

Оригинальная статья

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.4/24>

УДК 581.5+58.002



Анализ аномалий структуры и размера годичных колец в сосняках мшистых и багульниковых

Анна Н. Хох , lann1hoh@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0003-4633-0163>

Научно-практический центр Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь, г. Минск, 220114, Республика Беларусь

В работе представлены новые экспериментальные данные и выявлена закономерная изменчивость образования флуктуаций плотности, морозобойных и выпавших годичных колец в сосняках мшистых (*Pinetum pleurozium*) и багульниковых (*Pinetum ledosum*). Проанализированы основные статистические характеристики обобщенных древесно-кольцевых хронологий, установлены статистически значимые различия ($p < 0,05$) по средней, максимальной и минимальной ширине годичных колец в зависимости от типа леса. Экспериментально установлено, что в сосняках багульниковых, количество аномалий в 3,34 раза больше, чем в сосняках мшистых. Флуктуаций плотности в сосняке мшистом выявлено 229, в багульниковом – 530, морозобойных повреждений – 28 и 159, выпавших годичных колец – 10 и 202 соответственно. Наиболее неблагоприятные годы, которые отразились в радиальном приросте сосняков мшистых – это 1979 и 1980; максимальное число обнаруженных аномалий (91,4%) пришлось на 1907, 1928, 1958, 1971, 1985, 1990, 1992, 1994, 1999, 2010 и 2017 годы. Наиболее неблагоприятные годы, которые отразились в радиальном приросте сосняков багульниковых – это 1906 и 1940; максимальное число обнаруженных аномалий (89,7%) пришлось на 1928, 1937, 1944, 1946, 1963, 1965, 1974, 1977, 1981, 1982, 1991, 2000 и 2016 годы. Совпадений образования аномалий и минимумов прироста в сосняках мшистых и багульниковых не наблюдается, поскольку степень ответных реакций на изменения внешних условий у данных типов леса различна. Проведенные исследования показали, что структуру годичных колец сосны обыкновенной можно рассматривать как отображение особенностей сезонного роста деревьев, при этом образование аномалий структуры в значительной степени определяется почвенно-гидрологическими условиями произрастания.

Ключевые слова: сосняк мшистый, сосняк багульниковый, условия произрастания, выпавшие годичные кольца, аномалии структуры годичных колец, почвенно-гидрологический режим

Финансирование: Исследование выполнено в ходе реализации задания 3.2.01 «Разработка новых подходов к судебно-экспертному исследованию объектов растительного происхождения» по государственной программе научных исследований «Информатика, космос и безопасность» (№ госрегистрации 20160444).

Благодарности: автор благодарит рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Хох А. Н. Анализ аномалий структуры годичных колец в сосняках мшистых и багульниковых / А. Н. Хох // Лесотехнический журнал. – 2023. – Т. 13. – № 4 (52). – Ч. 2. – С. 212–230. – Библиогр.: с. 226–230 (28 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.4/24>.

Поступила 27.10.2023 Пересмотрена 17.12.2023 Принята 19.12.2023 Опубликована онлайн 16.01.2024

Article

Analysis of anomalies in the structure and size of annual rings in mossy and ledum pine forests

Anna N. Khokh , 1ann1hoh@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0003-4633-0163>

Scientific and Practical Center of The State Forensic Examination Committee of The Republic of Belarus, Philimonova str., 25, Minsk city, 220114, Republic of Belarus

The paper presents new experimental data and reveals the regular variability of the formation of density fluctuations, frost and fallen annual rings in mossy (*Pinetum pleurozium*) and ledum (*Pinetum ledosum*) pine forests. The main statistical characteristics of generalized tree-ring chronologies are analyzed, statistically significant differences ($p < 0.05$) in the average, maximum and minimum width of annual rings depending on the type of forest are established. It has been experimentally established that in ledum pine forests the number of anomalies is 3.34 times greater than in mossy pine forests. There were 229 density fluctuations in mossy pine, 530 in ledum, frost damage – 28 and 159, fallen tree rings – 10 and 202, in compliance. The most unfavorable years, which were reflected in the radial growth of mossy pine forests, were 1979 and 1980; the maximum number of detected anomalies (91,4%) occurred in 1907, 1928, 1958, 1971, 1985, 1990, 1992, 1994, 1999, 2010 and 2017. The most unfavorable years, which were reflected in the radial growth of ledum pine forests, were 1906 and 1940 ; the maximum number of detected anomalies (89.7%) occurred in 1928, 1937, 1944, 1946, 1963, 1965, 1974, 1977, 1981, 1982, 1991, 2000 and 2016. There are no coincidences of the formation of anomalies and minima of growth in mossy and ledum pine forests, as far as the degree of responses to changes in external conditions in these types of forests is different. The conducted studies have shown that the structure of annual rings of common pine can be considered as a reflection of the features of seasonal growth of trees, while the formation of anomalies of the structure is largely determined by soil-hydrological conditions of growth.

Keywords: mossy pine forests, ledum pine forests, growing conditions, fallen tree rings, anomalies in the structure of tree rings, soil-hydrological regime

Funding: the study was carried out during implementation of the task the framework of assignment 3.2.01 “Development of new approaches to forensic research of objects of plant origin” under the state program of scientific research “Informatics, space and security” (state registration number 20160444).

Acknowledgments: author thanks the reviewers for their contribution to the peer review.

Conflict of interest: the author declares no conflict of interest.

For citation: Khokh A. N. (2023). Analysis of anomalies in the structure of annual rings in mossy and ledum pine forests. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering journal], Vol. 13, No. 4 (52), part 2, pp. 212-230 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.4/24>.

Received 27.10.2023. *Revised* 17.12.2023. *Accepted* 19.12.2023. *Published online* 16.01.2024

Введение

Ежегодный рост дерева по диаметру представляет собой закономерный и генетически обусловленный биологический процесс, который в значительной мере определяется как сложными

процессами обмена веществ (интенсивностью фотосинтеза, ферментной активностью и др.), так и условиями произрастания. Он отличается как определенной способностью к гомеостазу [1], что позволяет деревьям одного вида часто на огромных площадях показывать синхронный прирост, так и

высокой чувствительностью [2], так как хорошо реагирует и на конкретные условия произрастания, и на погодные условия года. Следовательно, ширина годичных колец является комплексным интегральным показателем действия внутренних и внешних факторов.

Колебания условий окружающей среды, особенно температуры и количества осадков, оказывают воздействие на образование и процессы дифференциации клеток, которые ответственны за «внешний вид» годичных колец (далее – ГК) [3]. В том случае, если это воздействие неблагоприятно, возможны отклонения в ходе нормального ксилогенеза, приводящие к формированию различных типов аномалий структуры ГК [4]. Частота встречаемости и структурные свойства аномалий зависят от возраста, генотипа, физиологического состояния и гормонального статуса дерева, его фотосинтетической активности, глубины укоренения, равномерности размещения и др., однако физиологические механизмы, запускающие формирование различных типов аномалий, до сих пор неизвестны [5].

Если раньше аномалии структуры ГК рассматривались главным образом как ограничения применимости дендрохронологического анализа [6], то в настоящее время они привлекают все больше внимания исследователей, поскольку несут в себе информацию об изменчивости условий роста деревьев в течение вегетационного периода, а потому могут использоваться для реконструкций их эколого-физиологического состояния [7-9]. Изучение аномалий может также найти применение и при проведении судебных экспертиз как значимых идентификационных признаков при решении определенных экспертных задач, связанных с установлением условий и места произрастания срубленной древесины [10].

Поскольку ни физиологические особенности древесных пород, ни экологические факторы в отдельности надежно не определяют особенности формирования прироста, требуется комплексное биоэкологическое рассмотрение вопроса. Так, каждый тип леса отличается от других закономерной изменчивостью ширины годичных

колец и характером амплитуды этой изменчивости. Полагаем, что определенный практический интерес представляет и изучение аномалий структуры ГК в разных типах леса. В связи с тем, что аномалии могут быть определены количественно, их учет позволит в какой-то степени оценить влияние режима увлажнения на рост и развитие древесных растений. Кроме того, когда территориальная принадлежность дерева не установлена, изучение аномалий наряду с анализом древесно-кольцевых хронологий позволит установить почвенно-грунтовые условия произрастания, а также повысить разрешающую способность дендрохронологического анализа при исследовании «благодушных» хронологий, датировать которые довольно трудно [11].

Цель работы состояла в проведении сравнительного анализа аномалий структуры и размера годичных колец в сосняках мшистых (*Pinetum pleurozium*) и багульниковых (*Pinetum ledosum*), т.е. произрастающих на почвах нормального и повышенного увлажнения.

Материалы и методы

Объектом данного исследования являлись буровые керны сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.), которые были отобраны на территории Брестской области Беларуси.

Предмет исследования составили морфолого-анатомические параметры ксилемы.

В 2020 году в сосняках мшистых и багульниковых по принятым в лесной таксации методикам [12] было заложено по 6 временных пробных площадей (далее – ВПП). Полноты древостоев определялись по породам с использованием стандартной таблицы сумм площадей сечений и запасов при полноте 1,0, класс бонитета – по бонитировочной таблице М.М. Орлова.

Исследованные древостои в последние 70 лет не подвергались воздействию таких факторов, как пожары, ветровалы, рубки, поражение патогенными грибами, массовое размножение насекомых-вредителей и др. (данные ГИС «Лесфонд» на Геопортале земельно-информационной системы Республики Беларусь).

На ВПП №1 и №7 в 2016 году уже проводилось исследование аномалий структуры ГК [13]. Полученные предварительные результаты обусловили необходимость проведения более детальных исследований на большей выборке.

Всего для дендрохронологических исследований отобрано 960 кернов (40 деревьев на одной ВПП; по 2 керна с дерева).

Отбор осуществлялся на высоте 20 см от поверхности земли, чтобы произвести оценку образовавшихся непосредственно под действием микро-

локальных условий произрастания аномалий структуры ГК [14]. Выбирались хорошо развитые прямоствольные деревья, доминирующие в пологе древостоя, которые не имели механических и огневых повреждений. Такие деревья лучше отражают изменение климатических условий. У них измерялись высота и диаметр стволов на высоте 1,3 м. Некоторые таксационно-лесоводственные показатели ВПП приведены в табл. 1.

Таблица 1

Таксационно-лесоводственные показатели древостоев сосны обыкновенной на временных пробных площадях

Table 1

Taxation and forestry indicators of forest stands of common pine on the temporary trial areas

№	Лесничество Forestry district	Квартал Compartment	Тип леса Forest type	ТЛУ FST	Породный состав Species composition	Средний возраст, лет Average age, year	Класс бонитета Quality class	Плотность Forest density,	Средний диаметр, см Average diameter, cm	Средняя высота, м Average height, m
									$M_x \pm SD$	
1	Брестское Brestskoe	106	Сосняк мшистый Mossy pine forest	A2	10С	120	1	0,8	33±0,7	28±1,9
2	Брестское Brestskoe	26		A2	10С	120	2	0,6	25±0,9	30±2,1
3	Брестское Brestskoe	26		A2	10С	130	2	0,7	24±1,2	26±2,1
4	Муховецкое Muhovetskoe	12		A2	10С	120	2	0,6	24±1,1	36±3,8
5	Муховецкое Muhovetskoe	14		A2	10С+Б	120	1	0,7	23±1,0	28±3,9
6	Томашевское Tomashevskoe	227		A2	10С	130	2	0,7	24±0,9	30±3,5
7	Брестское Brestskoe	106	Сосняк багульниковый Ledum pine forest	A5	10С	140	4	0,6	19±1,0	24±4,0
8	Брестское Brestskoe	156		A5	9С1Б	120	4	0,7	20±1,5	24±3,1
9	Брестское Brestskoe	156		A5	10С	130	4	0,7	19±1,3	22±2,9
10	Брестское Brestskoe	157		A5	10С	120	4	0,7	20±1,1	24±4,1
11	Муховецкое Muhovetskoe	207		A5	10С+Б	120	4	0,6	18±0,9	26±2,2
12	Томашевское Tomashevskoe	281		A5	9С1Б	130	4	0,7	19±1,1	24±2,8

Примечание: ТЛУ – тип лесорастительных условий, M_x – среднее значение, SD – стандартное отклонение.

Note: FST – the forest site type, M_x – the arithmetic mean, SD – the standard deviation.

Источник: собственные вычисления авторов.

Source: own calculations.

На рис. 1 представлены данные, характеризующие связь между диаметром и высотой деревьев сосны.

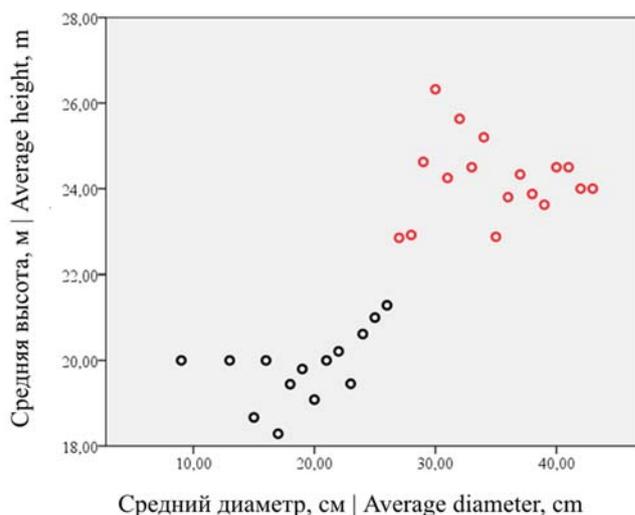


Рисунок 1. Зависимость высоты деревьев сосны от их диаметра: красными кружками на графике отмечены сосняки мшистые, а черными – сосняки багульниковые

Figure 1. The dependence of the height of pine trees on their diameter: mossy pine forests are marked with red circles on the graph, and lendum pine forests are marked with black circles

Источник: собственная композиция автора

Source: author's composition

Пробоподготовка буровых кернов и измерение ширины ГК осуществились способом, описанным в работе Хох А.Н. (2022) [10]. На основании проведенных замеров ширины ГК вдоль одного радиуса получались единичные серии, выраженные в абсолютных единицах (мм), которые впоследствии усреднялись для каждого дерева.

Далее осуществляли перевод серий измерений из формата .xls/.xlsx в .rwl через универсальный конвертер TRiCYCLE [15]. Серии датировались в программе COFESHA (версия 6.06P) [16], визуальная проверка осуществлялась по графикам, построенным в программном пакете Microsoft Excel v.10.0. Стандартизация серий в .rwl формате производилось с помощью программы ARSTAN (версия 44h3) [17]. Для каждого дерева подбирались индивидуальная биологическая кривая роста, и индексы рассчитывались путем деления значений ШГК из соответствующих значений аппроксимирующей кривой:

$$I_t = \frac{R_t}{G_t} \quad (1)$$

где I_t – индекс ШГК в год t ;

R_t – фактическая ШГК в год t ;

G_t ШГК по аппроксимирующей кривой в год t .

Затем производилось усреднение индексов с построением стандартизованных (std) древесно-кольцевых хронологий (далее – ДКХ) для каждой ВПП.

Для полученных ДКХ рассчитывались следующие статистические характеристики: COR – средний межсерийный коэффициент корреляции; SNS – коэффициент чувствительности [18]; SNR – коэффициент «сигнал-шум» [18]; EPS – выраженный сигнал популяции [18].

Аномалии структуры ГК изучались при помощи стереоскопического микроскопа Leica S4E (Leica Microsystems, Германия) с системой визуализации, документирования и измерения на базе камеры Delta Pix при увеличениях 6.3-30 крат.

В проведенном исследовании были идентифицированы следующие типы аномалий (рис. 2):

IADF L – флуктуации плотности, когда в пределах поздней древесины формируется слой ранних трахеид;

IADF L+ – флуктуации плотности, сопровождающиеся постепенным переходом ранних трахеид к поздним;

IADF E – флуктуации плотности, когда в пределах ранней древесины формируется слой поздних трахеид;

IADF E+ – флуктуации плотности, сопровождающиеся постепенным переходом от поздних трахеид к ранним;

f – морозобойное ГК, характеризующееся тонкостенными, поврежденными и/или разрушенными трахеидами;

m – выпавшее ГК, характеризующееся либо прерывистостью (локальным отсутствием), либо полным выпадением.

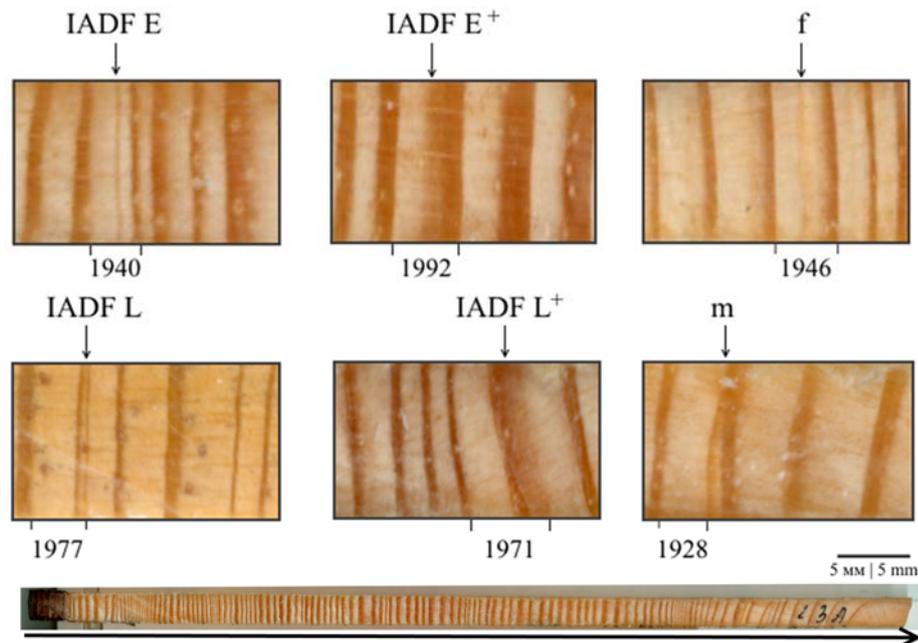


Рисунок 2. Исследуемые типы аномальных структур годичных колец *Pinus silvestris* L. (фотоизображение скомпилировано из 6 снимков, полученных при увеличении 10 крат: IADF E, IADF E+, IADF L+ – *Pinetum pleurozium*; IADF L, f, m – *Pinetum ledosum*)

Figure 2. The studied types of abnormal structures of annual rings of *Pinus silvestris* L. (photo image compiled from 6 images obtained at a magnification of 10 times: IADF E, IADF E+, IADF L+ – *Pinetum pleurozium*; IADF L, f, m – *Pinetum ledosum*)

Источник: собственная композиция автора

Source: author's composition

При проведении исследования рассматривался период с 1920 по 2020 г., соответствующий минимальному среднему возрасту деревьев на ВПП за исключением первых 20 лет жизни.

Для расчета частоты аномалий структуры ГК (F_{rel}) и стабилизированной частоты (F_{stab}) применялись следующие формулы [13, 19]:

$$F_{rel} = 100 \left(\frac{n_x}{N} \right) \quad (2)$$

$$F_{stab} = N^{0,5} \left(\frac{n_x}{N} \right) \quad (3)$$

где n_x – количество аномалий;

N – количество исследованных годичных колец.

Формирование массивов информации, их верификация, статистическая обработка и графическое отображение результатов исследований осуществлены в программных пакетах Microsoft Excel v.10.0 с надстройкой ExStatR [20], SPSS v.22.0. При сравнении типов леса использовали U-критерий Манна-Уитни, т.к. данный критерий наиболее оптимален для независимых выборок с малым объемом. Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$. Процедуры классификации были про-

ведены 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 [21]).

Влияние климатических факторов на прирост и образование аномалий ГК выявлялось с помощью процедуры корреляционного анализа. Рас-

чет коэффициентов корреляции Пирсона проводился между индексами радиального прироста, коэффициентов корреляции Спирмена между частотой встречаемости аномалий ГК и рядами метеопараметров за период с сентября предыдущего по сентябрь текущего года [22]. Бралась данные архива погоды по г. Брест за период 1945-1995 гг. (<http://thermo.karelia.ru> > weather > w_history).

Результаты и обсуждение

В табл. 2 приведены некоторые характеристики обобщенных абсолютных и стандартизированных древесно-кольцевых хронологий.

Таблица 2

Статистические показатели обобщенных ДКХ (номер ДКХ соответствует номеру ВПП)

Table 2

Statistical indicators of generalized TRC (the TRC number corresponds to the TTA)

№ ДКХ № TRC	Абсолютные Absolute			Стандартизированные Standardized				
	Ширина годичного кольца, мм			SD	COR	SNS	SNR	EPS
Средняя Average	Минимальная Minimum	Максимальная Maximum						
1	1,23	0,61	2,51	0,35	0,68	0,13	85	0,977
2	2,52	0,51	2,81	0,41	0,7	0,14	93	0,979
3	1,59	0,26	1,91	0,28	0,75	0,19	120	0,984
4	1,71	0,41	2,57	0,35	0,79	0,17	150	0,987
5	1,71	0,37	2,45	0,39	0,75	0,16	120	0,984
6	2,13	0,41	2,34	0,32	0,69	0,18	89	0,978
7	1,02	0,33	1,87	0,33	0,7	0,24	93	0,979
8	0,93	0,33	1,41	0,29	0,65	0,27	74	0,974
9	0,94	0,23	1,47	0,37	0,71	0,23	98	0,98
10	1,08	0,36	2,44	0,44	0,7	0,19	93	0,979
11	0,72	0,24	2,29	0,4	0,7	0,22	93	0,979
12	0,92	0,33	1,87	0,35	0,7	0,24	93	0,979

Собственные экспериментальные данные

Source: own experimental data

Средняя ширина ГК варьируют от 0,72 мм (сосняк багульниковый, ВПП №11) до 2,52 мм (сосняк мшистый, ВПП №2). Максимальные значения достигают 2,81 мм у сосняка мшистого (ВПП №4) и 2,44 мм у сосняка багульникового (ВПП №10), минимальные – 0,26 (ВПП №3) мм и 0,23 (ВПП №9) соответственно. На основании проведенных расчетов установлено, что различия по средней, максимальной и минимальной ширине ГК

в сосняках мшистых и багульниковых достоверны (U-критерий = 0,00, p =0,002; U-критерий = 4, p = 0,026; U-критерий =3, p =0,015).

Стандартизированные обобщенные ДКХ имеют близкие значения стандартного отклонения (SD), определяющего амплитуду изменчивости радиального прироста. Статистически достоверных различий по SD для исследованных типов леса не выявлено (U-критерий = 21, p =0,699). Межсерийный коэффици-

ент корреляции (COR) изменяется от 0,65 до 0,79, что свидетельствует о сопряженности в изменчивости прироста между отдельными деревьями на ВПП. Высокие межсерийные коэффициенты корреляции стали основанием для объединения индивидуальных ДКХ в обобщенные. Статистически достоверных различий между сосняками мшистыми и багульниковыми по COR не обнаружено (U-критерий = 21, p = 0,699).

Установлено, что коэффициент чувствительности SNS выше в сосняках багульничковых по сравнению с мшистыми, т.е. чувствительность деревьев увеличивается с увеличением влажности почвы. Различия по SNS в сосняках мшистых и багульничковых достоверны (U-критерий = 35,5, p = 0,002). Максимальный SNS стандартизированной обобщенной ДКХ №8 составил 0,27. В целом и для хронологий в сосняках мшистых, и для хронологий в сосняках багульничковых характерен средний коэффициент чувствительности, что, скорее всего,

обусловлено тем, что климатические показатели в регионе исследования редко выходят за пределы оптимальных значений для роста сосны.

Отношение сигнала к шуму (SNR) находится в пределах от 74 до 150, при этом сигнал в ДКХ несколько сильнее для сосняка багульничкового (сравнение по SNR обосновано, т.к. количество деревьев, используемых для построения всех ДКХ одинаково [23]). Значения рассчитанного выраженного сигнала популяции (EPS) во всех случаях превысили пороговое значение, равное 0,85; ДКХ, как и в случае с SD, имеют близкие значения от 0,977 до 0,987, т.е. могут считаться достаточно представительными. Статистически достоверные различия по SNR и EPS не обнаружены (U-критерий = 13, p=0,485).

Что касается результатов микроскопического исследования буровых кернов, то было определено и идентифицировано 266 аномалий структуры ГК в сосняках мшистых и 891 – в сосняках багульничковых (табл. 3).

Таблица 3

Количественное распределение аномалий структуры годичных колец с рассчитанной частотой их встречаемости

Table 3

Quantitative distribution of anomalies in the structure of tree rings with the calculated frequency of their occurrence

Параметр Parameter	Сосняк мшистый Mossy pine forest						Сосняк багульничковый Ledum pine forest					
	ВПП ТТА											
	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8	№9	№10	№11	№12
n _x	68	49	28	38	42	42	148	196	167	104	151	125
IADF L	26	26	23	36	20	24	40	60	65	39	51	37
IADF L ⁺	14	12	5	-	8	6	21	35	16	11	22	19
IADF E	5	3	-	2	4	5	14	19	10	-	5	6
IADF E ⁺	4	-	-	-	5	1	5	17	7	12	11	8
f	13	6	-	-	3	6	29	19	31	16	28	36
m	6	2	-	-	2	-	39	46	38	26	34	19
F _{rel}	1,9	1,4	0,8	1,1	1,2	1,2	4,1	5,4	4,6	2,9	4,2	3,5
F _{stab}	1,1	0,8	0,5	0,6	0,7	0,7	2,5	3,3	2,8	1,7	2,5	2,1

Собственные экспериментальные данные

Source: own experimental data

Сравнительный анализ встречаемости аномалий годичных колец на исследуемых ВПП показал, что флуктуации плотности поздней древесины составляют 36 % в сосняках мшистых (тип IADF L – 59 %, тип IADF L⁺ – 16 %), 22 % – в сосняках ба-

гульничковых (тип IADF L – 31%, тип IADF L⁺ – 13 %), флуктуации плотности ранней древесины – 5 % (тип IADF E – 4 %, тип IADF E⁺ – 10 %) и 6 % (тип IADF E – 6 %, тип IADF E⁺ – 13 %), морозобойные кольца (f) – 10 % и 17 %, выпавшие ГК (m) – 4 % и 22 % соответственно.

Частота встречаемости аномалий (F_{rel}) составила 1,27 для сосняков мшистых и 4,12 для сосняков багульниковых; стабилизированная частота (F_{stab}) – 0,73 и 2,48 соответственно.

Результаты кластерного анализа данных из табл. 3 для объединения ВПП №№1-12 в группы (кластеры) показаны на дендрограмме (рис. 3).

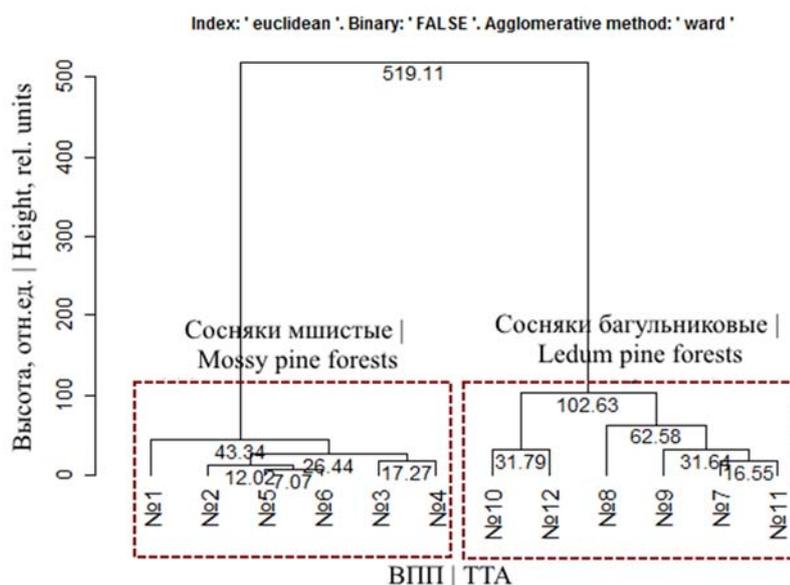


Рисунок 3. Вертикальная дендрограмма распределения исследованных ВПП по кластерам на основе сравнительного анализа аномалий и годовичных колец

Figure 3. Vertical dendrogram of the distribution of the studied TTA by clusters based on a comparative analysis of anomalies of annual rings

Источник: собственная композиция автора

Source: author's composition

Представленная диаграмма наглядно демонстрирует, что сосняки мшистые (ВПП №№ 1-6) и сосняки багульниковые (ВПП №№ 7-12) объединились в два обособленных кластера в разных ветвях, расстояние между кластерами (в отн.ед.) составило 519,11.

Таким образом, как анализ радиального прироста, так и анализ аномалий структуры ГК подтверждает установленный факт, что реакция деревьев одной породы, растущих в одинаковых условиях, на изменения комплекса экологических факторов сходна.

Далее в локальных стандартизованных ДКХ, построенных для сосняков мшистых и багульниковых (коэффициент корреляции составил 0,42, коэффициент синхронности – 73,9 %), проводился сравнительный анализ минимумов прироста, т.е. тех лет, на которые для 80 и более % деревьев из ДКХ приходится снижение прироста текущего года более чем на 20 % в сравнении с годом предыдущим (рис. 4).

Также были установлены годы, на которые пришлось максимальное число обнаруженных аномалий ГК. Результаты суммированы в табл. 4.

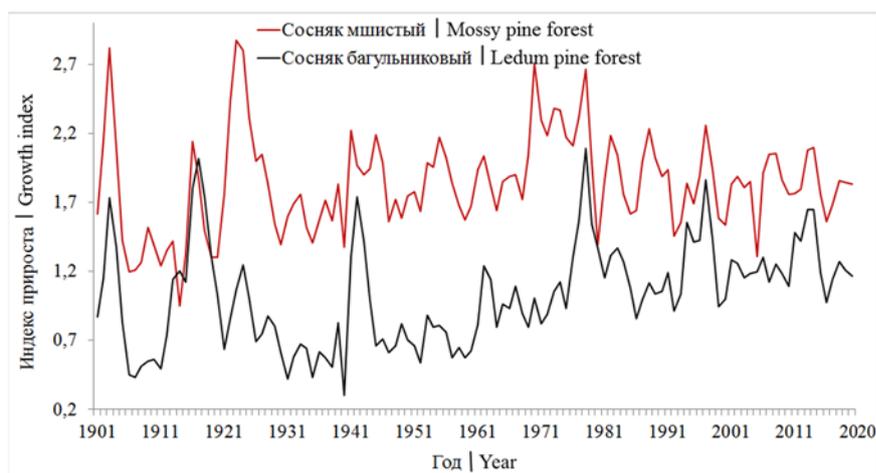


Рисунок 4. Стандартизированные (std) локальные древесно-кольцевые хронологии
Figure 4. Standardize (std) local tree-ring chronologies

Источник: собственная композиция автора
Source: author's composition

Таблица 4

Минимумы прироста для локальных древесно-кольцевых хронологий и годы с максимальным числом аномалий структуры годичных колец в сосняках мшистых и багульниковых

Table 4

Minimum growth for local tree-ring chronologies and years with the maximum number of anomalies in the structure of annual rings in mossy and ledum pine forests

Минимумы прироста (с 1900 г.) Minimum growth (since 1900)		Годы с максимальным числом аномалий структуры ГК (с 1920 г.) Years with the maximum number of anomalies in the structure of annual rings (since 1920).	
Сосняк мшистый Mossy pine forest	Сосняк багульниковый Ledum pine forest	Сосняк мшистый Mossy pine forest	Сосняк багульниковый Ledum pine forest
1904 (-25,93)	1904 (-20,49)	1921 (46)	1928 (95)
1905 (-31,64)	1905 (-39,25)	1928 (27)	1937 (65)
1914 (-33,08)	1906 (-45,63)	1958 (31)	1944 (51)
1918 (-20,48)	1919 (-25,21)	1971 (16)	1946 (45)
1947 (-21,36)	1920 (-20,80)	1985 (9)	1963 (31)
1979 (-25,45)	1921 (-38,33)	1990 (11)	1965 (76)
1980 (-29,87)	1926 (-31,24)	1992 (15)	1974 (29)
1992 (-24,82)	1930 (-24,00)	1994 (30)	1977 (74)
2005 (-29,51)	1931 (-30,56)	1999 (26)	1981 (93)
	1935 (-31,99)	2010 (12)	1982 (83)
	1940 (-63,47)	2017 (18)	1991 (67)
	1944 (-29,80)		2000 (51)
	1945 (-33,71)		2016 (39)
	1957 (-24,56)		
	1964 (-30,41)		
	1979 (-26,33)		
	1986 (-20,67)		
	1992 (-23,02)		
	1998 (-23,15)		
	1999 (-34,03)		
	2015 (-27,88)		
Σ = 9	Σ = 21	Σ = 11	Σ = 13

Источник: Собственные экспериментальные данные
Source: own experimental data

На рис. 5 представлено распределение аномалий структуры ГК по годам в виде 6 гистограмм

(отдельно для каждого из исследуемых типов аномалий).

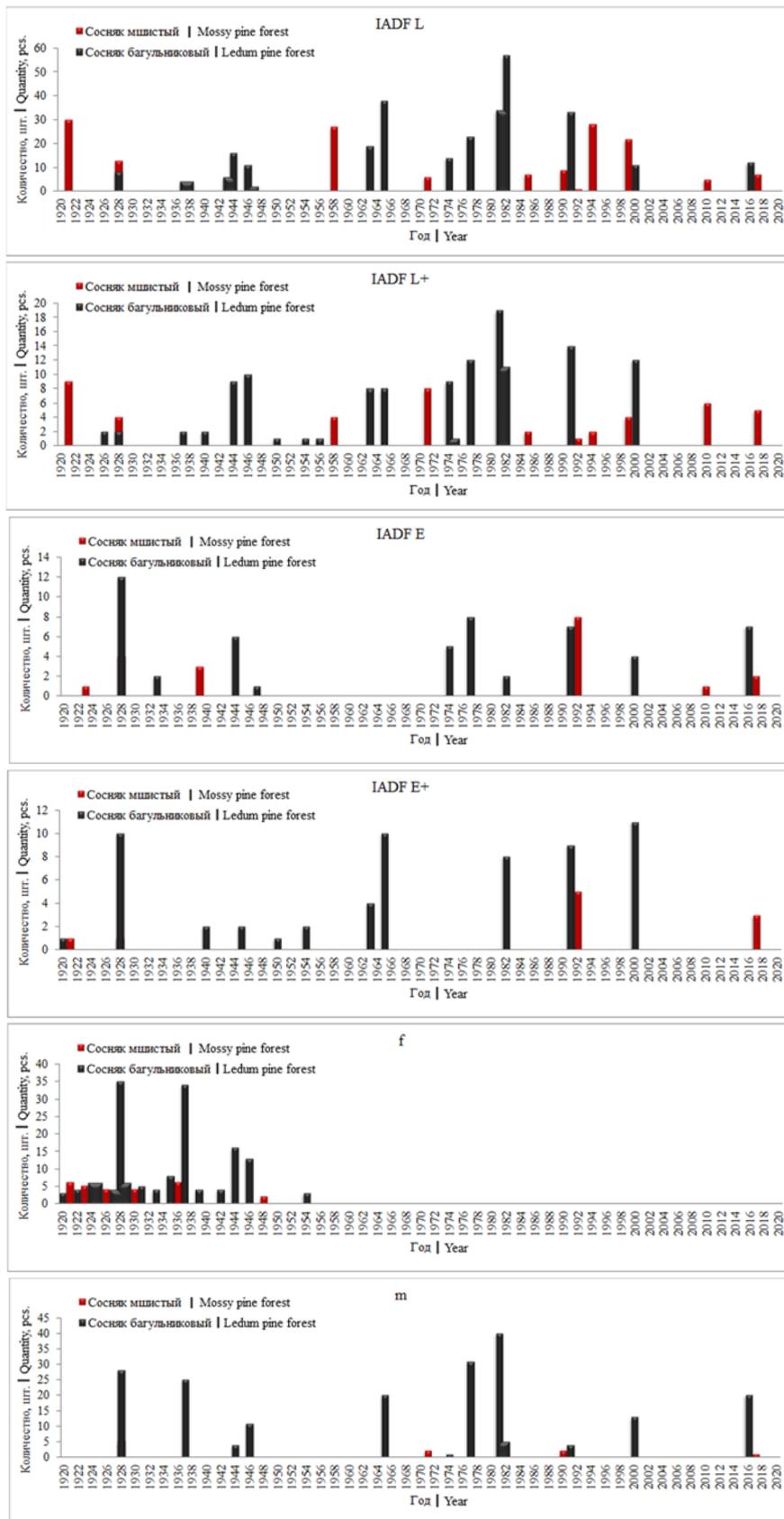


Рисунок 5. Распределение аномалий структуры годичных колец
 Figure 5. Distribution of anomalies in the structure of anomalies in the structure of annual rings
 Источник: собственная композиция автора | Source: author's composition

Анализ распределения аномалий структуры ГК по десятилетиям показал, что наибольшее количество морозобойных колец отмечено в период 1920-1940 гг., затем их количество резко снижается. Флуктуации плотности наиболее часто встречались для периодов 1920-1930 и 1990-2000 гг. в сосняках мшистых и для периода 1970-1990 гг. – в сосняках багульниковых. Наибольшее количество выпавших колец характерно для периода 1920-1930 гг. в сосняках мшистых и для периода 1960--1990 гг. в сосняках багульниковых.

Наиболее неблагоприятными годами, нашедшими отражение в ДКХ, построенной для сосняков мшистых, являлись 1905 (прирост снизился на 31,64 %) и 1914 (прирост снизился на 33,08 %) годы, сосняков багульниковых – 1906 (прирост снизился на 45,6 %) и 1940 (прирост снизился на 63,5 %) годы.

Максимальное число обнаруженных аномалий ГК в сосняках мшистых (91,4 %) пришлось на следующие годы: 1921, 1928, 1958, 1971, 1985, 1990, 1992, 1994, 1999, 2010, 2017; в сосняках багульниковых (89,7 %) – на 1928, 1937, 1944, 1946, 1963, 1965, 1974, 1977, 1981, 1982, 1991, 2000 и 2016. При этом следует отметить 1928 год с самым холодным летом со средней температурой +14,6 °С [24]), который характеризовался образованием аномалий как в сосняках мшистых, так и в сосняках багульниковых.

В табл. 5 приведены результаты корреляционного анализа сопряженности колебаний радиального прироста и аномалий ГК в сосняках мшистых и багульниковых с колебаниями метеопараметров текущего и прошлого года.

Таблица 5

Корреляция индекса прироста и аномалий структуры ГК в с метеорологическими показателями (О – осадки, Т – температура, цифры – месяц года, п – предшествующий год, т – текущий год)

Table 5

Correlation of growth index and anomalies of the AR structure with meteorological indicators (P – precipitation, T – temperature, figures – month of the year, p – previous year, c – current year)

Метеопараметры Meteorological parameters	Индекс прироста Growth	Аномалии структуры ГК Anomalies of the AR structure					
		IADFL	IADFL+	IADFE	IADFE+	f	m
Сосняк мшистый Mossy pine forest							
О_сентябрь_п P_september_p			0,31*				
О_ноябрь_п P_november_p	0,27*	-0,27*					
О_февраль_т P_february_c	0,31*						
О_март_т P_march_c		0,38**					
О_апрель_т P_april_c				0,25*	0,25*		
О_май_т P_may_c	0,25*						-0,33**
О_июнь_т P_june_c		0,36**				0,33*	
О_июль_т P_july_c	0,31*						
О_август_т P_august_c			-0,25*				
О_сентябрь_т P_september_c				0,35**	0,35**		
Т_август_п T_august_p	-0,31*						
Т_октябрь_п T_october_p						-0,25*	
Т_ноябрь_п T_november_p		-0,28*					
Т_февраль_т T_february_c		0,25*					0,26*
Т_март_т T_march_c		0,26*					
Т_май_т T_may_c	-0,56**						
Т_август_т T_august_c			0,27*	0,47**	0,47**		
Т_сентябрь_т T_september_c							-0,30*

Сосняк багульниковый Ledum pine forest							
О_сентябрь_п P_september_p	0,24*						
О_ноябрь_п P_november_p		0,34**	0,29*		0,30*		
О_март_т P_march_c		-0,27*	-0,27*		-0,26*		
О_апрель_т P_april_c			-0,26*				
О_июнь_т P_june_c						-0,31*	
О_июль_т P_july_c	-0,35**					-0,24*	
Т_август_п T_august_p		-0,28*	-0,28*				-0,32*
Т_апрель_т T_april_c		-0,33*	-0,31*		-0,24*		-0,29*
Т_май_т T_may_c	-0,31*						
Т_июнь_т T_june_c			-0,27*			-	
Т_июль_т T_july_c						-	
Т_сентябрь_т T_september_c		0,32*			0,36**		

Примечание: ** – корреляция значима на уровне 0.01, * – корреляция значима на уровне 0.05.

Note: ** – correlation is significant at the 0.01 level, * – correlation is significant at the 0.05 level.

Дендроклиматический анализ показал, что у сосняков мшистых значимые положительные коэффициенты корреляции отмечены между радиальным приростом и осадками за ноябрь предшествующего года ($r = 0,27$), осадками за февраль ($r = 0,31$), май ($r = 0,25$) и июль ($r = 0,31$) текущего года; значимые отрицательные коэффициенты корреляции отмечены между температурой в августе предшествующего года ($r = -0,31$) и температурой за май текущего года ($r = 0,56$). У сосняков багульниковых значимые положительные коэффициенты корреляции отмечены между радиальным приростом и осадками за сентябрь предшествующего года ($r = 0,24$); значимые отрицательные коэффициенты корреляции отмечены между осадками за июль ($r = -0,35$) и температурой за май текущего года ($r = -0,31$).

В сосняке мшистом флуктуации плотности IADF L положительно коррелируют с осадками за март и июнь ($r_{\text{среднее}} = 0,37$) и температурами за февраль и март ($r_{\text{среднее}} = 0,255$) текущего года, отрицательно коррелируют с температурой за ноябрь, предшествующего года ($r = -0,27$); IADF L+ положительно коррелируют с осадками за сентябрь ($r = 0,31$) предшествующего года и температурой за август ($r = 0,27$) текущего года, отрицательно коррелируют с осадками за август текущего года ($r = -0,25$); IADF E и IADF E+ положительно коррелируют с осадками за апрель и сентябрь ($r_{\text{среднее}} = 0,3$)

и температурой за август ($r_c = 0,47$) текущего года. Морозобойные кольца положительно коррелируют с осадками за июль ($r = 0,33$) текущего года, отрицательно коррелируют с температурой за октябрь предшествующего года ($r = -0,25$); выпавшие ГК положительно коррелируют с температурой за февраль ($r = 0,26$), отрицательно коррелируют осадками за май ($r = -0,33$) и с температурой за сентябрь ($r = -0,30$) текущего года.

В сосняке багульниковом флуктуации плотности IADF L положительно коррелируют с осадками за ноябрь ($r = 0,34$) предшествующего года и температурой за сентябрь ($r = 0,32$) текущего года, отрицательно коррелируют с осадками за март ($r = -0,27$) и температурой за апрель ($r = -0,33$) текущего года, а также с температурой за август ($r = -0,28$) предшествующего года; IADF L+ положительно коррелируют с осадками за ноябрь ($r = 0,29$) предшествующего года, отрицательно коррелируют с осадками за март и апрель ($r_{\text{среднее}} = -0,265$) и температурой за апрель и июль ($r_{\text{среднее}} = -0,29$) текущего года, с температурой за август ($r = -0,28$) предшествующего года; IADF E+ положительно коррелируют с осадками за ноябрь ($r = 0,30$) предшествующего года и температурой за сентябрь ($r = 0,36$) текущего года, отрицательно коррелируют с осадками за март ($r = -0,26$) и температурой за апрель ($r = -0,24$) текущего года.

Морозобойные кольца отрицательно коррелируют с осадками за июнь и июль ($r_{\text{среднее}} = -0,275$) текущего года; выпавшие ГК отрицательно коррелируют с температурой за август ($r = -0,32$) предшествующего года и за апрель ($r = -0,29$) текущего года. Для флуктуаций плотности типа IADF E статистически значимых корреляций с исследуемыми рядами метеорологических показателей не выявлено.

Из данных табл. 5 видно, что отдельные месяцы характеризуются неравным вкладом в формирование прироста и образование аномалий у сосняков мшистых и багульниковых. Если сравнить влияние климатических условий текущего и предыдущего календарного года, то для текущего года было найдено 35 достоверных коэффициентов, а для предыдущего – 13. Только для одного метеорологического параметра была бы обнаружена достоверная корреляция, как по индексу прироста, так и по аномалиям структуры ГК – это осадки ноября предшествующего года. Больше метеопараметров, для которых были бы обнаружены совпадения по коэффициентам корреляции, не обнаружены. Следует также отметить температуру мая текущего года, которая положительно коррелирует с приростом в сосняках мшистых и отрицательно – в сосняках багульниковых. В общем и целом, все проявления негативных климатических факторов находят отражение в приросте деревьев и в том числе в образовании аномалий ГК, причем для деревьев, растущих в разных условиях произрастания, и негативные факторы будут разными, что подтверждается полученными результатами.

Полученные экспериментальные данные в основном имеют общебиологическую 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) [25]. Следует отметить, что научные работы, связанные с изучением

морфолого-анатомических параметров ксилемы при проведении судебно-экспертных исследований, крайне малочислены. В 70-х гг. во Всесоюзном научно-исследовательском институте судебной экспертизы под руководством М. И. Розанова были разработаны подходы к диагностике места произрастания срубленной древесины на основании изучения динамики приростов годичных колец. При этом было доказано, что привлечение данных не только о размере ГК, но и об аномалиях их структуры позволяет повысить разрешающую способность дендрохронологического анализа [26; 27]. Однако в дальнейшем начатые Розановым исследования не получили должного развития. Как пример зарубежных работ можно привести обзорную статью Е. Е. Dormontt и др. (2015), где среди эффективных технологий доказывания фактов незаконной рубки или других правонарушений с объектами древесного происхождения отдельно рассматриваются вопросы анализа внутренней (анатомической) структуры годичных колец, что как полагают авторы, позволит сделать дендрохронологический анализ универсальным методом исследования древесины [28]. Таким образом, на сегодняшний день назрела необходимость актуализировать имеющуюся информацию и выявить те индивидуализирующие признаки ГК, на основании которых можно будет установить участок местности. Проведенное исследование в какой-то степени будет способствовать решению данной задачи.

Заключение

В процессе проведения исследований были получены новые данные, которые позволили доказать, что сосняки мшистые (*Pinetum pleurozium*) и багульниковые (*Pinetum ledosum*) отличаются друг от друга не только закономерной изменчивостью радиального прироста, но и типами аномалий структуры годичных колец и частотой их встречаемости. Поскольку различия в аномалиях можно определить количественно, это позволяет уточнить принадлежность определенного насаждения к тому или иному типу леса. Экспериментально установлено, что на почвах повышенного увлажнения (сосняки багульниковые) количество аномалий больше в 3,34 раза по

осравнению с почвами нормального увлажнения (сосняки мшистые).

Как специфическую особенность сосняков багульниковых можно отметить резкое увеличение количества выпавших годичных колец – в 5,67 раз больше по сравнению с сосняками мшистыми.

Доминирующим типом аномалий структуры ГК как в сосняках мшистых, так и в сосняках багульниковых являются флуктуации плотности поздней древесины, когда в пределах поздней древесины формируется слой ранних трахеид (447 из 1158).

Результаты исследований продемонстрировали, что в сосняках мшистых и багульниковых минимумы прироста и годы с максимальным числом аномалий структуры годичных колец, практически не имеют совпадений (исключение 1944 года в сосняках багульниковых).

В определенной степени оценка строения сосны обыкновенной не только с качественной, но и с количественной стороны с учетом варьирования признаков морфолого-анатомического строения годичных колец может найти применение не только в исследованиях биолого-экологической направленности, но и при проведении судебных экспертиз, направленных на решение задач, связанных с поисками возможностей сужения групповой принадлежности при выяснении отношения объектов растительного происхождения к определенному участку местности. В ряде случаев изучение комплекса индивидуализирующих признаков, к которым можно отнести и аномалии структуры ГК, позволит дополнить общую характеристику места происхождения.

Список литературы

1. Peltier D. M., Ogle K. Tree growth sensitivity to climate is temporally variable. *Ecology Letters*. 2020;23(11):1561-1572. DOI: <https://doi.org/10.1111/ele.13575>.
2. Fuchs S., Schuldt B., Leuschner C. Identification of drought-tolerant tree species through climate sensitivity analysis of radial growth in Central European mixed broadleaf forests. *Forest Ecology and Management*. 2021;494:119287. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119287>.
3. Schweingruber F. H. Wood structure and environment. Springer Science & Business Media, 2007. 279 p. URL: <https://www.coursehero.com/file/83370489/Fritz-H-Schweingruber-Wood-Structure-and-Environment-Springer-Series-in-Wood-Science-2007pdf/>.
4. Braeuning A., De Ridder M., Zafirov N., García-González I., Dimitrov D. P., Gärtner, H. Tree-ring features: indicators of extreme event impacts. *Iawa Journal*. 2016;37(2): 206-231. URL: https://brill.com/view/journals/iawa/37/2/article-p206_7.xml.
5. Gao J., Rossi S., Yang B. Origin of intra-annual density fluctuations in a semi-arid area of Northwestern China. *Frontiers in Plant Science*. 2021;12:777753. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.777753>.
6. De Micco V., Campelo F., De Luis M., Bräuning A., Grabner M., Battipaglia G., Cherubini P. Intra-annual density fluctuations in tree rings: how, when, where, and why? *IAWA Journal*. 2016;37(2):232-259. URL: https://brill.com/view/journals/iawa/37/2/article-p232_8.xml.
7. Campelo F., Nabais C., Freitas H., Gutierrez E. Climatic significance of tree-ring width and intra-annual density fluctuations in *Pinus pinaster* from a dry Mediterranean area in Portugal. *Ann. For. Sci.* 2007;64:229-238. DOI:10.1051/forest:2006107.
8. Rita A., Camarero J. J., Colangelo M., de Andrés E. G., Pompa-García M. Wood Anatomical Traits Respond to Climate but More Individualistically as Compared to Radial Growth: Analyze Trees, Not Means. *Forests*. 2022;13(6):956. DOI: <https://doi.org/10.3390/f13060956>.
9. Hetzer T., Brauning A., Leuschner H-H. High-resolution climatic analysis of wood anatomical features in Corsican pine from Corsica (France) using latewood tracheid profiles. *Trees* 2014;28:1279-1288. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00468-014-1045-7>.

10. Хох А. Н., Восканян П. С., Петросян А. А. Индивидуальные признаки в строении годичных слоев и использование их для установления места произрастания. Судебная экспертиза Беларуси. 2022;1:76-82. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48367040>.
11. Воронин В. И., Жаворонков Ю. М., Унжакова С. В., Цветков В. А. Актуальные проблемы назначения и производства судебно-ботанической экспертизы с применением методов дендрохронологии, экологической экспертизы и пути их решения. Криминалистика: вчера, сегодня, завтра. 2022;3:44-62. DOI: 10.55001/2587-9820.2022.44.51.00512.
12. Дылис Н.В. Программа и методика биогеоэкологических исследований. М.: Наука. 1974: 404. URL: https://www.studmed.ru/dylis-nv-programma-i-metodika-biogeocenologicheskikh-issledovaniy_d9bc6e477a7.html.
13. Хох А. Н., Звягинцев В.Б. Аномалии структуры годичных слоев сосны обыкновенной в зависимости от типа леса. Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. 2023;3(138):49-55. URL: <http://elib.gsu.by/jspui/handle/123456789/61605>.
14. Баринов В. В., Мыглан В. С., Назаров А. Н., Ваганов Е. А., Агатова А. Р., Непоп Р. К. Экстремальные климатические события в Республике Алтай по дендрохронологическим данным. Известия Российской академии наук. Серия биологическая. 2016;(2):188. DOI: 10.7868/S0002332916020028.
15. Brewer P. W., Murphy D., Jansma E. TRiCYCLE: a universal conversion tool for digital tree-ring data. Tree-Ring Research. 2011;67(2):135-144. DOI: <https://doi.org/10.3959/2010-12.1>.
16. Holmes R.L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. Tree-Ring Bulletin. 1983;43:69–78. URL: <http://hdl.handle.net/10150/261223>.
17. Holmes R. L., Adams R. K., Fritts H. C. User's manual for program ARSTAN. Tree-Ring Chronologies of Western North America: California, Eastern Oregon and Northern Great Basin. University of Arizona, Tucson. 1986: 50–56. URI: <http://hdl.handle.net/10150/304672>.
18. Тишин Д. В., Чижикова Н. А. Дендрохронология. Казань: Казанский университет, 2018. 34 с. URI: https://kpfu.ru/staff_files/F_662784908/Dendrochronology_09final.pdf.
19. Rigling A., Waldner P. O., Forster T., Bräker O. U., Pouttu A. Ecological interpretation of tree-ring width and intraannual density fluctuations in *Pinus sylvestris* on dry sites in the central Alps and Siberia. Canadian Journal of Forest Research. 2001;31(1):18-31. DOI: <https://doi.org/10.1139/x00-126>.
20. Sharma A., Jaloree S., Thakur R. S. Review of clustering methods: toward phylogenetic tree. Proceedings of International Conference on Recent Advancement on Computer and Communication. Springer, Singapore. 2018:475–480. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-10-8198-9_50.
21. Новаковский А. Б., Новаковская И. В. Exstat–расширение Excel для статистической обработки данных в экологии. Цианопрокариоты / цианобактерии: систематика, экология, распространение. 2019:41–44. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41186453>.
22. Briffa K. R., Jones P. D., Schweingruber F. H. Summer temperature patterns over Europe: a reconstruction from 1750 AD based on maximum latewood density indices of conifers. Quaternary Research. 1988;30(1):36-52. DOI: [https://doi.org/10.1016/0033-5894\(88\)90086-5](https://doi.org/10.1016/0033-5894(88)90086-5).
23. Матвеев С. М., Тимащук Д. А. Дендроклиматический анализ 200-летнего древостоя сосны обыкновенной в Воронежском биосферном заповеднике. Лесоведение. 2019;2: 93-104. DOI: 10.1134/S0024114819020074.
24. Логинов В. Ф., Волчек А. А., Валуев В. Е., Герменчук М. Г., Комаровская Е. В., Курчевский С. М., Шпока И. Н. Атлас опасных метеорологических явлений на территории Беларуси : учеб. пособие. М. : Мещер. Ф-л ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова. 2016:58. URL:<https://rep.bstu.by/handle/data/3833>.
25. Постановление Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь от 9 ноября 2020 г. № 11 «Об осуществлении деятельности по проведению судебных экспертиз» – 18 с.
26. Розанов, М. И. Дендрохронологические методы экспертизы древесины. ВНИИСЭ экспертная техника. 1971; 34:45–65.

27. Розанов, М. И. Установление источника происхождения дерева. Криминалистическое исследование вещественных доказательств физическими, химическими и биологическими методами. ЦНИИСЭД. 1969;2: 34–36.
28. Dormontt, E. E., Boner, M., Braun, B., Breulmann, G., Degen, B., Espinoza, E., Lowe, A. J. Forensic timber identification: It's time to integrate disciplines to combat illegal logging . *Biological Conservation*. 2015;191:790-798. URL: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.06.038>

References

1. Peltier D. M., Ogle K. Tree growth sensitivity to climate is temporally variable. *Ecology Letters*. 2020;23(11):1561-1572. DOI: <https://doi.org/10.1111/ele.13575>
2. Fuchs S., Schuldt B., Leuschner C. Identification of drought-tolerant tree species through climate sensitivity analysis of radial growth in Central European mixed broadleaf forests. *Forest Ecology and Management*. 2021;494:119287. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119287>
3. Schweingruber F. H. Wood structure and environment. Springer Science & Business Media, 2007. 279 p. URL: <https://www.coursehero.com/file/83370489/Fritz-H-Schweingruber-Wood-Structure-and-Environment-Springer-Series-in-Wood-Science-2007pdf/>
4. Braeuning A., De Ridder M., Zafirov N., García-González I., Dimitrov D. P., Gärtner, H. Tree-ring features: indicators of extreme event impacts. *Iawa Journal*. 2016;37(2): 206-231. URL: https://brill.com/view/journals/iawa/37/2/article-p206_7.xml
5. Gao J., Rossi S., Yang B. Origin of intra-annual density fluctuations in a semi-arid area of Northwestern China. *Frontiers in Plant Science*. 2021;12:777753. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.777753>
6. De Micco V., Campelo F., De Luis M., Bräuning A., Grabner M., Battipaglia G., Cherubini P. Intra-annual density fluctuations in tree rings: how, when, where, and why? *IAWA Journal*. 2016;37(2):232-259. URL: https://brill.com/view/journals/iawa/37/2/article-p232_8.xml
7. Campelo F., Nabais C., Freitas H., Gutierrez E. Climatic significance of tree-ring width and intra-annual density fluctuations in *Pinus pinaster* from a dry Mediterranean area in Portugal. *Ann. For. Sci.* 2007;64:229-238. DOI:10.1051/forest:2006107
8. Rita A., Camarero J. J., Colangelo M., de Andrés E. G., Pompa-García M. Wood Anatomical Traits Respond to Climate but More Individualistically as Compared to Radial Growth: Analyze Trees, Not Means. *Forests*. 2022;13(6):956. DOI: <https://doi.org/10.3390/f13060956>
9. Hetzer T., Brauning A., Leuschner H-H. High-resolution climatic analysis of wood anatomical features in Corsican pine from Corsica (France) using latewood tracheid profiles. *Trees* 2014;28:1279-1288. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00468-014-1045-7>
10. Hoh A. N., Voskanyan P. S., Petrosyan A. A. Individual'nye priznaki v stroenii godichnyh sloev i ispol'zovanie ih dlya ustanovleniya mesta proizrastaniya. [Individual features in the structure of annual layers and their use to establish the place of growth]. *Sudebnaya ekspertiza Belarusi =Forensic Examination of Belarus*. 2022;1:76-82. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48367040>
11. Voronin V. I., ZHavoronkov Yu. M., Unzhakova S. V., Cvetkov V. A. Aktual'nye problemy naznacheniya i proizvodstva sudebno-botanicheskoy ekspertizy s primeneniem metodov dendrohronologii, ekologicheskoy ekspertizy i puti ih resheniya. [Current problems of the appointment and production of a forensic-botanical examination with the use of dendrochronology, environmental examination methods and the ways of their solution]. *Kriminalistika: vchera, segodnya, zavtra = Forensics: yesterday, today,tomorrow*. 2022;3:44-62. (In Russ.). DOI: 10.55001/2587-9820.2022.44.51.005
12. Dylis N. V. Programma i metodika biogeocenologicheskikh issledovaniy [Program and methodology of biogeocenological research. M.: Nauka. 1974:404. (In Russ.). URL: https://www.studmed.ru/dylis-nv-programma-i-metodika-biogeocenologicheskikh-issledovaniy_d9bc6e477a7.html

13. Hoh A. N., Zvyaginets V.B. Anomalii struktury godichnyh sloev sosny obyknovnoy v zavisimosti ot tipa lesa. [Abnormalities of the structure of annual pine layers depending on the type of forest] Izvestiya Gomel'skogo gosudarstvennogo universiteta imeni F. Skoriny = Proceedings of F. Scorina Gomel State University. 2023;3(138):49-55. URL: <http://elib.gsu.by/jspui/handle/123456789/61605>
14. Barinov V. V., Myglan V. S., Nazarov A. N., Vaganov E. A., Agatova A. R., Nepop R. K. Ekstremal'nye klimaticheskie sobytiya v Respublike Altaj po dendrochronologicheskim dannym.[Extreme climatic events in the altai republic according to dendrochronological data] Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Seriya biologicheskaya. = Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Series Biological. 2016;(2):188. DOI: 10.7868/S0002332916020028
15. Brewer P. W., Murphy D., Jansma E. TRiCYCLE: a universal conversion tool for digital tree-ring data. Tree-Ring Research. 2011;67(2):135-144. DOI: <https://doi.org/10.3959/2010-12.1>
16. Holmes R.L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. Tree-Ring Bulletin. 1983;43:69–78. URL: <http://hdl.handle.net/10150/261223>
17. Holmes R. L., Adams R. K., Fritts H. C. User's manual for program ARSTAN. Tree-Ring Chronologies of Western North America: California, Eastern Oregon and Northern Great Basin. University of Arizona, Tucson.1986: 50–56. URI: <http://hdl.handle.net/10150/304672>
18. Tishin D.V., Chizhikova N.A. Dendrokhronologiya [Dendrochronology]. Kazan: Kazanskiy universitet. 2018: 34 (In Russ.). URI: https://kpfu.ru/staff_files/F_662784908/Dendrochronology_09final.pdf
19. Rigling A., Waldner P. O., Forster T., Bräker O. U., Pouttu A. Ecological interpretation of tree-ring width and intraannual density fluctuations in Pinus sylvestris on dry sites in the central Alps and Siberia. Canadian Journal of Forest Research. 2001;31(1):18-31. DOI: <https://doi.org/10.1139/x00-126>
20. Sharma A., Jaloree S., Thakur R. S. Review of clustering methods: toward phylogenetic tree. Proceedings of International Conference on Recent Advancement on Computer and Communication. Springer, Singapore. 2018:475–480. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-10-8198-9_50
21. Novakovskij A. B., Novakovskaya I. V. Exstatr–rasshirenie Excel dlya statisticheskoy obrabotki dannyh v ekologii. [Exstatr – the excel plugin for statistical analysis of ecological data] Cianoprokarioty / cianobakterii: sistematika, ekologiya, rasprostranenie [Cyanoprokaryotes/cyanobacteria: taxonomy, ecology, distribution]. 2019:41–44. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41186453>
22. Briffa K. R., Jones P. D., Schweingruber F. H. Summer temperature patterns over Europe: a reconstruction from 1750 AD based on maximum latewood density indices of conifers. Quaternary Research. 1988;30(1):36-52. DOI: [https://doi.org/10.1016/0033-5894\(88\)90086-5](https://doi.org/10.1016/0033-5894(88)90086-5)
23. Matveev S.M., Timashchuk D.A. Dendroklimaticheskij analiz 200-letnego drevostostoya sosny obyknovnoy v Voronezhskom biosfernom zapovednike. [Dendroclimatic assessment of a 200-year-old scots pine stand in the voronezh biosphere reserve]. Lesovedenie = Forestry. 2019;2:93-104. (In Russ.). DOI: 10.1134/S0024114819020074
24. Loginov V. F., Volchek A. A., Valuev V. E., Germenchuk M. G., Komarovskaya E. V., Kurchevskij S. M., SHpoka I. N. Atlas opasnyh meteorologicheskikh yavlenij na territorii Belarusi : ucheb. posobie. [Atlas of hazardous meteorological phenomena on the territory of Belarus: textbook.]. M. : Meshcher. F-I VNIIGiM im. A.N. Kostyakova. 2016:58. (In Russ.). URL:<https://rep.bstu.by/handle/data/3833>
25. Postanovlenie Gosudarstvennogo komiteta sudebnyh ekspertiz Respubliki Belarus' ot 9 noyabrya 2020 g. № 11 «Ob osushchestvlenii deyatelnosti po provedeniyu sudebnyh ekspertiz» [On the implementation of activities for conducting forensic examinations]. 2020:18. (In Russ.).
26. Rozanov M.I. Dendrochronologicheskije metody ekspertizy drevesiny. [Dendrochronological methods of wood investigation] VNIISE ekspertnaya tekhnika. 1971; 34:45–65. (In Russ.).
27. Rozanov, M. I. Ustanovlenie istochnika proiskhozhdeniya dereva.Kriminalisticheskoe issledovanie veshchestvennyh dokazatel'stv fizicheskimi, himicheskimi i biologicheskimi metodami. [Establishing the source of the

origin of the tree. Forensic examination of material evidence using physical, chemical and biological method] CNIISE. 1969;2:34–36. (In Russ.).

28. Dormontt, E. E., Boner, M., Braun, B., Breulmann, G., Degen, B., Espinoza, E., Lowe, A. J. Forensic timber identification: It's time to integrate disciplines to combat illegal logging . Biological Conservation. 2015;191:790-798. URL: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.06.038>

Сведения об авторах

✉ *Хох Анна Николаевна* – зав. лабораторией исследования материалов, веществ и изделий, Научно-практический центр Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь, ул. Филимонова, 25, г. Минск, Республика Беларусь, 220114, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4633-0163>, e-mail: 1ann1hoh@gmail.com

Information about the authors

Anna N. Khokh – Head of the Laboratory of Materials, Substances and Products Research, Scientific and Practical Center of The State Forensic Examination Committee of The Republic of Belarus, Philimonova str., 25, Minsk, Republic of Belarus, 220114, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4633-0163>, e-mail: 1ann1hoh@gmail.com

✉ – Для контактов | Corresponding author