

**ЛЕСОВЕДЕНИЕ, ЛЕСОВОДСТВО, ЛЕСНЫЕ КУЛЬТУРЫ, АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИЯ, ОЗЕЛЕНЕНИЕ,
ЛЕСНАЯ ПИРОЛОГИЯ И ТАКСАЦИЯ/FORESTRY, FORESTRY, FOREST CROPS, AGROFORESTRY,
LANDSCAPING, FOREST PYROLOGY AND TAXATION**

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.56.2>

**АНАЛИЗ СХОДСТВА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ПО РАЗНЫМ ВИДАМ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА (НА
ПРИМЕРЕ СОСНЯКОВ БРУСНИЧНЫХ БАБАЕВСКОГО РАЙОНА ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ)**

Научная статья

Румянцев Д.Е.^{1,*}, Котов А.С.², Парфёнова А.Е.³, Чернакова Е.В.⁴, Лебедева Е.М.⁵

¹ORCID : 0000-0001-9871-9504;

^{1, 2, 4, 5} Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Мытищи, Российская Федерация

³ Московский государственный строительный университет, Москва, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (dendro15[at]list.ru)

Аннотация

Исследования изменчивости годичных колец выполнялись в сосняках брусничных Бабаевского лесничества Вологодской области. Отбор образцов древесины проводился на трех пробных площадях. Проводились измерения ширины годичного кольца, ширины слоя поздней древесины, были получены временные ряды этих показателей. На основе указанных временных рядов были рассчитаны временные ряды ранней древесины и доли поздней древесины в годичном кольце. В итоге было получено 12 разных хронологий. Установлено, что корреляция между хронологиями по общей ширине годичного кольца меняется от 0,68 до 0,93. Корреляция между хронологиями по поздней древесине меняется от 0,41 до 0,79. Корреляция между хронологиями по ранней древесине меняется от 0,71 до 0,94. Между хронологиями по ранней древесине и хронологиями по поздней древесине связь варьирует от 0,22 до 0,76. Помимо расчета коэффициента корреляции важным информационным показателем является наличие асинхронной реакции в отдельно выделенные реперные годы прироста. Полученные результаты имеют значение с точки зрения совершенствования методических аспектов судебных ботанических экспертиз с применением дендрохронологии и судебных лесотехнических экспертиз. Использование показателей анатомической структуры годичного кольца при идентификации места происхождения древесины должно повысить точность выполняемых экспертиз.

Ключевые слова: Бабаевское лесничество Вологодской области, сосна обыкновенная, дендрохронология, структура годичного кольца, прирост по поздней древесине.

**ANALYSIS OF SIMILARITY OF TIME SERIES FOR DIFFERENT TYPES OF RADIAL GROWTH (ON THE
EXAMPLE OF PINETUM VACCINIOSUM FORESTS OF BABAEVSKY DISTRICT OF VOLOGDA OBLAST)**

Research article

Rumyantsev D.E.^{1,*}, Kotov A.S.², Parfenova A.Y.³, Chernakova Y.V.⁴, Lebedeva Y.M.⁵

¹ORCID : 0000-0001-9871-9504;

^{1, 2, 4, 5} Bauman Moscow State Technical University, Mytischki, Russian Federation

³ Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation

* Corresponding author (dendro15[at]list.ru)

Abstract

Studies of annual ring variability were carried out in Pinetum vacciniosum forests of Babaevsk forestry of Vologda Oblast. Wood sampling was done on three sample areas. Measurements of annual ring width, width of the late wood layer were made, and time series of these parameters were obtained. Based on these time series, those of early wood and the proportion of late wood in the annual ring were calculated. As a result, 12 different chronologies were obtained. The correlation between chronologies in terms of total annual ring width was found to vary from 0,68 to 0,93. The correlation between chronologies on late wood varies from 0,41 to 0,79. The correlation between chronologies for early wood varies from 0,71 to 0,94. The correlation between early wood chronologies and late wood chronologies varies from 0,22 to 0,76. In addition to the calculation of the correlation coefficient, the presence of asynchronous response in separately identified growth reference years is an important informative indicator. The obtained results are of significance in terms of improving methodological aspects of forensic botanical examinations using dendrochronology and forensic forestry examinations. The use of indicators of the anatomical structure of the annual ring in the process of identification of the place of origin of wood should increase the accuracy of the performed expertise.

Keywords: Babaevsk Forestry of Vologda Oblast, common pine, dendrochronology, annual ring structure, growth on late wood.

Введение

Основными проводящими элементами в ксилеме хвойных являются трахеиды. Ранние трахеиды формируются в первой половине вегетационного сезона, они имеют большую клеточную полость, тонкую клеточную стенку и наилучшим образом приспособлены к проведению влаги. Поздние трахеиды формируются во второй части вегетационного сезона, они имеют малую полость и тонкую клеточную стенку, их основная функция сводится к приданию стволу механической прочности [1], [2].

Переход от ранней древесины к поздней внутри годичного кольца постепенен, что затрудняет измерение ширины слоя поздней древесины, он неодинаков у разных видов хвойных, у сосны обыкновенной он достаточно резкий [3]. Для проведения границы между ранней и поздней древесиной при измерениях используют правило Морка [4]. Согласно правилу Морка, к поздней древесине относятся трахеиды, в которых толщина клеточных стенок между двумя клетками равна или больше чем ширина просвета одной клетки. В целом, простое изменение цвета зон кольца является достаточно надежным маркером, которым пользуется большое число исследователей.

Известно, что хвойные породы при длинном дне формируют из дифференцирующихся клеток камбия трахеиды раннего типа, а при коротком дне переходят к формированию трахеид позднего типа [5]. Исследованиями Е.А. Ваганова и И.А. Терскова [6] было установлено, что у сосны ранняя древесина формируется в период, когда растет главный побег и длится до тех пор, пока прирост свежей массы хвои, выраженный в процентах к конечной величине превышает прирост сухой массы.

В силу структуры своих клеток ранняя древесина хорошо приспособлена к транспорту воды, а поздняя обеспечивает стволу механическую прочность [7], [8], [9], [10]. Поздняя древесина у сосны, лиственницы и ели в 2,5-3 раза превышает раннюю по таким показателям как плотность и модуль упругости [11]. Хорошо известно, что русские крестьяне предпочитали для построек древесину сосны с узкими годичными кольцами и значительным процентом поздней древесины в годичном кольце [12]. В настоящее время известно, что высокий процент поздней древесины в годичном кольце связан с лучшими физико-механическими свойствами древесины [9], [10].

Поздняя и ранняя древесины не всегда независимы в своем формировании. Так, Б. Эклунд [13] на материале хронологий ели европейской из Северной Швеции установил высокий уровень сходства между индексированными хронологиями по ранней и по поздней древесине. Иными словами, величина слоя ранней древесины в значительной мере определяла величину слоя поздней древесины, несмотря на то, что формирование этих тканей протекало в разные периоды вегетационного сезона, и этот процесс сталкивался с воздействием разных экологических параметров окружающей среды.

Таким образом, изменчивость слоя поздней древесины в годичном кольце хвойных, достаточно давно и хорошо изучена, установлены ее основные биологические аспекты и индикационное значение. Тем не менее закономерности изменчивости поздней древесины в годичных кольцах хвойных остаются актуальным объектом исследований. Так, исследования Е.А. Бабушкиной и соавторов в Южной Сибири [14] выполненные на материале сосны обыкновенной показали, что в более экстремальных по увлажнению условиях анатомическая структура древесины отражает адаптивные реакции, связанные с ограничением транспорта воды, так же как и реакции, направленные на увеличение прочности клеточных стенок.

Дендрохронологические исследования сосны обыкновенной в Белоруссии [15] доказали, что в рамках судебно-ботанической и судебной лесотехнической экспертизы привлечение к анализу древесно-кольцевых хронологий по поздней древесине позволяет увеличить разрешающую способность дендрохронологического метода, повышает его информационную ценность. Изучение хронологий по ширине поздней древесины можно использовать для поиска групповой принадлежности анализируемых образцов древесины и привязки групп образцов к конкретному местонахождению (например, к месту незаконной рубки). Применение процедуры кластерного анализа хронологий поздней древесины позволяет устанавливать географический район происхождения древесины в пределах Республики Беларусь.

Поиск дендрохронологических индикаторов плотности древесины на материале образцов древесины сосны обыкновенной из Архангельской области [16] показал, что по усредненным значениям условной плотности древесины сосны в различных условиях произрастания отмечается высокая теснота связи с радиальным приростом и возрастом насаждения. Однако на уровне дерева или насаждения связи между ними не выявлено, но обнаружена умеренная теснота связи данного показателя с процентом поздней древесины.

Значительный фактический материал по рассматриваемому вопросу содержат исследования С.Р. Кузьмина [17], изучившего изменчивость климатипов сосны обыкновенной по параметрам структуры годичного кольца в географических культурах в южной тайге Средней Сибири и лесостепи Западной Сибири. Им в частности было установлено, что значимая связь доли поздней древесины у климатипов в лесостепи отмечается не только со среднемесячными погодными условиями второй половины вегетационного периода, но и первой, что свидетельствует о более высокой чувствительности структуры их древесины к комплексу климатических и экологических условий географических культур по сравнению с южной тайгой.

Исходя из изложенного выше, следует признать актуальным выполнение исследований, целью которых будет анализ сходства дендрохронологических рядов по разным видам прироста для сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). В качестве базового материала для исследований были взяты хронологии сосны обыкновенной из брусничного типа леса Бабаевского лесничества Вологодской области.

Ценные данные о связи содержания поздней древесины с биохимическими характеристиками древесины сосны обыкновенной содержит недавно опубликованная статья польских ученых [18]. Ими установлено, что поздняя древесина менее устойчива к ферментативному расщеплению, а содержащийся в ней галактоглоукоманнотин отличается особенно высокой усвояемостью. Химический состав лигнина показывает более высокую долю хвойных альдегидов в поздней древесине сосны и указывает на наличие иного характера связей в этом типе древесины. Благодаря анализу содержания древесных полисахаридов исследователи впервые предложили детальную молекулярную модель строения ранней и поздней древесины сосны предполагающую, что различия в структуре лигнина, вероятно, являются основным фактором, определяющим различия в стойкости, наблюдаемые между двумя типами древесины сосны. Полученные сведения могут помочь в совершенствовании технологических процессов и в селекции сосен с желаемыми свойствами древесины, а также улучшить понимание связей молекулярной структуры клеточных стенок хвойных пород с функционированием различных типов ксилемы у хвойных пород.

Методы и принципы исследования

Исследования велись по стандартной методике, используемой в лаборатории дендрохронологии Мытищинского филиала Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана [1]. Измерения ширины годовичных колец и ширины слоя поздней древесины велись с помощью прибора LINTAB с точностью до 0,01 мм. Для проверки правильности измерений использовалась перекрестная датировка в программе TSAP-Win. Программа TSAP-Win позволяет анализировать сходство сравниваемых кривых с помощью достаточно простой оценки сходства – коэффициента синхронности (Сх). Если этот показатель ниже 60%, то датировка считается неудовлетворительной. Таксационная характеристика использованных пробных площадей приведена в таблице 1.

Таблица 1 - Таксационная характеристика пробных площадей

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.56.2.1>

№ п.п.	Квартал, выдел	Класс возраста	Бонитет	Полнота	Запас м ³ на 1 га	Состав древостоя	Состав:		
							подлеска	подроста	живого напочвенного покрова
СЛПП15	75,21	IV	II	0,8	280	10С	можжевельни к обыкновенны й		брусника обыкновенна я, черника обыкновенна я, плевроциум Шребера, кладония, цетрария исландская
СЛПП17	54,12	IV	III	0,7	190	10С	можжевельни к обыкновенны й	сосна	брусника обыкновенна я, вереск обыкновенны й, плевроциум Шребера, кладония лесная, цетрария исландская, марьянник лесной
СЛПП27	30,34	IV	III	0,8	150	10С	можжевельни к	ель, береза, осина, ольха	Брусника, черника,

№ п.п.	Квартал, выдел	Класс возраста	Бонитет	Полнота	Запас м ³ на 1 га	Состав древостоя	Состав:		
							подлеска	подроста	живого напочвенного покрова
							обыкновенны й, ольха серая	серая	майник двулистный, седмичник европейский, кислица обыкновенна я, плаун булавовидны й, линнея северная

Основные результаты

Коэффициент корреляции является широко распространенной в статистике мерой сходства между временными рядами. В таблице 2 приведены результаты выполненных нами расчетов коэффициентов корреляции между неиндексированными хронологиями по ширине годичного кольца (ш.г.к.), по поздней древесине (п.) и по ранней древесине (р.).

Таблица 2 - Значение коэффициентов корреляции между неиндексированными хронологиями по ширине годичного кольца (ш.г.к.), по поздней древесине (п.) и по ранней древесине (р.)

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.56.2.2>

Код ПП	СЛПП 17 ш.г.к.	СЛПП 15 ш.г.к.	СЛПП 27 ш.г.к.	СЛПП 17 п.	СЛПП 15 п.	СЛПП 27 п.	СЛПП 17 р.	СЛПП 15 р.	СЛПП 27 р.
СЛПП 17 ш.г.к.	1,00								
СЛПП 15 ш.г.к.	0,93	1,00							
СЛПП 27 ш.г.к.	0,78	0,68	1,00						
СЛПП 17 п.	0,84	0,72	0,67	1,00					
СЛПП 15 п.	0,74	0,78	0,57	0,79	1,00				
СЛПП 27 п.	0,41	0,27	0,77	0,50	0,41	1,00			
СЛПП 17 р.	0,99	0,94	0,77	0,76	0,69	0,37	1,00		
СЛПП 15 р.	0,92	0,99	0,66	0,65	0,67	0,22	0,94	1,00	
СЛПП 27 р.	0,81	0,72	0,99	0,67	0,57	0,68	0,80	0,71	1,00

Корреляция между хронологиями по общей ширине годичного кольца меняется от 0,68 до 0,93. Корреляция между хронологиями по поздней древесине меняется от 0,41 до 0,79. Корреляция между хронологиями по ранней древесине меняется от 0,71 до 0,94. Таким образом, хронологии поздней древесины дают существенно больший диапазон варьирования, и это является их положительным свойством с точки зрения идентификации места произрастания срубленной древесины в пределах локального лесного массива.

Между хронологиями по поздней древесине и хронологиями по общей ширине годичного кольца связь варьирует от 0,27 до 0,84. Наибольшая корреляция наблюдается между хронологиями по одной пробной площади. В то же время достаточно высокая связь может наблюдаться между хронологиями из разных пробных площадей, например СЛПП17 ш.г.к. и СЛПП15 п.

Между хронологиями по ранней древесине и хронологиями по общей ширине годичного кольца связь варьирует от 0,66 до 0,99. Наибольшая корреляция наблюдается между хронологиями по одной пробной площади.

Между хронологиями по ранней древесине и хронологиями по поздней древесине связь варьирует от 0,22 до 0,76. Наибольшая корреляция наблюдается между хронологиями по одной пробной площади. Видно, что для рассматриваемой группы уровень корреляции ниже, чем для предыдущих. Это обусловлено тем, что ранняя и поздняя древесина формируется в разные периоды вегетационного сезона и на их формирование влияют разные лимитирующие экологические факторы. В связи с этим временные ряды по ранней и поздней древесине имеют самостоятельное значение с точки зрения дендроиндикации. Однако не менее важно, что иногда колебания во временных рядах прироста ранней и поздней древесины могут иметь высокий уровень сопряженности.

Графики, характеризующие изменчивость абсолютных значений ширины годичного кольца, ширины слоя ранней и слоя поздней древесины отражены на рисунках 1–4.

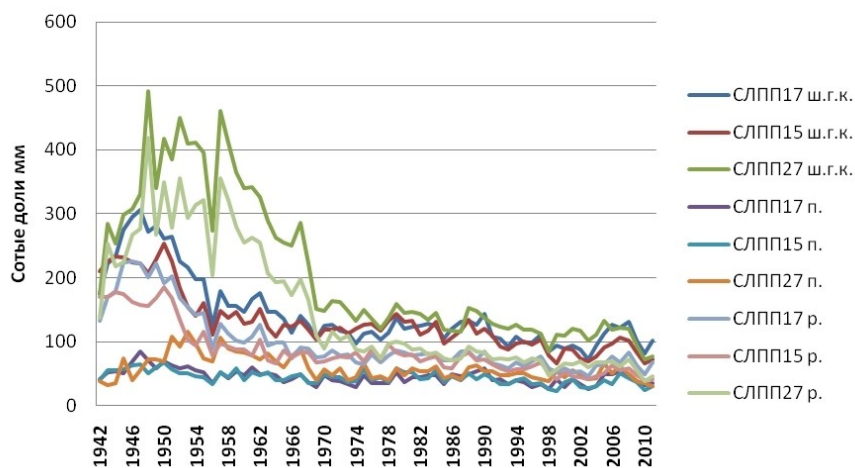


Рисунок 1 - Динамика неиндексированного радиального прироста для хронологий по ранней древесине (*p*), по поздней древесине (*n*) и по общей ширине годичного кольца (*ш.г.к.*)

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.56.2.3>

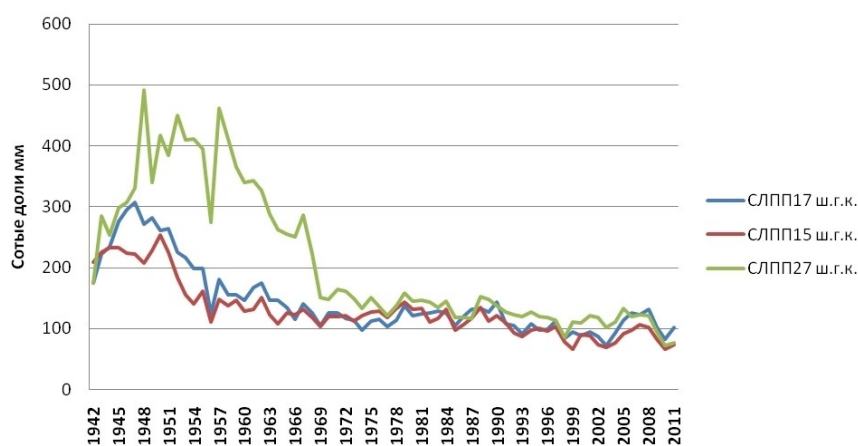


Рисунок 2 - Динамика неиндексированного радиального прироста для хронологий по общей ширине годичного кольца (*ш.г.к.*)

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.56.2.4>

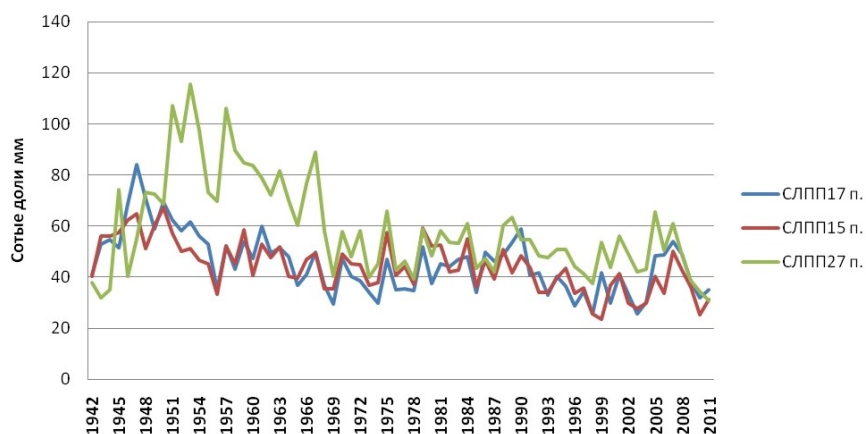


Рисунок 3 - Динамика неиндексированного радиального прироста для хронологий по поздней древесине (*n*)

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.56.2.5>

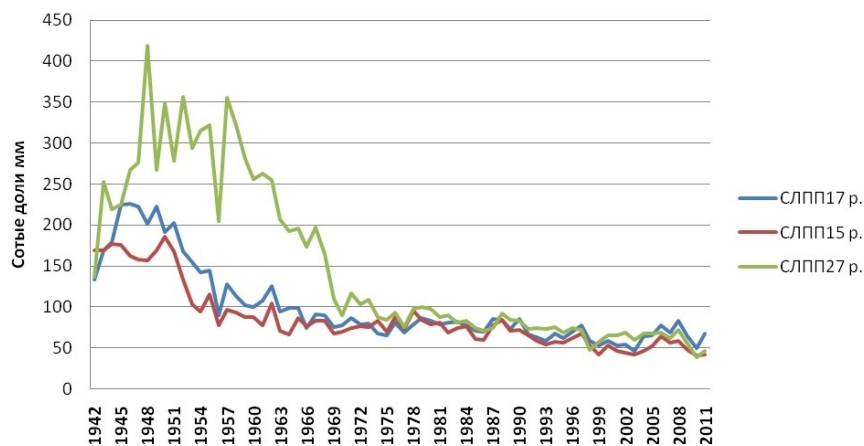


Рисунок 4 - Динамика неиндексированного радиального прироста для хронологий по ранней древесине (р)

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.56.2.6>

На основании данных рисунков 1–4 видно, что все временные ряды характеризуются хорошо выраженным отрицательным возрастным трендом: с возрастом ширина годичного кольца и ширина слоя ранней и поздней древесины постепенно уменьшается. В дендрохронологии для удаления из временных рядов возрастного тренда широко используется процедура индексации. В нашей работе для целей индексации ширина годичного кольца каждого календарного года делилась на ширину годичного кольца за последние пять лет. Аналогично расчет проводился и для рядов ранней и поздней древесины. Результаты корреляционного анализа индексированных хронологий по ранней древесине (р), по поздней древесине (п) и по общей ширине годичного кольца (ш.г.к.) приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Значение коэффициентов корреляции между индексированными хронологиями по ранней древесине (р), по поздней древесине (п) и по общей ширине годичного кольца (ш.г.к.)

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.56.2.7>

Код ПП	СЛПП 17 п-И	СЛПП 15 п-И	СЛПП 27 п-И	СЛПП 15 р-И	СЛПП 17 р-И	СЛПП 27 р-И	СЛПП 15 ш.г.к.- И	СЛПП 17 ш.г.к.- И	СЛПП 27 ш.г.к.- И
СЛПП 17 п-И	1,00								
СЛПП 15 п-И	0,69	1,00							
СЛПП 27 п-И	0,60	0,55	1,00						
СЛПП 15 р-И	0,30	0,38	0,11	1,00					
СЛПП 17 р-И	0,53	0,37	0,11	0,70	1,00				
СЛПП 27 р-И	0,44	0,31	0,53	0,36	0,49	1,00			
СЛПП 15 ш.г.к.- И	0,54	0,77	0,34	0,89	0,66	0,38	1,00		
СЛПП 17 ш.г.к.- И	0,82	0,57	0,36	0,62	0,92	0,52	0,71	1,00	
СЛПП 27 ш.г.к.- И	0,57	0,43	0,74	0,31	0,41	0,95	0,42	0,54	1,00

Корреляция между хронологиями по поздней древесине меняется от 0,55 до 0,69. Корреляция между хронологиями по ранней древесине меняется от 0,49 до 0,7. Корреляция между хронологиями по общей ширине годичного кольца меняется от 0,54 до 0,71.

Между хронологиями по ранней древесине и хронологиями по поздней древесине связь варьирует от 0,11 до 0,53. Наибольшая корреляция наблюдается между хронологиями по одной пробной площади.

Между хронологиями по общей ширине годичного кольца и хронологиями по поздней древесине связь варьирует от 0,34 до 0,82. Между хронологиями по общей ширине годичного кольца и хронологиями по ранней древесине связь варьирует от 0,31 до 0,95. Наибольшая корреляция наблюдается между хронологиями по одной пробной площади.

Сопоставляя данные таблицы 2 и таблицы 3 можно отметить, что результаты корреляционного анализа неиндексированных и индексированных хронологий существенным образом отличаются. Для индексированных хронологий характерно меньшее значение коэффициента корреляции между рядами ранней и поздней древесины. Таким образом, удаление возрастного тренда придает хронологиям по ранней и поздней древесине еще большую индикаторную ценность.

Графики, характеризующие изменчивость индексов ширины годичного кольца, ширины слоя ранней и слоя поздней древесины отражены на рисунках 5–8. Масштаб шкалы ординат на этих рисунках выбран с учетом потенциально возможного размаха варьирования индексов прироста, и, как видно на рисунках 5–8, реально наблюдаемое варьирование индексов прироста в данном конкретном случае значительно ниже своих теоретически возможных пределов.

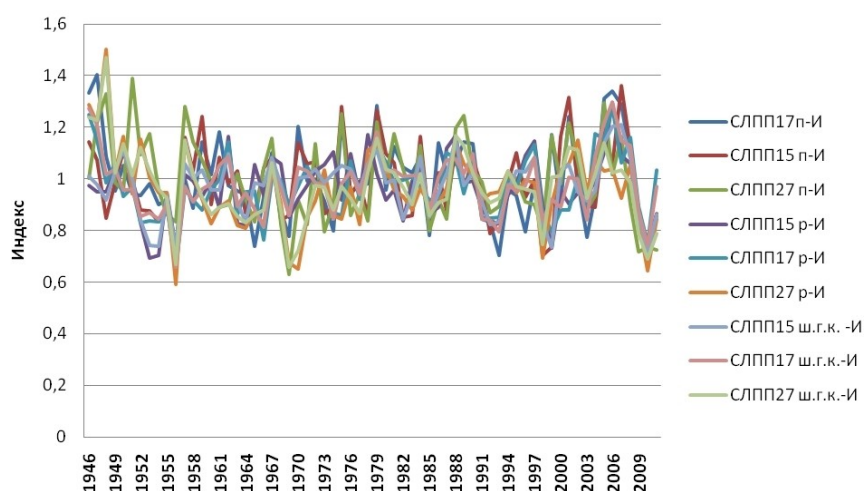


Рисунок 5 - Динамика индексов радиального прироста для хронологий по ранней древесине (*p*), по поздней древесине (*n*) и по общей ширине годичного кольца (*ш.г.к.*)

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.56.2.8>

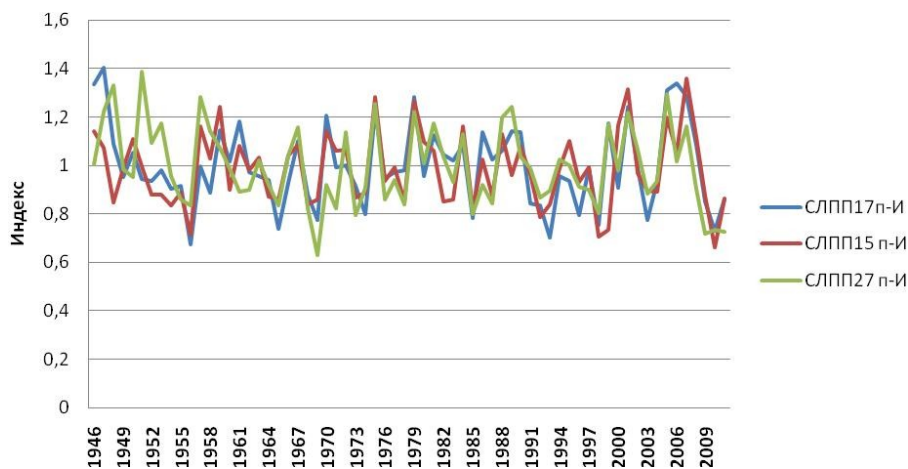


Рисунок 6 - Динамика индексов радиального прироста для хронологий по поздней древесине (*n*)

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.56.2.9>

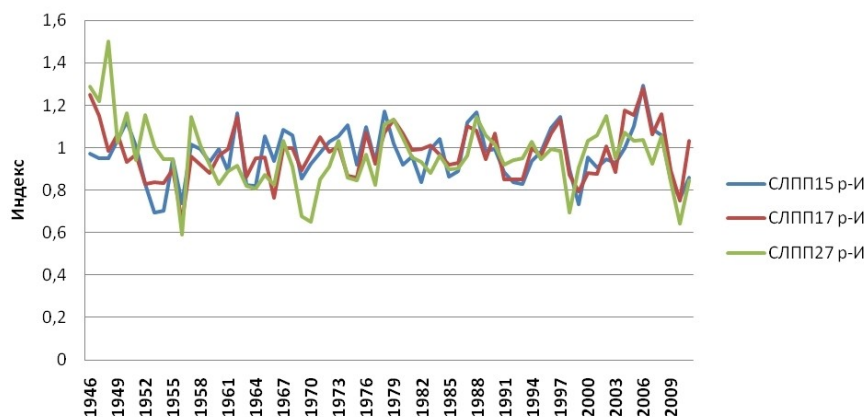


Рисунок 7 - Динамика индексов радиального прироста для хронологий по ранней древесине (p)
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.56.2.10>

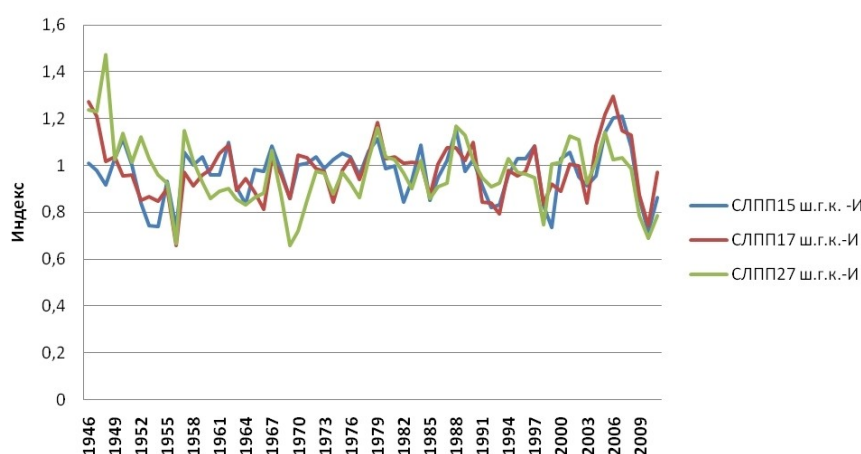


Рисунок 8 - Динамика индексов радиального прироста для хронологий по общей ширине годичного кольца (ш.г.к.)
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.56.2.11>

Как видно из рисунка 6–8, рассматриваемые ряды, несмотря на высокий уровень сопряженности колебаний, диагностируемый с помощью корреляционного анализа характеризуются и индивидуальными особенностями изменчивости, что говорит о возможностях идентификации локальных участков заготовки древесины в пределах отдельно взятого лесного массива. Большое значение в этом процессе могут иметь так называемые реперные годы, т.е. годы ярко выраженных отличий по реакции прироста. Например, на рисунке 7 примерами реперных лет, отличающих хронологию СЛПП27р от СЛПП15р и СЛПП17р могут быть 1952, 1991 и 2001. Для разных типов рядов реперные годы имеют разное распределение. Таким образом, использование показателей анатомической структуры годичного кольца при идентификации места происхождения древесины должно повысить точность выполняемых экспертиз.

Обсуждение

В результате исследований было установлено, что корреляция между хронологиями по общей ширине годичного кольца меняется от 0,68 до 0,93. Корреляция между хронологиями по поздней древесине меняется от 0,41 до 0,79. Корреляция между хронологиями по ранней древесине меняется от 0,71 до 0,94. Следовательно, хронологии поздней древесины дают существенно больший диапазон варьирования по специфике колебаний прироста, и это является их положительным свойством с точки зрения идентификации места произрастания срубленной древесины в пределах локального лесного массива.

Между хронологиями по ранней древесине и хронологиями по поздней древесине связь варьирует от 0,22 до 0,76. Наибольшая корреляция наблюдается между хронологиями по одной пробной площади. Для рассматриваемой группы уровень корреляции ниже, чем для группы «ранняя древесина – общая ширина годичного кольца» и «группы поздняя древесина – ширина годичного кольца». В связи с этим временные ряды по ранней и поздней древесине имеют самостоятельное значение с точки зрения дендроиндикации.

Результаты корреляционного анализа неиндексированных и индексированных хронологий существенным образом отличаются. Для индексированных хронологий, как правило, характерны меньшие значения коэффициента корреляции между рядами ранней и поздней древесины. Следовательно, удаление возрастного тренда сильнее подчеркивает индивидуальные особенности локального участка местопроизрастания в изменчивости рядов ранней и поздней древесины.

Рассматриваемые временные ряды для разных пробных площадей, несмотря на высокий уровень сопряженности колебаний, диагностируемый с помощью корреляционного анализа характеризуются и индивидуальными особенностями изменчивости, что говорит о возможностях идентификации локальных участков заготовки древесины в пределах отдельно взятого лесного массива. Большое значение в этом процессе могут иметь так называемые реперные годы, т.е. годы ярко выраженных отличий по реакции прироста.

Заключение

Выполненные исследования изменчивости анатомической структуры могут быть полезны для целей совершенствования методик идентификации места происхождения древесины. В итоге были получены следующие основные выводы:

1. Значения коэффициента корреляции между временными рядами ширине годичного кольца меняется от 0,68 до 0,93. Для временных рядов по поздней древесине этот показатель меняется от 0,41 до 0,79. Для хронологий по ранней древесине коэффициент меняется от 0,71 до 0,94. Следовательно, хронологии поздней древесины дают существенно больший диапазон варьирования по характеристикам кратковременной изменчивости прироста, и это является их положительным свойством с точки зрения идентификации места произрастания срубленной древесины в пределах локального лесного массива.

2. Между временными рядами радиального прироста ранней древесины и временными рядами поздней древесины связь варьирует от 0,22 до 0,76. Наибольшая корреляция наблюдается между временными рядами прироста по одной пробной площади. В целом видно, что для рассматриваемой группы уровень корреляции ниже, чем для группы «ранняя древесина – общая ширина годичного кольца» и «группы поздняя древесина – ширина годичного кольца».

3. Результаты корреляционного анализа неиндексированных и индексированных хронологий существенным образом отличаются. Для индексированных хронологий, как правило, характерны меньшие значения коэффициента корреляции между рядами ранней и поздней древесины. Таким образом, удаление возрастного тренда сильнее подчеркивает индивидуальные особенности локального участка местопроизрастания в изменчивости рядов ранней и поздней древесины.

4. Рассматриваемые временные ряды для разных пробных площадей, несмотря на высокий уровень сопряженности колебаний, диагностируемый с помощью корреляционного анализа, характеризуются и индивидуальными особенностями изменчивости, что говорит о возможностях идентификации локальных участков заготовки древесины в пределах отдельно взятого лесного массива на основе анализа дендрохронологической информации с учетом разделения годичного слоя ксилемы на позднюю и раннюю древесину. Большое значение в этом процессе могут иметь так называемые реперные годы, т.е. годы ярко выраженных отличий по реакции прироста.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Румянцев Д.Е. История и методология лесоводственной дендрохронологии / Д.Е. Румянцев — Москва: МГУЛ, 2010. — 107 с.
2. Румянцев Д.Е. Анатомия растений : учебное пособие для вузов / Д.Е. Румянцев — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 108 с.
3. Вихров В.Е. Диагностические признаки древесины главнейших лесохозяйственных и лесопромышленных пород СССР / В.Е. Вихров — Москва: АН СССР, 1959. — 132 с.
4. Fritts H. C. Tree rings and climate / H. C. Fritts — London – New York – San Francisco: Academic press, 1976. — 576 p.
5. Лир Х. Физиология древесных растений / Х. Лир, Г. Польстер, Г.-И. Фидлер; пер. с нем. Н.В. Лобанова. — Москва : Лесная промышленность, 1974. — 421 с.
6. Ваганов Е.А. Анализ роста дерева по структуре годичных колец / Е.А. Ваганов, А.И. Терсков. — Новосибирск : Наука, 1977. — 94 с.
7. Раздорский В.Ф. Архитектоника растений / В.Ф. Раздорский. — Москва: Советская наука, 1955. — 431 с.
8. Москалева В.Е. Строение древесины и его изменение при физических и механических воздействиях / В.Е. Москалева. — Москва : АН СССР, 1957. — 166 с.
9. Вихров В.Е. Исследование строения и технических свойств древесины в связи с типами леса / В.Е. Вихров // Вопросы лесоведения и лесоводства. — Москва : АН СССР, 1954. — С. 317–325.
10. Перелыгин А.М. Древесиноведение : учебник для вузов / А.М. Перелыгин. — Москва : Лесная промышленность, 1969. — 318 с.
11. Санаев В.Г. Анизотропия физико-механических свойств поверхности древесины / В.Г. Санаев // Строение, свойства и качество древесины – 96 : материалы II Международного симпозиума. — Москва, Мытищи : Московский государственный университет леса, 1997. — С. 219–223. — EDN YQSZLL.

12. Кайгородов Д.Н. Беседы о русском лесе. Краснолесье. Чернолесье / Д.Н. Кайгородов. — Санкт-Петербург : Формат, 2004. — 304 с.
13. Eklund B. Om granens årsringsvariationer inom mellersta Norrland och deras samband med klimatet / B. Eklund. — Stockholm : Statens Skogsforskningsinstitut. — 1957. — Band 47. — Nr. 1. — 63 p.
14. Бабушкина Е.А. Характеристики ранней и поздней древесины *Pinus sylvestris* в семиаридных природных зонах Южной Сибири / Е.А. Бабушкина, Л.В. Белокопытова, Т.В. Костякова [и др.] // Экология. — 2018. — № 3. — С. 174–183. — DOI: 10.7868/S0367059718030022.
15. Хох А.Н. Исследование поздней древесины для установления места произрастания / А.Н. Хох // Судебно-экспертная деятельность. — 2024. — № 2 (56). — С. 114–123.
16. Тюкавина О.Н. Плотность древесины сосны обыкновенной в различных условиях произрастания / О.Н. Тюкавина, Д.Н. Клевцов, И.И. Дроздов [и др.] // Лесной журнал. — 2017. — № 6. — С. 56–64. — DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.56.
17. Кузьмин С.Р. Реакция ширины годичного кольца и доли поздней древесины у сосны обыкновенной на погодные условия в географических культурах / С.Р. Кузьмин // Лесной журнал. — 2020. — № 5. — С. 64–80. — DOI: 10.37482/0536-1036-2020-5-64-80.
18. Liszka A. Structural differences of cell walls in earlywood and latewood of *Pinus sylvestris* and their contribution to biomass recalcitrance / A. Liszka, R. Wightman, D. Latowski [et al.] // *Frontiers in Plant Science*. — 2023. — Vol. 14. — P. 1–13. — DOI: 10.3389/fpls.2023.1283093.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Rumjantsev D.E. Istorija i metodologija lesovodstvennoj dendrochronologii [History and methodology of forestry dendrochronology] / D.E. Rumjantsev — Moscow: MSUL, 2010. — 107 p. [in Russian]
2. Rumyantsev D.E. Anatomija rastenij [Plant anatomy] : textbook for universities / D.E. Rumyantsev — Saint Petersburg : Lan', 2022. — 108 p. [in Russian]
3. Vihrov V.E. Diagnosticheskie priznaki drevesiny glavnejshih lesohozhajstvennyh i lesopromyshlennyh porod SSSR [Diagnostic features of wood of the main forestry and timber industry breeds of the USSR] / V.E. Vihrov — Moscow: AS USSR, 1959. — 132 p. [in Russian]
4. Fritts H. C. Tree rings and climate / H. C. Fritts — London – New York – San Francisco: Academic press, 1976. — 576 p.
5. Lir H. Fiziologija drevesnyh rastenij [Physiology of woody plants] / H. Lir, G. Pol'ster, G.-I. Fidler; transl. from German by N.V. Lobanov. — Moscow : Lesnaja promyshlennost', 1974. — 421 p. [in Russian]
6. Vaganov E.A. Analiz rosta dereva po strukture godichnyh kolets [Analysis of tree growth by the structure of annual rings] / E.A. Vaganov, A.I. Terskov. — Novosibirsk : Nauka, 1977. — 94 p. [in Russian]
7. Razdorsky V.F. Arhitektonika rastenij [Plant architectonics] / V.F. Razdorsky — Moscow : Sovetskaja nauka, 1955. — 431 p. [in Russian]
8. Moskaleva V.E. Stroenie drevesiny i ego izmenenie pri fizicheskikh i mehanicheskikh vozdejstvijah [The structure of wood and its changes under physical and mechanical influences] / V.E. Moskaleva. — Moscow : AS USSR, 1957. — 166 p. [in Russian]
9. Vihrov V.E. Issledovanie stroenija i tehniceskikh svojstv drevesiny v svjazi s tipami lesa [Investigation of the structure and technical properties of wood in connection with forest sites] / V.E. Vihrov // *Voprosy lesovedenija i lesovodstva* [Forest Science and Forestry Issues]. — Moscow : AS USST, 1954. — P. 317–325. [in Russian]
10. Perelygin A.M. Drevesinovedenie [Wood science] : textbook for universities / A.M. Perelygin — Moscow: Lesnaja promyshlennost', 1969. — 318 p. [in Russian]
11. Sanaev V. G. . Anizotropija fiziko-mehanicheskikh svojstv poverhnosti drevesiny [Anisotropy of physical and mechanical properties of wood surface] / V. G. Sanaev // *Stroenie, svojstva i kachestvo drevesiny – 96* [Structure, Properties and Quality of Wood – 96] : proceedings of the II International Symposium. — Moscow, Mytishchi : Moscow State Forest University, 1996. — P. 219–223. — EDN YQSZLL. [in Russian]
12. Kaigorodov D.N. Besedy o russkom lese. Krasnoles'e. Chernoles'e [Conversations about the Russian forest. Redwood. Blackwood] / D.N. Kaigorodov. — Saint Petersburg : Format, 2004. — 304 p. [in Russian]
13. Eklund B. Om granens årsringsvariationer inom mellersta Norrland och deras samband med klimatet [On the annual ring variations of spruce in central Norrland and their relationship to climate] / B. Eklund. — Stockholm : National Forest Research Institute. — 1957. — Vol. 47. — № 1. — 63 p. [in Swedish]
14. Babushkina E.A. Kharakteristiki rannei i pozdnei drevesini *Pinus sylvestris* v semiaridnykh prirodnykh zonakh Yuzhnoi Sibiri [Features of earlywood and latewood of *Pinus sylvestris* in semi arid natural zones of Southern Siberia] / E.A. Babushkina, L.V. Belokopitova, T.V. Kostyakova [et al.] // *Ekologiya* [Ecology]. — 2018. — № 3. — P. 174–183. — DOI: 10.7868/S0367059718030022. [in Russian]
15. Khokh A.N. Issledovanie pozdnei drevesini dlya ustanovleniya mesta proizrastaniya [Study of latewood to establish the place of timber origin] / A.N. Khokh // *Sudebno-ekspertnaya deyatel'nost'* [Forensics]. — 2024. — № 2 (56). — P. 114–123. [in Russian]
16. Tyukavina O.N. Plotnost drevesini sosni obiknovennoi v razlichnykh usloviyakh proizrastaniya [Wood density of Scots pine in different growth conditions] / O.N. Tyukavina, D.N. Klevtsov, I.I. Drozdov [et al.] // *Lesnoi zhurnal* [Forestry Journal]. — 2017. — № 6. — P. 56–64. — DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.56. [in Russian]
17. Kuzmin S.R. Reaktsiya shirini godichnogo koltsa i doli pozdnei drevesini u sosni obiknovennoi na pogodnie usloviya v geograficheskikh kulturakh [Response of annual ring width and latewood content of Scots pine to weather conditions in

provenance trials] / S.R. Kuzmin // *Lesnoi zhurnal* [Forestry Journal]. — 2020. — № 5. — P. 64–80. — DOI: 10.37482/0536-1036-2020-5-64-80 [in Russian]

18. Liszka A. Structural differences of cell walls in earlywood and latewood of *Pinus sylvestris* and their contribution to biomass recalcitrance / A. Liszka, R. Wightman, D. Latowski [et al.] // *Frontiers in Plant Science*. — 2023. — Vol. 14. — P. 1–13. — DOI: 10.3389/fpls.2023.1283093.