

УДК 57.063:630*5:582.475

Аномалии структуры годовичных слоев сосны обыкновенной в зависимости от типа леса

А.Н. ХОХ, В.Б. ЗВЯГИНЦЕВ

По результатам микроскопического исследования на ядрах древесины из сосняка мшистого было выявлено 109 аномалий структуры и 8 выпавших годовичных слоев, в то время как для сосняка багульникового – 259 и 85 соответственно, т. е. с ухудшением условий роста количество аномалий увеличилось в 2,9 раза, а выпавших слоев – в 10,6 раза. Стабилизированная частота (Fstab) их встречаемости составила 1,08 для ВПП №1 и 0,77 для ВПП № 3 (сосняк мшистый), 2,34 для ВПП № 2 и 3,1 для ВПП № 4 (сосняк багульниковый); при этом для сосняков, произрастающих в Брестском лесхозе, по сравнению с ГПУ НП «Браславские озера» Fstab меньше в 1,32 раза для сосняка мшистого и 1,4 раза для сосняка багульникового. Вне зависимости от типа леса ведущим типом аномалий структуры годовичных слоев на всех исследованных ВПП являются флуктуации плотности поздней древесины (тип IADF L) – в сосняке мшистом они составляют 44,4 % от всех аномалий, в сосняке багульниковом – 29 %. При этом 92,4 % из всех обнаруженных нарушений приходится на следующие годы: 1920, 1928, 1930, 1940, 1944, 1946, 1952, 1958, 1963, 1964, 1971, 1977, 1981, 1982, 1983, 1984, 1988, 1990, 1991, 1992, 1994, 1999, 2000, 2002, 2010 и 2015.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, условия произрастания, выпавшие кольца, аномалии структуры, почвенно-гидрологический режим.

According to the results of microscopic examination, 109 structural anomalies and 8 fallen out annual tree layers were revealed on cores of wood from the mossy pine forest, while for the ledum pine forest – 259 anomalies and 85 fallen annual tree layers, i. e. with the deterioration of growth conditions, the number of anomalies increased 2,9 times, and the number of fallen layers – 10,6 times. The stabilized frequency (Fstab) of their occurrence was 1,08 for TSP № 1 and 0,77 for TSP № 3 (mossy pine forest), 2,34 for TSP № 2 and 3,1 for TSP № 4 (ledum pine forest); at the same time, for pine forests growing in the Brest forestry, in comparison with the SNP «Braslavskie Ozera», Fstab is 1,32 times less for mossy pine forest and 1,4 times for ledum pine forest. Regardless of the type of forest, the leading type of anomalies in the structure of annual layers on all studied TSP is density fluctuations of late wood (type IADF L) – in the mossy pine forest they make up 44,4 % of all anomalies, in the ledum pine forest – 29 %. Moreover, 92,4 % of all the detected violations occurred in the following years: 1920, 1928, 1930, 1940, 1944, 1946, 1952, 1958, 1963, 1964, 1971, 1977, 1981, 1982, 1983, 1984, 1988, 1990, 1991, 1992, 1994, 1999, 2000, 2002, 2010 and 2015.

Keywords: Scots pine, growing conditions, missing rings, structural anomalies, soil-hydrological regime.

Введение. Известно, что в начале периода роста (весной и до середины лета) формируются трахеиды большого диаметра с тонкой клеточной стенкой, а с середины лета и до осени (в условиях Беларуси в отдельные годы до октября) – диаметр образующихся трахеид уменьшается, а клеточная стенка становится толще. В результате в годовичном слое (далее – ГС) четко различаются по размерам, цвету и плотности зоны ранней и поздней древесины. Переход между клетками ранней и поздней древесины внутри ГС постепенный, в то время как между клетками поздней древесины предыдущего слоя и ранней последующего – резкий. В течение вегетационного сезона у деревьев обычно образуется один годовичный слой. В благоприятный год нарастает широкий годовичный слой, в неблагоприятный – узкий. Однако бывают случаи, когда под влиянием внешних неблагоприятных факторов возникают нарушения структуры ГК. Так, из-за временных засух, весенних заморозков, объедания ассимиляционного аппарата насекомыми и т. д. начавшиеся весной рост дерева и отложение ранней древесины могут резко замедлиться, и тогда камбий откладывает более плотную древесину. Когда условия становятся более благоприятными, происходит возобновление образования крупных тонкостенных клеток. В результате этого годовичный прирост древесины выглядит как два слоя. Такое явление называется флуктуация плотности древесины (IADF).

В особо неблагоприятные годы (продолжительные засухи, холод, пожары и т. д.) камбий может совсем не отложить ГС древесины, либо прирост будет настолько мал (< 2 слоев

клеток), что образовавшийся слой невозможно отличить от соседних. Как следствие этого в одних случаях годичные слои выпадают полностью, а в других – частично, только в каком-либо секторе окружности ствола.

В конце весны под влиянием поздних заморозков у хвойных деревьев могут формироваться морозобойные повреждения, состоящие из нескольких последовательно переходящих друг в друга слоев деформированных клеток, искривленных сердцевинных лучей и патологических смоляных ходов.

Аномалии структуры ГК обуславливаются широким спектром микроклиматических, фитоценологических, лесопатологических, лесоводственных, рекреационных воздействий на растения и локальную среду их обитания. Доказано, что восприимчивость к их образованию зависит от многих индивидуальных характеристик дерева, таких как возраст, толщина ствола, высота дерева [1, с. 29], [2], скорость роста [3], [4] или уровень конкуренции [5]. При этом следует отметить, что, несмотря на то, что чрезвычайно большую роль в изменчивости ширины годичных слоев сосновых насаждений играют почвенно-экологические условия среды, исследований, связанных с анализом нарушений анатомической структуры и выпавших ГС в образцах древесины из контрастных местообитаний, не проводилось.

Цель работы – провести сравнительный анализ аномалий структуры годичных слоев сосны обыкновенной в контрастных экологических условиях и выявить различия в частоте их встречаемости у деревьев, произрастающий в сосняке мшистом (*Pinetum pleurozium*) и сосняке багульниковом (*Pinetum ledosum*).

Рабочая гипотеза базировалась на предположении о том, что на гидроморфных почвах частота встречаемости аномалий структуры годичных слоев увеличивается.

Материал и методика исследований. В работе использованы буровые керны с 4-х временных пробных площадей (далее – ВПП), заложенных во время полевых работ в 2016–2017 гг. на территории Брестской и Витебской областей Беларуси. Керны отбирались у 40-ка деревьев сосны высших классов Крафта возрастным буром «Haglof» с противоположных сторон перпендикулярно продольной оси ствола дерева на высоте 0,2 м от поверхности земли. Такая высота отбора позволила оценить число аномалий структуры годичных слоев, возникших под действием микролокальных условий произрастания деревьев и слабых приземных заморозков [6].

Определение состава и структуры сосновых насаждений на них проводилось с использованием общепринятых в геоботанике, лесоводстве и лесной таксации методов [7]. При характеристике ВПП учитывались стандартные характеристики: относительное положение места, состав пород, средний диаметр, высота и возраст модельных деревьев, почвенные характеристики, густота, состав подроста, его высота и возраст.

У всех деревьев на пробной площади измерялся диаметр стволов на высоте 1,3 м и общая высота. Каждому дереву присваивался класс Крафта. Краткая характеристика исследованных древостоев приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Таксационные показатели древостоев сосны обыкновенной

№ ВПП	Лесхоз	Лесничество	Квартал	Тип леса	ТЛУ	Состав	Возраст, лет	Класс бонитета	Полнота	Высота (h), м	Диаметр на высоте 1,3 м (d), см	h/d, %
1	ГПУ НП «Браславские озера»	Браславское	42	С.мш	B2	10С + Е	130	I	0,9	23	24	96
2		Замошское	183	С.баг	A5	10С	170	Va	0,7	19	22	86
3	Брестский	Брестское	106	С.мш	A2	10С	120	I	0,8	24	28	86
4		Брестское	106	С.баг	A5	10С	150	IV	0,6	19	24	79

В лабораторных условиях буровые керны замачивались на 10–15 минут в горячей воде, а затем ножом пистолетным с выдвижным трапецевидным лезвием в поперечном направлении срезали верхнюю часть толщиной 1–1,5 мм. Для удобства обрезки и предотвращения разлома

кern предварительно закрепляли с помощью винтов на металлическом кернодержателе. Старались добиться максимально ровной плоскости и избежать образования царапин и др. изъянов на поверхности образца. Далее керны сканировали на планшетном сканере Epson Perfection V19 с разрешением 1200 dpi. Измерение ширины ГК у образцов проводилось с помощью автоматизированного рабочего места «DendroExp» (с точностью до 0,01 мм) [8]. Серии датировались посредством сочетания графической перекрестной датировки [9] и кросс-корреляционного анализа в пакете специализированных программ для дендрохронологических исследований – DPL [10]. Результатом работы стало построение 4-х ДКХ. Они были стандартизированы скользящим сплайном в 2/3 длины каждой серии в программе ARSTAN [11].

Нарушения структуры годовичных слоев выявлялись путем визуального осмотра образцов с помощью стереоскопического микроскопа Leica S4E (Leica Microsystems) при 30-кратном увеличении. В работе учитывался период с 1916 по 2016 г., т. е. минимальный средний возраст (ВПП № 3) за вычетом первых 20 лет жизни деревьев, поскольку в этот период они получают повреждения даже при незначительных заморозках из-за тонкого теплоизоляционного слоя коры, а потому не вполне адекватно отражают экологические условия роста.

На рисунках 1 и 2 представлены все типы аномальных структур, которые анализировались при проведении исследования:

- 1) IADF L – слой клеток ранних трахеид в пределах поздней древесины;
- 2) IADF L+ – постепенный переход от ранней древесины к поздней (промежуточные трахеиды);
- 3) IADF E – слой клеток поздних трахеид в пределах ранней древесины;
- 4) IADF E+ – постепенный переход от поздней древесины к ранней (промежуточные трахеиды);
- 5) f – морозобойное повреждение (слой искривленных трахеид);
- 6) m – выпавший слой (в отличие от остальных аномалий выступает интегральным индикатором температурного режима вегетационного сезона в целом [12]).

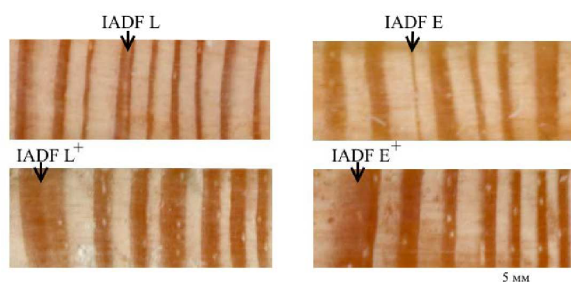


Рисунок 1 – Флуктуации плотности древесины внутри годовичных слоев



Рисунок 2 – Частично выпавший слой (m) и морозобойные повреждения (f)

Частота аномалий структуры ГК (F_{rel}) и стабилизированная частота (F_{stab}) рассчитывались по следующим формулам [1, с. 22]:

$$F_{rel} = \left(\frac{n_x}{N} \right) \times 100 \quad (1)$$

$$F_{stab} = \left(\frac{n_x}{N} \right) \times N^{0,5} \quad (2)$$

где n_x – количество аномалий; N – количество исследованных годовичных слоев.

Статистическая обработка материалов исследования проводилась с использованием статистических пакетов Microsoft Excel v.10.0, SPSS v.22.0 и Statistica v.10.0. Применялись следующие методы: одномерная описательная статистика для каждого из исследуемых параметров, двухфакторный дисперсионный анализ ANOVA, кластерный анализ.

Результаты исследований и их обсуждение. На основании рассчитанных параметров радиального прироста по каждой ВПП построены обобщенные древесно-кольцевые хронологии (далее – ДКХ). В таблице 2 приведены статистические показатели качественной оценки имеющегося дендрохронологического материала (номер ДКХ соответствует номеру ВПП).

Таблица 2 – Статистические показатели обобщенных ДКХ

№ ДКХ	M_x , мм	min, мм	max, мм	S_x	m_x	CV, %	COR	SNS	SNR	EPS
1	1,23	0,6	2,5	0,53	0,09	43,4	0,68	0,13	85	0,988
2	0,63	0,31	1,34	0,19	0,03	30,2	0,69	0,20	89	0,989
3	1,52	0,51	2,80	0,54	0,09	35,7	0,70	0,14	93	0,989
4	0,76	0,45	1,61	0,20	0,03	26,3	0,68	0,19	85	0,988

Примечание: M_x – среднее арифметическое значение ширины годичного слоя; min, max – минимальное и максимальное значения ширины годичного слоя; S_x – среднее квадратичное отклонение; m_x – ошибка среднего; CV – коэффициент вариации; COR – средний межсерийный коэффициент корреляции; SNS* – коэффициент чувствительности; SNR* – коэффициент «сигнал-шум»; EPS* – выраженный сигнал популяции; * расчет проводился по формулам, изложенным в работе Д.В. Тишина, Н.А. Чижиковой (2018) [13].

Анализ полученных результатов показал, что ширина годичных слоев у исследованных деревьев сосны из мшистого типа леса варьируется от 0,51 до 2,8 мм, а из багульникового типа леса – от 0,31 до 1,61 мм. Результаты двухфакторного дисперсионного анализа показали достоверное влияние фактора «тип леса» ($F = 105,6$, $p < 0,001$) и фактора «географическая широта» ($F = 8$, $p = 0,005$) на среднюю ширину годичного слоя, взаимодействие факторов ($F = 1,1$, $p = 0,3$) не доказано ($R^2 = 0,41$).

Величина стандартного отклонения максимальна у деревьев, произрастающих на ВПП № 3 (0,54), а минимальна – у деревьев с ВПП № 2 (0,19). Самый высокий коэффициент вариации характерен для ДКХ № 1 (43,4 %), самый низкий – для ДКХ № 4 (26,3 %). Деревья на каждой ВПП отличаются высокой синхронностью погодичной изменчивости радиального прироста, что подтверждается высокими межсерийными коэффициентами; среднее значение составляет 0,69.

Коэффициенты чувствительности колеблются от 0,13 до 0,20; при этом установлен их рост при повышении влажности почвы (SNS для сосняка мшистого составляет 0,14; SNS для сосняка багульникового составляет 0,20). Двухфакторный дисперсионный анализ (географическая широта, тип леса) доказал достоверное влияние фактора «тип леса» на величину коэффициента чувствительности ($F = 148,6$, $p < 0,001$), в то время как влияние фактора «географическая широта» ($F = 0,21$, $p = 0,65$) и взаимодействие факторов ($F = 2,1$, $p = 0,16$) доказано не было ($R^2 = 0,79$).

Рассчитанные отношения сигнал-шум (SNR) составили от 85 до 93, т. е. обобщенные хронологии содержат достаточно высокую изменчивость, объясняющуюся влиянием климатических факторов (сравнение по данному параметру правомерно, поскольку объем выборок одинаков для всех ДКХ [14]).

Среднее значение EPS составило 0,99, что позволяет считать полученные ДКХ достаточно представительными, т. е. ширина годичных слоев за каждый год адекватно отражает прирост всей совокупности (пороговое значение EPS = 0,85 [15]).

По результатам микроскопического исследования на кервах древесины было выявлено 368 аномалий структуры и 93 выпавших ГС. Дифференцированные результаты с рассчитанной частотой встречаемости приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Аномалии ГС

Параметр	ВПП № 1	ВПП № 2	ВПП № 3	ВПП № 4
n_x	68	196	49	148
IADF L	26 (38 %)	60 (31 %)	26 (53 %)	40 (27 %)
IADF L ⁺	14 (21 %)	35 (18 %)	12 (24 %)	21 (14 %)
IADF E	5 (7 %)	19 (10 %)	3 (6 %)	14 (9 %)
IADF E ⁺	4 (6 %)	17 (9 %)	–	5 (3 %)
f	13 (19 %)	19 (10 %)	6 (12 %)	29 (20 %)
m	6 (9 %)	46 (23 %)	2 (4 %)	39 (26 %)
F_{rel}	1,70	4,90	1,23	3,70
F_{stab}	1,08	3,10	0,77	2,34

В результате анализа распределения аномалий, зафиксированных на образцах с ВПП № 1, было выявлено, что флуктуации плотности поздней древесины (IADF L и IADF L⁺) составляют 59 %, флуктуации плотности ранней древесины (IADF E и IADF E⁺) – 13 %, морозобойные повреждения (f) – 19 % и выпавшие слои (m) – 9 % от общего числа зафиксированных аномалий. Для ВПП № 2 флуктуации плотности поздней древесины (IADF L и IADF L⁺) составляют 49 %, флуктуации плотности ранней древесины (IADF E и IADF E⁺) – 19 %, морозобойные повреждения (f) – 10 % и выпавшие слои (m) – 23 % от общего числа зафиксированных аномалий. Для ВПП № 3 флуктуации плотности поздней древесины (IADF L и IADF L⁺) составляют 77 %, флуктуации плотности ранней древесины (IADF E и IADF E⁺) – 6 %, морозобойные повреждения (f) – 12 % и выпавшие слои (m) – 4 % от общего числа зафиксированных аномалий. Для ВПП № 4 флуктуации плотности поздней древесины (IADF L и IADF L⁺) составляют 41 %, флуктуации плотности ранней древесины (IADF E и IADF E⁺) – 12 %, морозобойные повреждения (f) – 20 % и выпавшие слои (m) – 26 % от общего числа зафиксированных аномалий. Таким образом, ведущим типом аномалий структуры ГС на исследованных ВПП являются флуктуации плотности поздней древесины (тип IADF L: 152 из 461).

Далее проводился кластерный анализ данных из таблицы 3 с целью объединения сравниваемых ВПП № 1–4 в группы, обладающие сходными характеристиками (кластеры). Предварительно данные были стандартизованы: из значений каждого из 9-ти признаков вычиталось его среднее и делилось на стандартное отклонение. Стандартизация проводилась для того, чтобы размерность данных и их вариабельность не влияла на результаты анализа. Полученные результаты представлены на дендрограмме (рисунок 3).

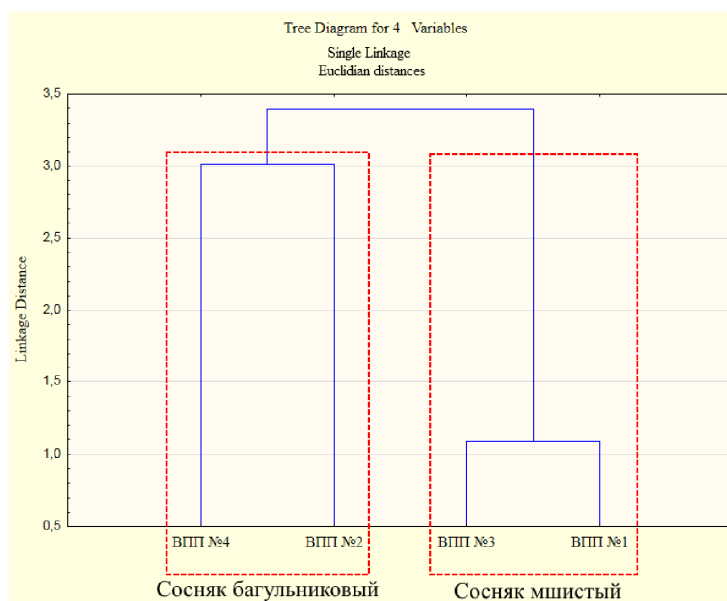


Рисунок 3 – Связь между исследованными ДКХ № 1–4 по результатам кластерного анализа

Как видно из рисунка 3, отчетливо выделяются два кластера: первый (ВПП № 2 и ВПП № 4 – сосняк багульниковый), второй (ВПП № 1 и ВПП № 2 – сосняк мшистый). Таким образом, видовое и процентное соотношение аномалий и выпавших ГС позволяет судить о типе леса, в котором выросло дерево; при этом влияние географической широты в данном случае гораздо слабее (так, например, средняя разница в общем количестве аномалий между типами леса составляет 113,5, а между одним и тем же типом леса с разной географической широтой – 33,5). Таким образом, можно предположить, что специфика образования аномалий структуры ГС подчиняется неким общим правилам, на основании которых типы леса могут быть дифференцированы.

По нарушениям структуры и выпавшим ГС выделено 26 дат экстремальных событий, на которые приходится 92,4 % из всех обнаруженных аномалий (таблица 4).

Таблица 3 – Годы с самой высокой частотой образования аномалий структуры и выпавших ГС

ВПП № 1	ВПП № 2	ВПП № 3	ВПП № 4
	1920		
1928	1928	1928	1928
	1930		
1940	1940		
	1944		1944
			1946
	1952		
		1958	
			1963
	1964		
1971	1971	1971	
	1977		1977
			1981
			1982
	1983		
1984		1984	
	1988		
1990		1990	
1991	1991		1991
		1992	
		1994	
1999		1999	
	2000		2000
	2002		
2010		2010	
2015			

Анализируя годы с самой высокой частотой образования аномалий структуры и выпавших ГС, можно отметить наличие определенных ассоциаций с засушливыми условиями для сосняков мшистых (так, в 1992, 1999, 2002, 2010 и 2015 гг. на территории Беларуси были зафиксированы обширные и интенсивные засухи), с весенне-летними заморозками для сосняков багульниковых (были зафиксированы на территории Беларуси заморозки в 1977, 1982, 1983, 1984, 1990, 1991, 2000 и 2002 гг.). Восемь событий прослеживается по 2-м ВПП – это 1940, 1944, 1977, 1984, 1990, 1999 и 2000 и 2010 гг. (причем 7 из 8 совпадают по типу леса), два по трем – это 1971 и 1991 гг., одно событие прослеживается по всем ВПП – это 1928 г. (характеризуется самым холодным летом, когда средняя температура составила + 14,6 °С [16]).

Обращение к такому показателю, как минимумы прироста (годы, в которые у 80 и > % деревьев из ДКХ прирост текущего года уменьшился более чем на 20 % по сравнению с предыдущим годом), продемонстрировало что они не имеют совпадений с аномалиями и выпавшими годичными слоями. Так, например, для ДКХ № 3 было выделено 9 минимумов прироста (1918, 1934, 1942, 1943, 1947, 1958, 1963, 1979 и 1988), что не совпало с годами с самой высокой частотой образования аномалий структуры и выпавших ГС (рисунок 4). Аналогичные результаты были получены для оставшихся 3-х ДКХ.

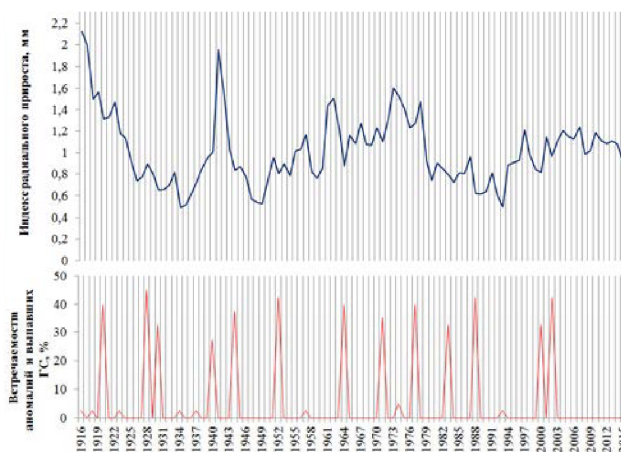


Рисунок 4 – Стандартизированная ДКХ № 3 и с аномалиями и выпавшими ГС

Заключение. В ходе проведенного исследования выявлены аномальные структуры и выпавшие ГС сосновых насаждений, выросших в контрастных условиях произрастания. Показано, что наиболее чувствительными являются деревья сосны с ВПП № 2 ($F_{stab} = 3,10$) и ВПП № 4 ($F_{stab} = 2,34$), т. е. сосняк багульниковый характеризуется большим числом аномалий ГС (в 2,9 раза больше). При этом, конечно, следует отметить, что абсолютного совпадения образования аномалий и выпавших ГС у разных деревьев на ВПП не наблюдается, поскольку на изменения внешних условий каждое дерево реагирует по-своему и степень ответных реакций древесных организмов различна. Также как специфическую особенность можно отметить резкое увеличение (в 10,6 раз) количества выпавших годовых слоев у деревьев в сосняке багульничковом по сравнению с сосняком мшистым, что свидетельствует об более острой реакции на погодные условия конкретного года растений в экстремальных местопроизрастаниях. Периоды особо неблагоприятные для жизнедеятельности деревьев находят отражение в значительном снижении деятельности камбия.

В целом, результаты работы показали, что структуру годовых слоев можно рассматривать как отражение особенностей сезонного роста деревьев сосны обыкновенной, а образование аномалий и выпавших ГС во многом определяется почвенно-гидрологическими условиями территории. С ухудшением условий по богатству почвы и увлажнению частота образования аномалий и выпавших годовых слоев увеличивается.

Литература

1. Rigling, A. Ecological interpretation of tree-ring width and intraannual density fluctuations in *Pinus sylvestris* on dry sites in the central Alps and Siberia / A. Rigling [et al.] // Canadian Journal of Forest Research. – 2001. – Vol. 31, № 1. – P. 18–31.
2. Vieira, J. Age-dependent responses of tree-ring growth and intra-annual density fluctuations of *Pinus pinaster* to Mediterranean climate / J. Vieira, F. Campelo, C. Nabais // Trees. – 2009. – Vol. 23, № 2. – P. 257–265.
3. Olivar, J. Climate impact on growth dynamic and intra-annual density fluctuations in Aleppo pine (*Pinus halepensis*) trees of different crown classes / J. Olivar [et al.] // Dendrochronologia. – 2012. – Vol. 30, № 1. – P. 35–47.
4. Campelo, F. Which matters most for the formation of intra-annual density fluctuations in *Pinus pinaster*: age or size? / F. Campelo [et al.] // Trees. – 2015. – Vol. 29, № 1. – P. 237–245.
5. Copenheaver, C. A. Causation of false ring formation in *Pinus banksiana*: a comparison of age, canopy class, climate and growth rate / C. A. Copenheaver [et al.] // Forest Ecology and Management. – 2006. – Vol. 236, № 2–3. – P. 348–355.
6. Gurskaya, M. A. Distribution of frost injuries in the wood of conifers / M. A. Gurskaya, S. G. Shiyatov // Russian Journal of Ecology. – 2006. – Vol. 37, № 1. – P. 7–12.
7. Мелехов, И. С. Лесоведение / И. С. Мелехов. – М.: МГУЛ, 2004. – 398 с.
8. Хох, А. Н. Автоматизированное рабочее место «DendroExp» как инструмент для рационализации проведения дендрохронологических экспертных исследований / А. Н. Хох, Д. Е. Кузменков // Криміналістичний вісник : наук.-практ. зб. / В.В. Черней [голов. ред.]. – К., 2017. – № 1 (27). – С. 133–140.
9. Douglass, A. E. Climatic cycles and tree-growth. A study of the annual rings of trees in relation to climate and solar activity / A. E. Douglass. – Wash.: Carnegie Inst., 1919. – Vol. 1. – 127 p.
10. Cook, E. R. Guide for computer program ARSTAN / E. R. Cook, R. L. Holmes // The international tree-ring data bank program library version. – 1996. – Vol. 2. – P. 75–87.
11. Holmes, R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement / R. L. Holmes // Tree-ring Bull. – 1983. – Vol. 43. – P. 69–78.
12. Ваганов, Е. А. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике / Е. А. Ваганов, С. Г. Шиятов, В. С. Мазепа. – Новосибирск: Наука, 1996. – 246 с.
13. Тишин, Д. В. Дендрохронология / Д. В. Тишин, Н. А. Чижикова. – Казань, 2018. – 34 с.
14. Матвеев, С. М. Дендроклиматический анализ 200-летнего древостоя сосны обыкновенной в Воронежском биосферном заповеднике / С. М. Матвеев, Д. А. Тимашук // Лесоведение. – 2019. – № 2. – С. 93–104.
15. Wigley, T. M. L. On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology / T. M. L. Wigley, K. R. Briffa, P. D. Jones // Journal of Applied Meteorology and Climatology. – 1984. – Vol. 23, № 2. – P. 201–213.
16. Атлас опасных метеорологических явлений на территории Беларуси: учеб. пособие / В. Ф. Логинов [и др.]. – М.: Мещер. Ф-л ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, 2016. – 58 с.