

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ДЕТЕРМИНАНТЫ ПРИРОСТА ПОЗДНЕЙ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (PINUS SYLVESTRIS L.) В УСЛОВИЯХ БЕЛАРУСИ

GEOECOLOGICAL DETERMINANTS OF LATE TIMBER GROWTH OF SCOTTS PINE (PINUS SYLVESTRIS L.) IN CONDITIONS OF BELARUS

A. Khokh
V. Zvyagintsev

Summary. The work carried out a comparative analysis of the dynamics of growth of late wood of pine in the conditions of the most widespread forest formation in the country — mossy pine forests (*Pinetum pleurozium*), over a 115-year period (1900–2015). Based on the results of cluster analysis of 106 local tree-ring chronologies, 3 dendrochronologically homogeneous regions and 11 subregions were identified. For the selected subregions, regional res-chronologies for the width of late wood were obtained, their main statistical characteristics were analyzed, and the years with minimums and maximums of growth were determined. The dominant climatic factors influencing growth in each subregion have been established. It is shown that the identified relationships between temperature, precipitation and late wood growth are at the level of low ($p \leq 0.05 > 0.01$) or medium ($p \leq 0.01 > 0.001$) statistical significance. The results obtained using the example of late pine wood show a close relationship between the formation of xylem structures and geoeological factors and can be used to assess the dynamics of the state of the environment and conduct forensic dendrochronological examinations, in particular to resolve issues related to establishing (confirming) the location of the felled wood.

Keywords: scots pine, mossy pine forests, late wood, temperature, precipitation, Belarus.

Хох Анна Николаевна

Заведующий лабораторией исследования материалов, веществ и изделий, Научно-практический центр Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь
1ann1hoh@gmail.com

Звягинцев Вячеслав Борисович

Кандидат биологических наук, доцент, Белорусский государственный технологический университет
mycolog@tut.by

Аннотация. В работе проведен сравнительный анализ динамики прироста поздней древесины сосны в условиях самой распространённой в стране лесной формации — сосняков мшистых (*Pinetum pleurozium*), за 115-летний период (1900–2015 гг.). По результатам кластерного анализа 106-ти локальных древесно-кольцевых хронологий выделено 3 дендрохронологически однородных района и 11 подрайонов. По выделенным подрайонам получены региональные res-хронологии по ширине поздней древесины, проанализированы их основные статистические характеристики, определены годы с минимумами и максимумами прироста. Установлены доминирующие климатические факторы, влияющие на прирост, в каждом подрайоне. При этом показано, что выявленные взаимосвязи между температурой, осадками и приростом поздней древесины находятся на уровне низкой ($p \leq 0,05 > 0,01$) или средней ($p \leq 0,01 > 0,001$) статистической значимости. Полученные результаты на примере поздней древесины сосны показывают тесную взаимосвязь формирования структур ксилемы от геоэкологических факторов и могут быть использованы для оценки динамики состояния окружающей среды и проведения судебных дендрохронологических экспертиз, в частности для решения вопросов, связанных с установлением (подтверждением) места произрастания срубленной древесины.

Ключевые слова: сосняки мшистые, поздняя древесина, температура, осадки, Беларусь.

Введение

Известно, что ширина годичных колец (далее — ШГК) сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) зарекомендовала себя как весьма эффективный, надежный и достоверный инструмент для успешного выявления климатического сигнала. Вполне естественно, что наибольшее количество дендроклиматических исследований проведено на крайних пределах произрастания древесной растительности, где лимитирующие рост факторы проявляют свое действие наиболее полно [12, с. 450; 7, с. 201; 5, с. 404]; проводятся такие исследования и в районах умеренного климата, где связь климатических факторов с приростом деревьев менее выражена [6, с. 107; 13, с. 127; 11, с. 32]. Отметим, что характер

связи ШГК сосны с климатическими факторами, такими как температура воздуха и почвы, осадки и увлажненность почвы, продолжительность вегетационного периода, условия освещенности, состояние атмосферы и др., весьма разнообразен, а потому должен отдельно устанавливаться применительно к каждому конкретному географическому региону с учетом почвенно-грунтовых условий произрастания и высоты над уровнем моря.

В настоящее время существует обширный объем публикаций белорусских ученых по изучению влияния климата на ШГК *P. sylvestris*. В работе В.Е. Вихрова (1965) изучены и проанализированы взаимосвязи прироста древесины сосны с условиями произрастания и изменениями погодных факторов [2, с. 99]; фактически это

было одно из первых дендроклиматических исследований в Беларуси. В монографии Киселева В.Н. и Матюшевой Е.В. (2010) подробно изучена дендроклиматология современных поколений сосны в различных физико-географических и экологических условиях, выявлены зависимости радиального прироста от метеорологических факторов [14, с. 201]. Исследования В.Н. Киселева с соавт. (2014) выявили значимое влияние температуры и осадков безлиственного периода на прирост древесины в сосняках черничных (*Pinetum myrtillosum*), произрастающих на полугидроморфном иллювиально-гумусово-железистом подзоле [10, с. 35]. В работе М. В. Ермохина и В.В. Савельева (2011) изучено влияние климатических факторов на формирование прироста сосны, произрастающей на территории Беловежской пущи, и сделан вывод, что в естественной динамике сосновых лесов одну из главных ролей играют сезонные колебания количества июньских осадков, ранневесенних (апрель) и летних (июнь, июль) температур воздуха [3, с. 29]. На основании обширного дендрохронологического материала Ермохиным М.В. (2020) проведено дендрохронологическое районирование *P. sylvestris*, в том числе изучен характер ростовых процессов сосны в разных регионах под действием климатических факторов [4, с. 450].

О важности изучения различных параметров годовых колец как источника дополнительной информации для понимания влияния климата на формирование древесины отмечается во многих работах. Помимо общей ширины годовых колец, для дендроклиматического анализа используются плотность древесины [26, с. 450] и анализ стабильных изотопов в кольцах [23, с. 18], однако такого рода исследования предполагают наличие дорогостоящего оборудования в отличие от измерений ШГК.

Количественное соотношение ранней и поздней древесины (далее — РД и ПД) в годовых кольцах также зависит от климатических условий [24, с. 80]. По мнению ряда авторов, выявить климатический сигнал и достоверные закономерности в данном случае сложнее [19, с. 173]. Возможно, этим объясняется тот факт, что публикаций, посвященных изучению климатического потенциала РД и ПД гораздо меньше. Так, в работе J. J. Samarero с соавт. (2020) отмечено, что на формирование ранней и поздней древесины у сосны обыкновенной влияют разные климатические факторы, поздняя древесина более чувствительна к климату вегетационного периода, особенно весенне-летним осадкам [16, с. 160]. Что касается исследований белорусских ученых, то по результатам изучения особенностей сезонного прироста древесины сосны в насаждениях на севере Беларуси, проведенных А.А. Болботуновым и Е.В. Дегтяревой (2020), установлено, что лимитирующим прирост как поздней, так и ранней древесины являются высокие температуры июля, а также засухи [1, с. 30].

На основании изложенного можно предположить, что на сегодняшний день определенный научный интерес представляют дендроклиматические исследования геоэкологической обусловленности прироста поздней древесины у *P. sylvestris*.

Цель данной работы — изучить особенности формирования поздней древесины белорусских популяций сосны обыкновенной на примере сосняков мшистых (*Pinetum pleurozium*) и выявить влияние на ксилогенез основных климатических факторов.

Объекты и методы исследования

Объекты исследования сосновые насаждения в наиболее типичных для страны условиях местопроизрастания во всех геоботанических подзонах Беларуси. Для закладки временных пробных площадей (ВПП) отбирались спелые (средний возраст — 92 года), чистые по составу сосняки мшистые (*Pinetum pleurozium*) I и II классов бонитета с полнотой 0,6–0,9.

Предмет исследования составили закономерности воздействия климатических факторов на ежегодный прирост поздней древесины сосны в условиях Беларуси.

Всего для дендроклиматических исследований заложено 106 ВПП, отобрано 4240 кернов (по 20 деревьев на каждой ВПП; по 2 керна с дерева). Выбирались хорошо развитые прямоствольные деревья, доминирующие в пологе древостоя, которые не имели механических и огневых повреждений, поскольку такие деревья лучше отражают изменение климатических условий.

Пробоподготовка буровых кернов и измерение ШГК осуществлялись способом, описанным в работе Хох А.Н. (2022) [15, с. 79]. На основании проведенных замеров ширин поздней древесины вдоль одного радиуса получались единичные серии, выраженные в абсолютных единицах (мм), которые впоследствии усреднялись для каждого дерева, а затем для каждой ВПП (абсолютные, raw-хронологии). Далее осуществляли перевод серий измерений из формата .xls/.xlsx в .rwl через универсальный конвертер TRICYCLE [17, с. 137]. Серии датировались в программе COFESHA (версия 6.06P) [20, с. 70]. Стандартизация серий в .rwl формате производилась с помощью программы ARSTAN (версия 44h3) [21, с. 54] с построением 106 локальных остаточных (res) древесно-кольцевых хронологий (далее — ДКХ) для каждой ВПП по ширине поздней древесины. Res-хронологии использовались поскольку доказано, что они наиболее пригодны для целей дендроклиматологии из-за усиленного сигнала высокочастотной составляющей климатической изменчивости [22]. Анализировался период с 1900 по 2015 годы.

Формирование массивов информации, их верификация, статистическая обработка и графическое отобра-

жение результатов исследований осуществлены в программных пакетах Microsoft Excel v.10.0 с надстройкой ExStatR [8, с. 42], SPSS v.22.0.

Процедуры классификации были проведены с использованием кластерного анализа. Расстояние между кластерами определялось с помощью инструмента «euclidean distance», которое представляет собой обычное геометрическое расстояние. Дендрограммы составлялись по методу (правилу объединения) Уорда, дающего наиболее наглядную и логически объяснимую схему кластеризации. Отличительная черта метода в том, что он использует дисперсионный анализ для оценки расстояний между кластерами [25, с. 477]).

Влияние климатических факторов на прирост выявлялось с помощью процедуры корреляционного анализа и множественной линейной регрессии. Расчет коэффициентов корреляции Пирсона и коэффициентов функции отклика проводился между индексами прироста и рядами метеопараметров за период с сентября предыдущего по сентябрь текущего года [25]. Бралась данные архива погоды Национального управления океанических и атмосферных исследований по 45 метеостанциям Беларуси (<https://www.ncei.noaa.gov/access/past-weather/Belarus>).

Результаты и обсуждение

На первом этапе 106 локальных res-хронологий были проанализированы с помощью метода кластерного анализа. Это было сделано для того, чтобы выделить среди них однородные группы (кластеры) и оценить их количество (рис. 1).

Как видно из рисунка 1, на дендрограмме, сформированной 106 терминальными группами (по числу исследованных res-хронологий), по количеству пересечений линии, проходящей на уровне евклидова расстояния 9,8, выделяется 3 кластера и при евклидовом расстоянии 3,3 — 11 подкластеров. Поскольку в данном случае использовался иерархический алгоритм кластеризации, однозначных решений о числе кластеров (подкластеров) не существует. Исходя из задач исследования и с учетом территориального расположения ВПП, для дальнейших исследований было построено 11 региональных res-хронологий. Во внимание был принят тот факт, что 11 подкластеров на дендрограмме могут быть четко отделены друг от друга прямыми линиями.

На рисунке 2 представлена карта районирования Беларуси по динамике прироста поздней древесины.

В таблице 1 представлены некоторые статистические характеристики прироста поздней древесины у сосняков мшистых для 11-ти региональных raw-хронологий.

Если рассматривать среднюю ширину ПД, то наибольшие значения характерны для raw-хронологий №1.4, №2.1 и №1.3, наименьшие — для raw-хронологий №3.3, №3.5 и №1.2. Значения минимумов и максимумов для всех хронологий отличаются в среднем в 2 раза; они характеризуют амплитуду изменчивости поздней древесины с учетом влияния возрастного тренда. Отметим, что приведенные сведения в большей степени носят описательный характер, поскольку для того, чтобы оценить, какие территории наиболее благоприятны для формирования поздней древесины, необходимо произвести расчеты %-го содержания ПД в годичном кольце. В данной работе такие расчеты не проводились.

Таблица 1.

Результаты сравнения параметров поздней древесины в raw-хронологиях, мм

№№ ДКХ	Ширина поздней древесины		
	M_x	Min	Max
raw 1.1	0,68	0,49	0,9
raw 1.2	0,50	0,33	0,71
raw 1.3	0,71	0,5	0,91
raw 1.4	0,73	0,45	0,93
raw 2.1	0,72	0,5	1,05
raw 2.2	0,69	0,5	0,94
raw 3.1	0,52	0,37	0,74
raw 3.2	0,69	0,47	1,11
raw 3.3	0,49	0,36	0,66
raw 3.4	0,51	0,34	0,72
raw 3.5	0,49	0,33	0,75

Примечание. M_x — среднее значение, Min — минимум, Max — максимум

Основные статистические характеристики региональных res-хронологий приведены в таблице 2.

Взаимная корреляция локальных хронологий в выделенных районах (кластерах) оказалась достаточно высокой (0,53–0,66), синхронность изменяется в пределах от 70 до 85 %, поэтому можно говорить о том, что во всех ДКХ содержится общий для района климатический сигнал. Для региональных хронологий наблюдаются значения стандартного отклонения в диапазоне 0,10–0,12. Разработанные ДКХ показывают невысокий коэффициент чувствительности (0,13), что во многом связано с тем, что климатические показатели в регионе исследования очень редко выходят за пределы оптимальных значений для роста сосны. При этом обращает на себя внимание более высокая чувствительность res-хронологий северных районов Беларуси к внешним факторам, чем южных (в 1,2 раза), т.е. именно они в большей степени подвержены влиянию климатических факторов. В то время как

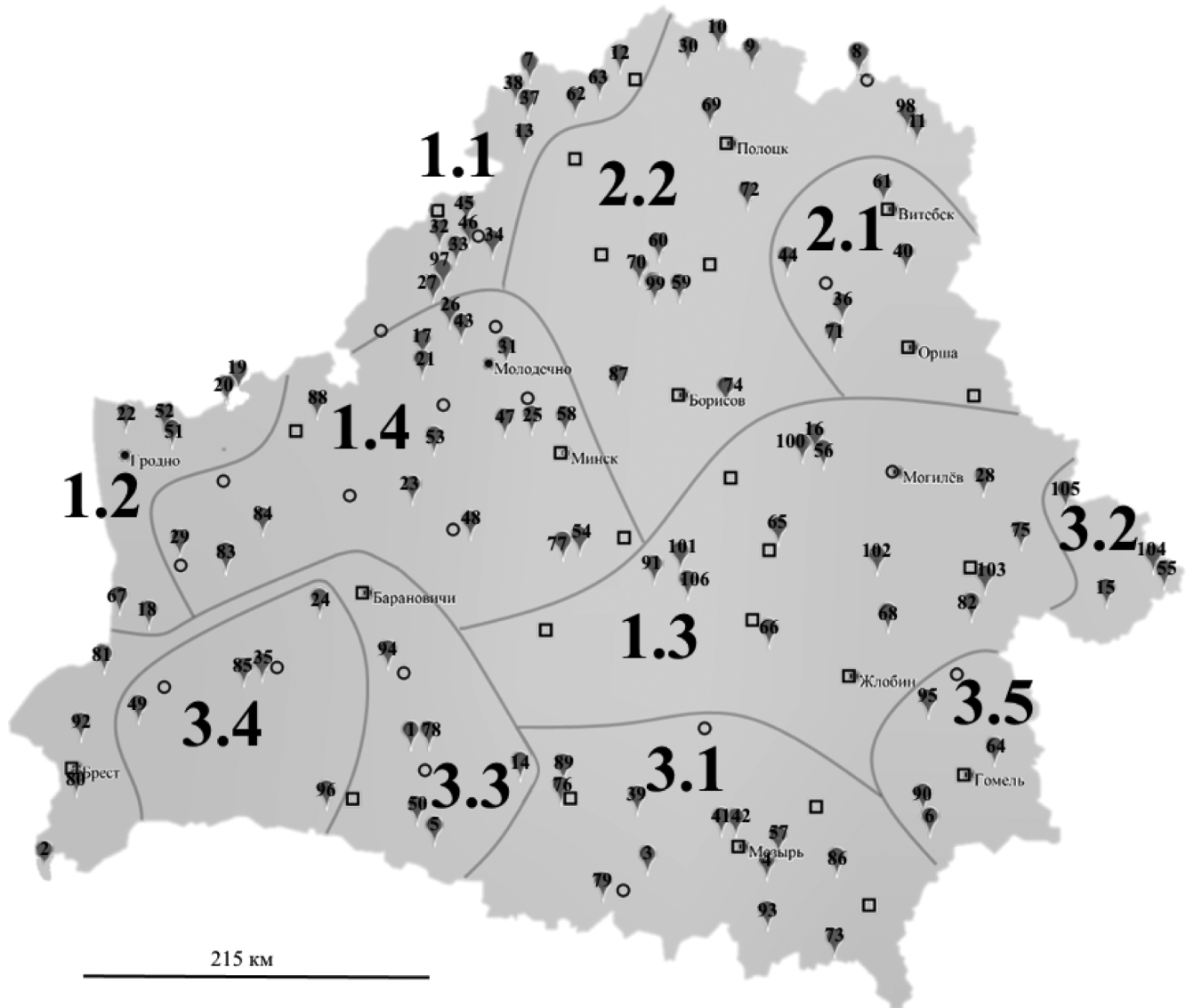


Рис. 2. Схема размещения ВПП (разделение на районы осуществлено по результатам кластерного анализа) и метеостанций (□ — действующие, ○ — не действующие по состоянию на 11.03.2024 г.)

для древесно-кольцевых хронологий по общей ШГК Ермахиным М.В. установлена обратная ситуация [4, с. 444]. Коэффициент асимметрии положительный и изменяется от 0,16 до 0,81, что указывает на асимметричность ДКХ. В *res*-хронологиях автокорреляция практически полностью подавлена (коэффициенты близки к нулю). Выделенные путем расчета значений собственных векторов в общей изменчивости прироста по ширине ПД главные компоненты демонстрируют, что основная дисперсия в ДКХ приходится на первые три компоненты и в среднем составляет более 65 %. Процентная часть дисперсии у *res*-хронологий 1, 5, 7 и 8 максимальная и составляет 78 %.

На рисунке 3 представлены региональные *res*-хронологии по поздней древесине.

Сравнительный анализ минимумов и максимумов прироста (таблица 3), т.е. тех лет, на которые для 80 и более % деревьев из ДКХ приходится снижение или увеличение прироста текущего года более чем на 20 % в сравнении с годом предыдущим показал, что максимальное число (29) наблюдается для *res*-хронологии 3.1, минимальное (21) для *res*-хронологии 3.4.

С использованием данных метеорологических станций проанализировано влияние среднемесячных температур воздуха и количества осадков на динамику прироста поздней древесины с целью выявления факторов, определяющих прирост сосняков мшистых (*Pinetum pleurozium*).

На рисунке 4 представлены рассчитанные коэффициенты корреляции и коэффициенты функции отклика

Таблица 2.

Статистические показатели региональных и res-хронологий по ширинам поздней древесины

№№ДКХ	±SD	SNS	As	Автокорреляция		r	% дисперсии			ΣPC1-PC3
				lag 1	lag 2		PC1	PC2	PC3	
Ширина годичного кольца										
res 1.1	0,12	0,14	0,38	0,002	0,047	0,60	68	6	4	78
res 1.2	0,11	0,12	0,42	0,004	0,069	0,59	70	6	2	78
res 1.3	0,11	0,12	0,55	0,006	0,087	0,59	60	8	7	75
res 1.4	0,11	0,12	0,22	-0,001	0,055	0,61	56	6	4	66
res 2.1	0,12	0,14	0,19	0,001	0,001	0,54	51	16	8	76
res 2.2	0,11	0,13	0,16	-0,001	0,052	0,53	54	7	6	67
res 3.1	0,12	0,11	0,47	0,000	-0,022	0,63	68	4	2	75
res 3.2	0,10	0,12	0,81	0,001	0,032	0,59	65	5	2	72
res 3.3	0,11	0,12	0,29	0,002	0,059	0,64	70	2	3	75
res 3.4	0,11	0,12	0,22	0,004	0,001	0,66	71	4	3	78
res 3.5	0,11	0,12	0,70	-0,001	-0,01	0,66	65	9	4	78

Примечание. SD — стандартное отклонение, SNS — коэффициент чувствительности, As — коэффициент асимметрии, lag 1 и lag 2 — автокорреляция первого и второго порядка, r — коэффициент корреляций локальных древесно-кольцевых хронологий, PC — главная компонента

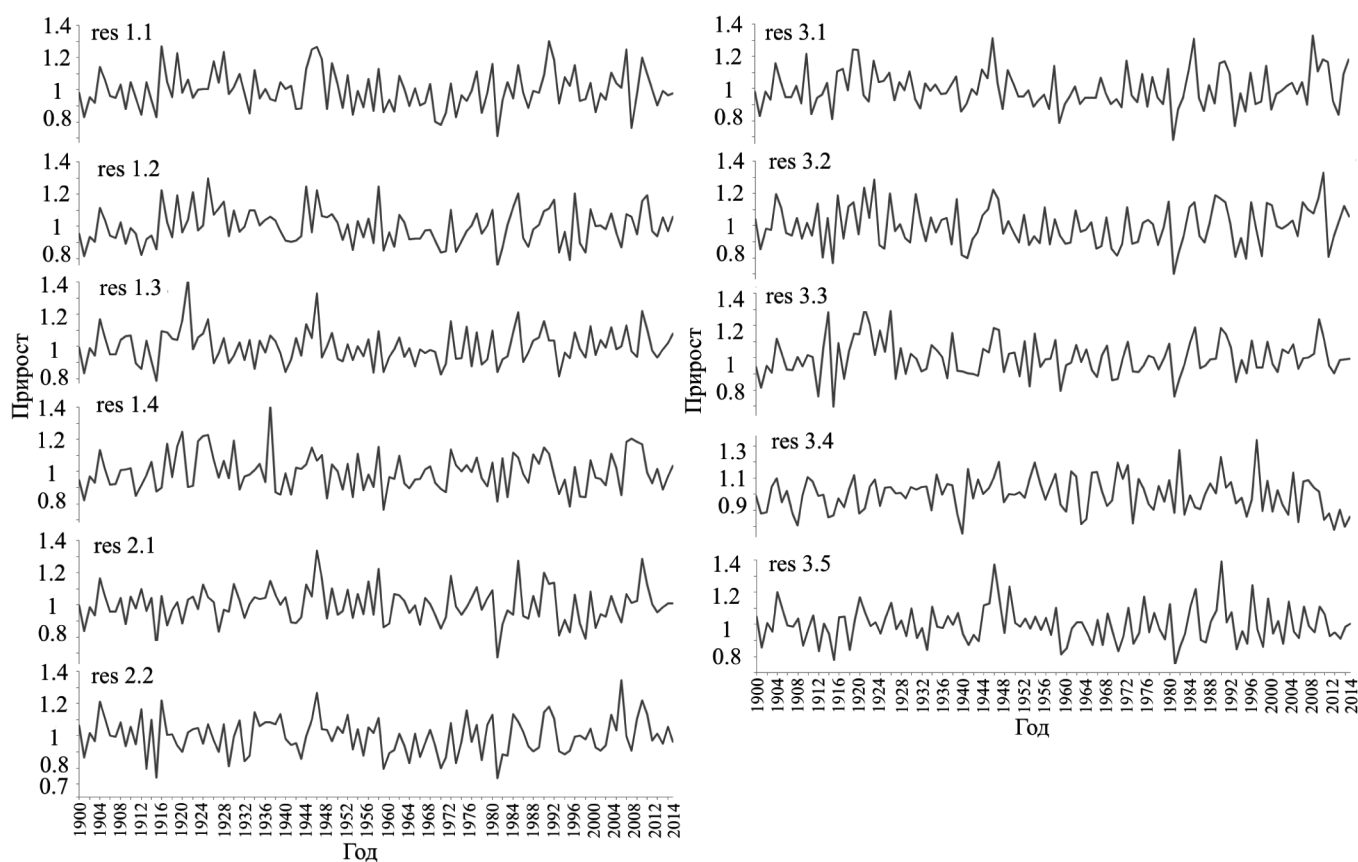


Рис. 3. Локальные res-хронологии по ширинам поздней древесины

Таблица 3.

Минимумы и максимумы прироста для 11-ти региональных res-хронологий по ширине поздней древесины

res 1.1	res 1.2	res 1.3	res 1.4	res 2.1	res 2.2	res 3.1	res 3.2	res 3.3	res 3.4	res 3.5
1904 (24)	1904 (24)	1904 (24)	1904 (22)	1904 (25)	1904 (26)	1904 (24)	1904 (23)	1904 (23)	1909 (23)	1904 (26)
1913 (24)	1916 (43)	1913 (20)	1917 (30)	1915 (-29)	1912 (23)	1910 (34)	1912 (21)	1912 (-25)	1920 (-21)	1912 (-21)
1916 (54)	1919 (28)	1916 (39)	1921 (-28)	1916 (42)	1913 (-32)	1911 (-31)	1913 (-29)	1913 (40)	1935 (25)	1913 (21)
1919 (29)	1925 (29)	1921 (22)	1923 (30)	1944 (22)	1914 (38)	1915 (-22)	1914 (30)	1914 (21)	1941 (53)	1916 (35)
1929 (-21)	1944 (33)	1922 (-31)	1930 (25)	1946 (27)	1915 (-33)	1916 (36)	1915 (-27)	1915 (-46)	1948 (-21)	1919 (22)
1934 (32)	1945 (-23)	1926 (-23)	1931 (-26)	1948 (-21)	1916 (66)	1919 (26)	1916 (55)	1916 (57)	1961 (28)	1934 (33)
1944 (28)	1946 (27)	1935 (21)	1937 (51)	1949 (20)	1929 (-25)	1921 (-23)	1917 (-23)	1917 (-21)	1963 (-27)	1944 (25)
1948 (-26)	1954 (21)	1944 (21)	1938 (-38)	1956 (22)	1930 (23)	1923 (27)	1918 (22)	1918 (21)	1965 (34)	1946 (21)
1949 (32)	1958 (40)	1946 (26)	1948 (-24)	1958 (30)	1932 (-23)	1940 (-20)	1921 (23)	1926 (24)	1970 (24)	1949 (30)
1952 (23)	1959 (-32)	1947 (-30)	1949 (25)	1959 (-30)	1934 (31)	1946 (24)	1923 (-32)	1927 (-33)	1973 (-31)	1959 (-26)
1953 (-23)	1962 (23)	1958 (31)	1954 (32)	1961 (21)	1956 (20)	1947 (-22)	1924 (41)	1928 (22)	1974 (34)	1968 (23)
1958 (30)	1972 (30)	1959 (-23)	1955 (-21)	1972 (28)	1959 (-29)	1949 (28)	1926 (34)	1938 (33)	1982 (44)	1973 (-20)
1959 (-24)	1973 (-24)	1972 (30)	1958 (28)	1981 (-38)	1965 (22)	1958 (31)	1931 (32)	1939 (-20)	1983 (-32)	1975 (24)
1962 (26)	1981 (-31)	1973 (-20)	1959 (-34)	1982 (31)	1972 (25)	1959 (-31)	1939 (-30)	1948 (-22)	1990 (22)	1980 (24)
1969 (-22)	1986 (-23)	1975 (21)	1960 (27)	1985 (36)	1973 (-23)	1972 (32)	1940 (25)	1952 (25)	1997 (38)	1981 (-34)
1972 (21)	1993 (-28)	1976 (-22)	1972 (30)	1986 (-27)	1975 (20)	1977 (21)	1956 (-21)	1953 (-25)	1998 (-33)	1986 (-26)
1973 (-20)	1996 (53)	1977 (24)	1981 (-23)	1990 (30)	1978 (-20)	1980 (24)	1961 (22)	1954 (40)	1999 (21)	1990 (28)
1978 (-23)	1997 (-25)	1981 (-23)	1982 (33)	1993 (-29)	1979 (26)	1981 (-39)	1965 (20)	1959 (-28)	2004 (30)	1991 (-27)
1981 (-39)	1999 (32)	1986 (-25)	1983 (-22)	1996 (28)	1981 (-35)	1982 (28)	1971 (25)	1969 (-20)	2005 (-27)	1993 (-21)
1982 (31)	2006 (24)	1993 (-22)	1984 (33)	1999 (37)	1982 (21)	1986 (-28)	1972 (-20)	1981 (-30)	2006 (30)	1996 (41)
1985 (22)	2009 (22)	1999 (21)	1996 (31)	2000 (-21)	1984 (30)	1990 (27)	1980 (-39)	1986 (-22)		1997 (-22)
1993 (-23)		2009 (30)	1999 (27)	2009 (26)	1990 (24)	1993 (-30)	1991 (-20)	1993 (-20)		1999 (35)
2006 (24)			2003 (21)		2005 (31)	1994 (26)	1994 (44)	1996 (22)		2003 (29)
2007 (-39)			2006 (39)		2006 (-26)	1996 (28)	2005 (22)	2009 (21)		2006 (21)
2008 (28)					2008 (22)	1999 (25)	2010 (-39)			
2009 (23)						2000 (-24)				
						2008 (48)				
						2012 (-21)				
						2014 (30)				

Примечание. Минимумы прироста выделены жирным шрифтом

для региональных res-хронологий по ширине поздней древесины с месячными суммами осадков и среднемесячными температурами за период с января по сентябрь текущего года и с сентября по декабрь предыдущего года роста дерева (статистически значимые значения ($p < 0,05$) показаны темным цветом на гистограммах и квадратными маркерами на линиях).

Анализ коэффициентов корреляции показал следующие результаты. В дендрохронологически однородном по приросту поздней древесины районе №1, состоящем из 4 подрайонов, res-хронология 1.1 отрицательно коррелирует с температурой декабря предшествующего года ($r = -0,21$) и осадками марта текущего года ($r = -0,20$); res-хронология 1.2 положительно коррелирует с температурой сентября ($r = 0,25$) и осадками октября ($r = 0,24$) предшествующего года, отрицательно коррелирует с осадками марта текущего года ($r = -0,22$); res-хронология 1.3 положительно ($r = 0,20$), а res-хронология 1.4 отрицательно ($r = -0,34$) коррелируют с температурой сентября предшествующего года. В рай-

оне №2, состоящем из 2 подрайонов, res-хронология 2.1 положительно коррелирует с осадками июня ($r = 0,22$) и июля ($r = 0,21$), а res-хронология 2.2 с температурой января текущего года ($r = 0,34$). В районе №3, состоящем из 5 подрайонов, res-хронология 3.1 положительно коррелирует с осадками октября предшествующего года ($r = 0,25$) и осадками апреля ($r = 0,25$) и июня ($r = 0,28$) текущего года; res-хронологии 3.2 и 3.3 положительно коррелируют с температурой сентября (среднее = $0,21$), осадками октября ($r = 0,21$) (res 3.2) и ноября ($r = 0,20$) (res 3.3) предшествующего года; res-хронология 3.4 отрицательно коррелирует с осадками февраля ($r = -0,22$), июня ($r = -0,27$) и июля ($r = -0,32$) текущего года; хронология 3.5 отрицательно коррелирует с осадками марта ($r = -0,30$) текущего года.

Анализ функции отклика, которая, в отличие от корреляционных связей, учитывает взаимную корреляцию климатических параметров что, уменьшает вероятность обнаружения случайных корреляционных связей с приростом деревьев, для res-хронологий 1.4, 2.2, 3.2 и 3.4

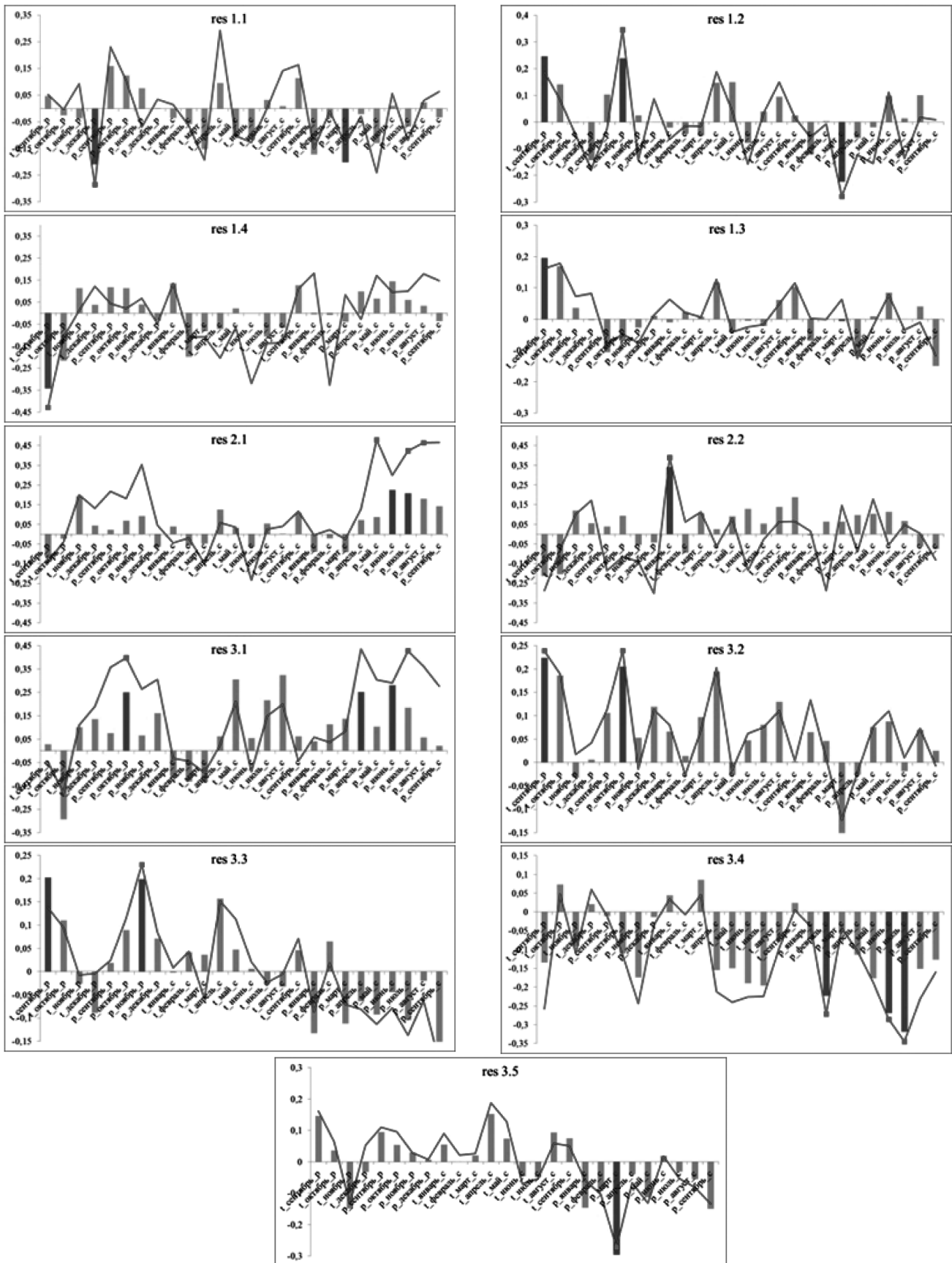


Рис. 4. Коэффициенты корреляции (гистограммы) и коэффициенты функций отклика (линии), р — осадки, t — температура; с — текущий год, р — предыдущий год

показал те же результаты, что и корреляционный анализ. Для *res*-хронологий 1.1., 1.2 и 3.3. значимые функции отклика совпали не со всеми значимыми коэффициентами корреляции, но в целом результаты оказались схожи. Для *res*-хронологий 2.1 и 3.1 наблюдалась некоторая несогласованность между рассчитанными коэффициентами корреляции и функциями отклика. У *res*-хронологий 1.3 и 3.5 значимых функций отклика с температурами и осадками выявлено не было.

Следует отметить, что выявленные взаимосвязи между температурой, осадками и приростом поздней древесины находятся на уровне низкой статистической значимости ($p \leq 0,05 > 0,01$), реже на уровне средней силы ($p \leq 0,01 > 0,001$). Данный факт, вероятно, связан с тем, что, несмотря на присущее территории Беларуси разнообразие и динамичность элементов климата, ярко выраженные внешние факторы, лимитирующие прирост, здесь отсутствуют. Кроме того, сосна обыкновенная — это вид, произрастающий в широких пределах условий местобитаний, который имеет большую экологическую амплитуду.

Заключение

В процессе проведения исследований были получены новые данные, которые позволили доказать, что сосняки мшистые (*Pinetum pleurozium*), произрастающие на территории Беларуси, отличаются друг от друга

закономерной изменчивостью прироста поздней древесины. Экспериментально установлено, что вся совокупность *res*-хронологий (106) по поздней древесине разделилась на 3 дендрохронологически однородных района, в которых выделено от 2 до 5 подрайонов. По выделенным подрайонам были составлено 11 региональных *res*-хронологий. Может быть в порядке обсуждения сравнить ваше районирование с геоботаническим районированием и данными Ермохина по полной ШГС? Используя данные метеостанций о среднемесячных температурах воздуха и количестве осадков, проанализировано их влияние на динамику радиального прироста поздней древесины в выделенных подрайонах.

Полученные данные имеют общепроизводственную направленность, но смогут найти применение и в сфере судебно-экспертной деятельности при проведении дендрохронологических экспертиз, которые в 2020 году включены в Перечень видов (подвидов) судебных экспертиз, проведение которых осуществляется государственными судебно-экспертными организациями (приложение к постановлению Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь от 26.10.2020 №9) [9, с.18]. Изучение ДКХ по ширине поздней древесины позволит повысить разрешающую способность дендрохронологического анализа, особенно при исследовании «благодушных» хронологий, датировать которые довольно трудно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Болботунов А.А. Особенности сезонного годичного прироста древесины хвойных пород в насаждениях на севере Беларуси / А.А. Болботунов, Е.В. Дегтярева // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. Ф. Строительство. Прикладные науки. — 2020. — № 8. — С. 29–32.
2. Вихров В.Е. Прирост древесины сосны в связи с условиями обитания и изменениями погоды / В.Е. Вихров, Р.Т. Протасевич // Экология древесных растений: сб. науч. ст. — Минск, 1965. — С. 92–100.
3. Ермохин М.В. Влияние климатических факторов на радиальный прирост деревьев сосны, ели и дуба в Беловежской пуще / М.В. Ермохин, В.В. Савельев // Особо охраняемые природные территории Беларуси. Исследования: сб. науч. ст. Минск: Белорусский Дом печати. — 2011. — № 6. — С. 28–44.
4. Ермохин М.В. Дендрохронологическое районирование сосны обыкновенной в Беларуси / М.В. Ермохин // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия биологических наук. — 2020. — Т. 65, № 4. — С. 441–453. DOI: 10.29235/1029-8940-2020-65-4-441-453.
5. Изменчивость роста и «климат-реакции» сосны обыкновенной на приарктической территории / Пинаевская Е.А. [и др.] // Арктические исследования: от экстенсивного освоения к комплексному развитию: сб. тр. конф. — 2020. — С. 403–407.
6. Матвеев С.М. Климатический сигнал в радиальном приросте сосновых древостоев модальных типов леса Воронежской области / С.М. Матвеев // Лесохозяйственная информация. — 2017. — № 1. — С. 99–108.
7. Неверов Н.А. Радиальный рост сосны обыкновенной в условиях северной тайги / Н.А. Неверов, З.Б. Чистова, А.Л. Минеев // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. — 2022. — № 6. — С. 193–205. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-6-193-205.
8. Новаковский А.Б. ExStat—расширение Excel для статистической обработки данных в экологии / А.Б. Новаковский, И.В. Новаковская // Цианопрокарियोты/цианобактерии: систематика, экология, распространение: сб. тр. конф. — 2019. — С. 41–44.
9. Постановление Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь от 9 ноября 2020 г. № 11 «Об осуществлении деятельности по проведению судебных экспертиз» — 18 с.
10. Региональные эдафические и климатические особенности Белорусского Полесья в изменчивости радиального прироста сосны / Киселев В.Н. [и др.] // Природопользование. — 2014. — № 25. — С. 29–38.
11. Румянцев Д.Е. Дендроклиматический анализ роста сосны обыкновенной в условиях сосняка лещинового (Одинцовский район Московской области) / Д.Е. Румянцев, А.В. Черашев // Уральский научный вестник. — 2017. — Т. 10, № 2. — С. 28–39.
12. Рыгалова Н.В. Сравнительный анализ древесно-кольцевых хронологий ленточных и островных боров на южной границе ареала сосны обыкновенной в Западной Сибири / Н.В. Рыгалова // География и природопользование Сибири. — 2017. — № 24. — С. 118–128.

13. Сравнительный анализ радиальных приростов хвойных лесообразователей в одинаковых лесорастительных условиях / Иванов В. П. [и др.] // Роль учебно-опытных лесхозов вузов России в подготовке кадров для лесного сектора: сб. тр. конф. — 2017. — С. 125–130.
14. Хвойные леса Беларуси в современных климатических условиях (дендроклиматический анализ) / Киселев В.Н. [и др.]. — Минск: Право и экономика, 2013. 201 с.
15. Хох А.Н. Индивидуальные признаки в строении годичных слоев и использование их для установления места произрастания / А.Н. Хох, П.С. Восканян, А.А. Петросян // Судебная экспертиза Беларуси. 2022. № 1. С. 76–82.
16. Associations between climate and earlywood and latewood width in boreal and Mediterranean Scots pine forests / Camarero J.J. [et al.]. — *Trees*. 2021. — Vol. 35. — P. 155–169. DOI: 10.1007/s00468-020-02028-0.
17. Brewer P.W. TRICYCLE: a universal conversion tool for digital tree-ring data / P. W. Brewer, D. Murphy, E. Jansma // *Tree-Ring Research*. — 2011. — Vol. 67, N 2. — P. 135–144. <https://doi.org/10.3959/2010-12.1>
18. Briffa K.R. Summer temperature patterns over Europe: a reconstruction from 1750 AD based on maximum latewood density indices of conifers / K.R. Briffa, P.D. Jones, F.H. Schweingruber // *Quaternary Research*. — 1988. — Vol. 30, N 1. — P. 36–52. DOI: 10.1016/0033-5894(88)90086-5.
19. Earlywood and latewood widths of *Picea chihuahuana* show contrasting sensitivity to seasonal climate / Cabral-Alemán C. [et al.] // *Forests*. — 2017. — Vol. 8, N 5. — P. 173. DOI: 10.3390/f8050173.
20. Holmes R.L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement / R.L. Holmes // *Tree-Ring Bulletin*. — 1983. —N 43. — P. 69–78.
21. Holmes R.L. User's manual for program ARSTAN. *Tree-Ring Chronologies of Western North America: California, Eastern Oregon and Northern Great Basin*. / R.L. Holmes, R.K. Adams, H.C. Fritts // University of Arizona, Tucson, 1986. — P. 50–56.
22. Kuznetsova V.V. Contrasting climate signals across a Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) tree-ring network in the Middle Volga (European Russia) / V.V. Kuznetsova, O.N. Solomina // *Dendrochronologia*. — 2022. — Vol. 73. — P. 125957.
23. Leavitt S.W. Isotope dendrochronology: historical perspective / S.W. Leavitt, J. Roden // *Stable Isotopes in Tree Rings: Inferring Physiological, Climatic and Environmental Responses*. — Cham: Springer International Publishing, 2022. — P. 3–20. DOI: 10.1007/978-3-030-92698-4_1.
24. Radaković N. Climate signals in earlywood, latewood and tree-ring width chronologies of sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) from Majdanpek, North-Eastern Serbia / N. Radaković, B. Stajić // *Drvna industrija*. — 2021. — Vol. 72, N 1. — P. 79–87. DOI: 10.5552/drvind.2021.2016.
25. Sharma A. Review of clustering methods: toward phylogenetic tree / A. Sharma, S. Jaloree, R.S. Thakur // *Proceedings of International Conference on Recent Advancement on Computer and Communication*. — Springer, Singapore, 2018. — P. 475–480. DOI: 10.1007/978-981-10-8198-9_50
26. Tree rings, wood density and climate-growth relationships of four Douglas-fir provenances in sub-Mediterranean Slovenia / Krajnc L. [et al.] // *Trees*. — 2023. — Vol. 37, N 2, — P. 449–465. DOI: 10.1007/s00468-022-02362-5.

© Хох Анна Николаевна (1ann1hoh@gmail.com); Звягинцев Вячеслав Борисович (mycolog@tut.by)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»