazateley i nadzemnoy fitomassy drevostoev berezy* [Forest taxation. Dynamics of taxation indicators and above-ground phytomass of birch stands]. Izhevsk: Izhevsk State Agricultural Academy, 2010, 68 p.
- [6] Absalyamov R.R., Pozdeev D.A., Yakimov M.V., Starkov M.N. *Osobennosti formirovaniya zapasa bereznyakov Uvinskogo lesnichestva Udmurtskoy respubliki na uchastkakh lesa, peredannykh v arendu OOO «Orion»* [Features of the formation of a stock of birch forests in the Uvinsky forestry of the Udmurt Republic on forest plots leased to Orion LLC]. *Nauchnye innovatsii v razvitiy otrasley APK. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Scientific innovations in the development of agricultural industries. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference]. In 3 t. February 18–21, 2020, Izhevsk. Izhevsk: Izhevsk State Agricultural Academy, 2020, t. 1, pp. 102–107.

- [7] Pozdeev D. A., Yakimov M. V., Semakin V. A. *Radial'nyy prirost drevesiny bereznyakov Uvinskogo lesnichestva Udmurtskoy Respubliki* [Radial growth of birch forest wood of the Uvinsky forestry of the Udmurt Republic]. Nauchnye razrabotki i innovatsii v reshenii strategicheskikh zadach agropromyshlennogo kompleksa: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Scientific developments and innovations in solving strategic problems of the agro-industrial complex: materials of the International scientific-practical conference]. In 2 t., February 15–18, 2022, Izhevsk. Izhevsk: Izhevsk State Agricultural Academy, 2022, t. 2, pp. 21–29.
- [8] Andreev G.V., Pozdeev E.G., Ivanchikov S.V., Khodyreva Yu.N. *Izuchenie formirovaniya i rosta proizvodnogo bereznyaka na osnove radial'nogo prirosta derev'ev: Ekologicheskie issledovaniya v Visminskom biosfernom zapovednike* [Study of the formation and growth of a derivative birch forest based on the radial growth of trees: Ecological studies in the Visminsky Biosphere Reserve]. Ekaterinburg: Middle Ural Book Publishing House New Time, 2006, pp. 49–56.
- [9] Andreev G.V., Alesenkov Yu.M. *Rost po diametru berez, eli i sosny i prirosty povrezhdennoy eli v dlitel'no-proizvodnom travyano-zelenomoshnom bereznyake* [Growth in diameter of birch, spruce and pine and growth of damaged spruce in a long-term derived grass-green-moss birch forest]. Krasnoyarsk: SSTU publishing house, 2013, 18 p.
- [10] Klad'ko Yu.V., Ben'kova V.E. *Radial'nyy rost drevesnykh vidov v usloviyakh antropogennoy nagruzki g. Krasnoyarska* [Radial growth of tree species under conditions of anthropogenic load in Krasnoyarsk]. Sibirskiy lesnoy zhurnal [Siberian Forest Journal], 2018, no. 4, pp. 49–57.
- [11] Manov A.V. *Radial'nyy prirost sosny obyknovnoy v ostrovnom massive bora lishaynikovogo Pechorskogo Zapolyar'ya* [Radial growth of Scots pine in the island massif of the lichen boron of the Pechora Arctic]. Izvestiya Komi NTs UrO RAN [Izvestia of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences], 2014, no. 4 (20), pp. 13–19.
- [12] Rybakov D.S. *Vliyaniye zagryazneniya seroy na radial'nyy prirost Pinus sylvestris L. v Respublike Kareliya* [The influence of sulfur pollution on the radial growth of Pinus sylvestris L. in the Republic of Karelia]. Printsipy ekologii [Principles of Ecology], 2017, no. 2 (23), pp. 47–60. DOI 10.15393/j1.art.2017.6042
- [13] Kolchin B.A., Chernykh N.B. *Dendrokronologiya Vostochnoy Evropy (Absolyutnye dendrokronologicheskie shkaly s 788 g. po 1970 g.)* [Dendrochronology of Eastern Europe (Absolute dendrochronological scales from 788 to 1970)]. Ed. V.V. Sedov. Moscow: Nauka, 1977, 128 p.
- [14] Shvedov F. *Derevo kak letopis' zasukh. Soobshch. v godich. zasedanii Novoros. ob-va. estestvoispytateley* [The tree is like a chronicle of droughts. The message in a year the meeting of Novorossiya about Naturalists], Jan. 17, 1892. St. Petersburg: Print. Imp. Acad. Sciences, 1892, 16 p.
- [15] Kolchin B.A., Bitvinskas T.T. *Sovremennye problemy dendrokronologii. Problemy absolyutnogo datirovaniya v arkhologii* [Modern problems of dendrochronology. Problems of absolute dating in archaeology]. Moscow: Nauka, 1972, pp. 80–92.
- [16] Bitvinskas T.T. *K voprosu o primeneniі dendroklimaticheskikh metodov v lesoustroystve. Sovremennye voprosy lesoustroystva* [On the issue of using dendroclimatic methods in forest management. Modern issues of forest management]. Kaunas: Lithuanian Agricultural Academy, 1966, pp. 177–179.
- [17] Bitvinskas T.T. *Dinamika prirosta nasazhdeniy i vozmozhnosti eeprognozirovaniya (v usloviyakh Litovskoy SSR)* [Dynamics of plant growth and the possibility of its forecasting (in the conditions of the Lithuanian SSR)]. [Reports of the Timiryazev Agricultural Academy], v. 99. Moscow: Timiryazev Agricultural Academy, 1964, pp. 497–503.
- [18] Vaganov E.A., Terskov I.A. *Analiz rosta dereva po strukture godichnykh kolets* [Analysis of tree growth based on the structure of tree rings]. Ed. A.S. Isaev. Novosibirsk: Science. Siberian department, 1977, 94 p.
- [19] Ackerman F., Goldblum D. Lodgepole pine and interior spruce radial growth response to climate and topography in the Canadian Rocky Mountains, Alberta. Canadian J. of Forest Research, 2021, no. 51(7), pp. 986–1001. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2019-0305>.
- [20] Koulelis P.P., Fassoulis V.P., Petrakis P.V., Ioannidis K.D., Alexandris S. The impact of selected climatic factors on the growth of Greek fir on Mount Giona in mainland Greece based on tree ring analysis. Austrian J. of Forest Science, 2022, t. 139, no. 1, pp. 1–30.
- [21] Lapenis A., Robinson G., Lawrence G. Radial growth decline of white spruce (*Picea glauca*) during hot summers without drought: preliminary results from a study site south of a boreal forest border. Canadian J. of Forest Research, 2022, no. 52(4), pp. 582–590.
- [22] Soro A., Lenz P., Roussel J.R., Larochelle F., Bousquet J., Achim A. The phenotypic and genetic effects of drought induced stress on apical growth, ring width, wood density and biomass in white spruce seedlings. New Forests, 2023, v. 54, pp. 789–811.
- [23] Gauthray-Guyénet V., Schneider R., Achim A., Fortin M., Pare D., Arseneault D. Legacy of forest composition and changes over the long-term on tree radial growth. Canadian J. of Forest Research, 2021, no. 51(10), pp. 1501–1511.
- [24] Yang J., Cooper D.J., Zhang X., Song W., Li Z., Zhang Y., Zhao H., Han S., Wang X. Climatic controls of *Pinus pumila* radial growth along an altitude gradient. New Forests, 2022, v. 53, pp. 319–335. <https://doi.org/10.1007/s11056-021-09858-x>
- [25] Sheremetov R.T., Ufimtsev V.I. *Otsenka vliyaniya temperatury na radial'nyy prirost sosny obyknovnoy (Pinus sylvestris L.) v usloviyakh tekhnogennogo vozdeystviya* [Assessment of the influence of temperature on the radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris L.*) under conditions of anthropogenic impact]. Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of Kemerovo State University], 2012, no. 4–1 (52), pp. 24–28.
- [26] Terinov N.N., Polukhin A.V. *Sravnienie metodov izmereniya godichnykh kolets derev'ev i primenienie etikh metodov v lesnykh issledovaniyakh* [Comparison of methods for measuring tree rings and the application of these methods in forest research]. Zhurnal SFU. Biologiya [J. of Siberian Federal University. Biology], 2012, no. 1, pp. 97–107.
- [27] Tsakaldimi M., Petaloudi L.-M., Ganatsas P.A. Research note on developing a novel method for the estimation of annual volume increment in standing trees. Austrian J. of Forest Sciens, 2023, t. 140, no. 4, pp. 241–248.
- [28] Fischer C., Saborowski J. Variance estimation for mean growth from successive double sampling for stratification. Canadian J. of Forest Research, 2020, no. 50(12), pp. 1405–1411. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2020-0058>

- [29] Verkhunov P.M., Chernykh V.L. *Taksatsiya lesa* [Forest taxation]. Yoshkar-Ola: Mari State Technical University, 2009, 396 p.
- [30] Zagreev V.V., Sukhikh V.I., Shvydenko A.Z., Gusev I.N., Moshkalev A.G. *Obshchesoyuznyye normativy dlya taksatsii lesov* [All-Union standards for forest taxation]. Moscow: Kolos, 1992, 495 p.
- [31] Chernykh V.L., Vorozhtsov D.M., Vdovin E.S. *Sovershenstvovanie metodiki vyborochnoy taksatsii zapasa drevostoev na primere Uchebno-opytного lesnichestva Respubliki Mariy El* [Improving the methodology for selective taxation of forest stands using the example of the Educational and Experimental Forestry of the Republic of Mari El]. Vestnik PGU. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie [Bulletin of Perm State Technical University. Series: Forest. Ecology. Nature Management], 2011, no. 1, pp. 3–10.
- [32] Pozdeev D.A. *Taksatsiya lesa. Uchebnaya praktika* [Forest taxation. Educational practice]. Izhevsk: Izhevsk State Agricultural Academy, 2016, 179 p.
- [33] *OST 56-69–83. Probnye ploshchadi lesoustroitel'nye. Metody zakladki* [OST 56-69–83 Trial areas for forest management. Bookmark methods]. Moscow: Publishing house of standards, 1983, 59 p.
- [34] Rummyantsev D.E., Lipatkin V.A., Cherakshv A.V., Vorob'eva N.S. *Metodicheskie rekomendatsii po otboru kernov drevesiny dlya tseley dendrokronologicheskikh issledovaniy v lesovedenii i lesovodstve* [Methodological recommendations for the selection of wood cores for the purposes of dendrochronological studies in forestry and silviculture]. Moscow: Professional Science, 2022, 44 p.
- [35] Lakin G.F. *Biometriya* [Biometrics]. Moscow: Higher School, 1990, 352 p.
- [36] Svalov S.N. *Primenenie statisticheskikh metodov v lesovodstve: stat'ya v zhurnale Itogi nauki i tekhniki* [Application of statistical methods in forestry: article in the journal Itogi Nauki i Tekhniki]. Moscow: VINITI, 1985, 164 p.
- [37] Sokolov P.A., Chernykh V.L. *Variatsionnaya statistika* [Variation statistics]. Yoshkar-Ola: MarSTU, 1990, 100 p.
- [38] Mastitskiy S.E., Shitikov V.K. *Statisticheskyy analiz i vizualizatsiya dannykh s pomoshch'yu R* [Statistical analysis and visualization of data using R]. Moscow: DMK Press, 2015, 496 p.
- [39] Gerasimov Yu.Yu., Khlyustov V.K. *Matematicheskie metody i modeli v raschetakh na EVM: primeneniye v lesoupravlenii i ekologii* [Mathematical methods and models in computer calculations: application in forest management and ecology]. Moscow: MGUL, 2001, 260 p.

Authors' information

Pozdeev Denis Aleksandrovich  — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of forest management and ecology, Udmurt State Agrarian University, dap219@mail.ru

Absalyamov Rafael' Ramzievich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Head of the Department of Forest management and ecology, Udmurt State Agrarian University, lesovod27@yandex.ru

Yakimov Mikhail Vital'evich — Senior Lecturer of the Department of forest management and ecology, Udmurt State Agrarian University, mikhailiyackimov@yandex.ru

Received 10.04.2024.

Approved after review 15.07.2024.

Accepted for publication 22.08.2024.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article

The authors declare that there is no conflict of interest