

УДК 581.574.24+343.98

А. Н. Хох¹, В. Б. Звягинцев²¹зав. лаб. исследования материалов, веществ и изделий

Научно-практического центра

Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь

²канд. биол. наук, доц., зав. каф. лесозащиты и древесиноведения

Белорусского государственного технологического университета

e-mail: ¹1ann1hoh@gmail.com

ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ОБУСЛОВЛЕННОСТЬ АНАТОМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КЛЕТОЧНОЙ СТРУКТУРЫ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В УСЛОВИЯХ БЕЛАРУСИ

*Рассматривается вопрос о влиянии географических условий места произрастания на особенности анатомических структур годичных слоев древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Объектами исследования являлись спелые древостои, произрастающие в условиях Беларуси. Всего по принятым в области лесоведения и лесной таксации методикам было заложено 12 временных пробных площадей в мшистом типе леса (*Pinetum pleuroziosum*). Определены величины таких показателей, как количество ранних и поздних трахеид, размеры их полостей в радиальном и тангенциальном направлениях, толщина и площадь клеточных стенок. По результатам исследований выявлены устойчивые тенденции изменчивости размерных характеристик трахеид в зависимости от географической широты. Приведенные в работе факты могут иметь практическое значение для сравнительных исследований древесины сосны в целях ориентировочного определения интересующего участка местности.*

Введение

В Республике Беларусь установить место произрастания срубленных деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) с использованием какого-либо одного метода зачастую не представляется возможным, поскольку все они имеют недостаточную для решения данной задачи разрешающую способность, а потому с их помощью исследуемые объекты относят только к достаточно большим по площади территориям.

Так, в случае с дендрохронологическим методом ограничения в основном связаны с отсутствием выраженных климатических факторов, которые бы лимитировали радиальный прирост. Химические методы работают только в пределах геохимических провинций, площадь которых насчитывает тысячи квадратных километров. Биохимические методы сталкиваются с проблемой изменчивости биохимических показателей популяции в зависимости от сезона рубки ствола дерева и от изменчивости климатических характеристик, влияющих на обмен веществ в дереве.

Нельзя не отметить и наиболее надежные среди всех перечисленных выше – генетические, однако и они позволяют идентифицировать только популяцию, из которой происходит срубленная древесина.

Таким образом, в настоящее время следует признать оправданным дальнейшее расширение комплекса взаимодополняющих методов для установления места произрастания, которые дадут возможность разносторонне оценить совокупность признаков и выделить важнейшие критерии, по которым с большой достоверностью можно будет судить о региональной принадлежности лесоматериалов из древесины сосны.

Перспективным направлением для решения указанной задачи является анатомо-экологическое исследование клеточных структур годичных слоев.

Известно, что жизненная форма растений генетически детерминирована и определяется наследственными качествами.

Однако в зависимости от условий места произрастания в природе наблюдается некоторая вариационность не только внешних особенностей одних и тех же растений,

но и признаков их анатомического строения [1, с. 12; 2, с. 3–44]. При этом индивидуальные особенности и наиболее узкие групповые признаки формируются именно под воздействием условий окружающей среды, т. е. растения адаптируют свою структуру. Эта адаптация происходит во время процессов деления и дифференцировки клеток.

Поскольку древесина хвойных пород в основном состоит из удлинённых клеток – трахеид, которые занимают свыше 90 % общего объёма древесины, мы брали именно их за основу в нашем исследовании.

В начале сезона роста формируется ранняя древесина, состоящая из клеток с тонкими стенками – ранние трахеиды, к концу вегетации – поздняя древесина, т. е. клетки меньшего радиального размера с более толстыми стенками – поздние трахеиды. Ранние трахеиды лучше приспособлены для проведения восходящих потоков жидкости, в то время как поздние – для выполнения механической функции.

Экспериментальные исследования указывают [3, с. 2; 4, с. 209], что соотношение между ранней и поздней древесиной, а также сам переход от формирования ранних трахеид к формированию поздних в ходе вегетации связаны с физиологическими особенностями сезонного роста и развития дерева, а также с динамикой температурных условий и условий увлажнения.

Цель работы заключалась в количественной оценке вариаций отдельных размерных параметров клеточных структур древесины сосны из насаждений лесного фонда Беларуси в связи с географическими особенностями произрастания для получения дополнительной информации, которая в дальнейшем могла бы использоваться в экспертной практике при решении идентификационных задач, связанных с локализацией участка местности.

Материалы и методы

Исследованиям подвергались сосняки мшистые как доминирующая лесная формация на территории Беларуси [5].

В исследовании использован экспериментальный дендрохронологический материал (буровые керны), полученный с 12 временных пробных площадей (далее – ВПП), заложенных в 2015–2016 гг. на территории Республики Беларусь по принятым в области лесоведения и лесной таксации методикам [6–8].

Отбор образцов был произведен в рамках реализации задания 3.2.01 «Разработка новых подходов к исследованию объектов растительного происхождения при проведении судебно-экспертных исследований» по государственной программе научных исследований «Информатика, космос и безопасность» (подпрограмма 5.3 «Научное обеспечение безопасности человека, общества и государства», раздел 2 «Методы и технологии судебно-экспертной деятельности», номер госрегистрации 20160444).

Расположение ВПП показано на рисунке 1 (по условным линиям с севера на юг и с запада на восток). Минимальное расстояние между ними составило 70 км, максимальное – 138 км.



Рисунок 1. – Схема расположения объектов исследования

Изучение анатомического строения древесины в таких древостоях остается актуальным, хотя стоит отметить, что вопросы зависимости ширины годичного слоя у сосны от географической широты и условий места произрастания в пределах Беларуси досконально изучены А. И. Русаленко на примере сосняков лишайниковых, мшистых, черничных и насаждений, произрастающих на переходных и низинных болотах [9, с. 137–143].

При подборе объектов исследования старались добиться максимальной однородности по почвенным условиям и условиям увлажненности (таблица 1). Все насаждения имели естественное происхождение.

Таблица 1. – Некоторые лесоводственно-таксационные показатели насаждений на ВПП

№ ВПП	Координаты		Тип условий местопроизрастания	Состав	Возраст, лет	Класс бонитета
	Широта	Долгота				
1	55°57'33.7"N	28°38'31.7"E	A2	10С	130	2
2	54°43'22.7"N	28°17'26.6"E	A2	10С+Б	90	2
3	53°58'35.1"N	27°18'52.0"E	A2	9С1Б	130	1
4	53°24'01.9"N	27°44'21.5"E	A2	9С1Е+Б	85	1
5	52°10'31.7"N	27°47'05.9"E	A2	10С	80	1
6	51°43'45.2"N	28°08'55.5"E	A2	9С1Б	130	2
7	53°53'24.6"N	23°35'53.2"E	A2	10С	100	2
8	53°59'04.4"N	24°41'09.4"E	A2	10С ед. Б	85	2
9	53°49'55.9"N	26°29'59.9"E	A2	9С1Б	110	1
10	53°53'33.5"N	29°43'10.7"E	A2	10С	80	1
11	53°47'16.9"N	31°05'29.3"E	A2	8С2Е	125	1
12	53°20'53.0"N	32°35'44.0"E	A2	9С1Е	110	1

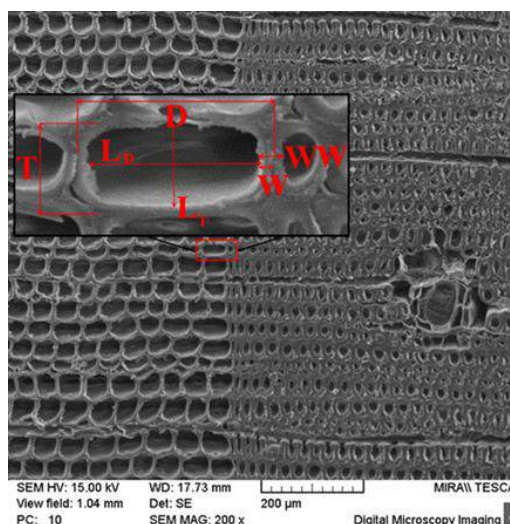
С каждой ВПП исследовали по 10 буровых кернов, отобранных с господствующих и согосподствующих деревьев (I–II классы Крафта) возрастом не менее 80 лет по принятой в криминалистике методике [10]. Перед непосредственным проведением измерений керны замачивали на 10–15 минут в горячей воде, затем ножом пистолетным с выдвижным лезвием в поперечном сечении срезали верхнюю часть толщиной 1–1,5 мм. Старались добиться максимально ровной и гладкой поверхности, а также избежать

образования царапин и других изъянов. Затем образцы просушивали при комнатной температуре и анализировали.

Количество ранних и поздних трахеид подсчитывали в последних 20 годичных слоях образца, размерные характеристики трахеид изучали по направлению от коры к сердцевине по 10 рядов клеток в каждом слое (т. е. от 300 до 600 трахеид в каждом керне), начиная от ранней древесины к поздней. Клетки, имеющие нестандартную форму поперечного сечения, при расчетах средних параметров не учитывались.

Цифровые изображения трахеид получали с помощью сканирующего электронного микроскопа высокого разрешения MIRA3 фирмы Tescan (Чехия) при увеличении $\times 200$ на базе ГУ «Научно-исследовательский институт порошковой металлургии». Размерные характеристики рассчитывали в программе MCview (LOMO-Micro-systems), полученные данные в дальнейшем автоматически преобразовывались в сводную электронную таблицу формата Microsoft Office Excel. Для разграничения ранних и поздних трахеид применяли «правило Морка» [11, с. 54].

Для каждой трахеиды определяли размер клетки и полости по радиальному и тангенциальному направлениям, а также толщину одинарной и двойной клеточной стенки (рисунок 2).



T – тангенциальный размер клетки; D – радиальный размер клетки;
 L_T – тангенциальный размер полости; L_D – радиальный размер полости;
 W – толщина двойной клеточной стенки; WW – толщина двойной клеточной стенки

**Рисунок 2. – Участок годичного слоя *Pinus sylvestris* L.
 (на примере ранней трахеиды) (ВПП № 9)**

Расчет площади клеточной стенки ($S_{\text{кк}}$) и площади полости ($S_{\text{п}}$) проводили по следующим формулам [11, с. 22]:

$$S_{\text{кк}} = WW \times (T + D - WW), \quad (1)$$

$$S_{\text{п}} = D \times T - S_{\text{кк}}. \quad (2)$$

Для проведения статистического анализа использовался программный пакет Statistica, version 10.0 (StatSoft, США). Оценку статистической значимости различий средних значений проводили методом однофакторного дисперсионного анализа (oneway ANOVA) и теста Дункана для множественных сравнений (Duncan's multiple range tests).

Для построения классификационной модели методом главных компонент (РСА-анализ) использовали программное обеспечение The Unscrambler X (CAMO, США).

В целом работа основана на системном подходе, включающем рассмотрение лесоводственно-таксационных характеристик сосновых насаждений, их возрастной структуры в сочетании с анализом анатомического строения массового дендрохронологического материала. Такой подход позволил получить общее представление об изменениях размерных характеристик поперечных разрезов ранних и поздних трахеид древесины сосны в зависимости от географо-территориального расположения.

Результаты исследований и их обсуждение

Средние значения показателей радиального прироста и размерных характеристик ранних и поздних трахеид на поперечном разрезе древесины представлены в таблице 2 для каждой ВПП.

Таблица 2. – Количественные характеристики анатомического строения трахеид древесины *Pinus sylvestris* L. на поперечном разрезе

При- знак	Пара- метр	Временная пробная площадь											
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8	№ 9	№ 10	№ 11	№ 12
Радиальный прирост	ГС _{ср} (mm)	1,3	1,6	1,39	1,45	2,8	3,5	1,95	1,8	1,8	2,05	2,1	2,0
	SD	0,59	0,5	0,37	0,51	1,02	0,93	0,52	0,77	0,54	0,71	1,02	0,96
	ПД _{ср} , μm	0,3	0,3	0,5	0,5	0,9	1,2	0,7	0,7	0,6	0,7	0,8	0,8
	SD	0,02	0,04	0,09	0,06	0,11	0,21	0,08	0,06	0,11	0,12	0,11	0,09
	% ПД _{ср}	23	19	36	34	32	34	36	39	33	34	38	40
Ранние трахеиды	N _{ср}	24	31	27	30	28	29	26	19	27	18	38	48
	SD	1,15	1,24	1,72	1,14	2,13	2,80	1,74	1,21	1,20	1,16	2,21	2,36
	T _{ср} , μm	29,93	33,8	34,2	34,81	35,11	35,47	34,8	34,8	34,8	34,8	36,01	35,78
	SD	0,42	0,89	0,92	1	0,64	0,32	1,01	0,34	0,87	0,99	0,67	0,73
	D _{ср} , μm	32,12	36,01	35,87	35,92	39,81	39,69	35,82	36	35,78	35,85	39,84	39,91
	SD	0,96	0,58	0,67	0,53	0,78	0,99	0,96	0,36	0,76	1	0,79	0,93
	L _{T ср} , μm	26,41	29,92	29,1	28,9	30,2	30,1	28,8	28,94	29,1	29,4	28,99	30,03
	SD	0,41	0,51	0,4	0,36	0,6	0,21	0,8	0,41	0,73	0,6	0,52	1,02
	L _{D ср} , μm	28,62	35,01	34,87	34,92	37,12	36,69	34,82	35	34,78	34,85	36,84	36,98
	SD	0,96	0,58	0,67	0,53	0,78	0,67	0,96	0,36	0,76	1	0,79	0,93
	W _{ср} , μm	1,82	2,1	2,34	2,57	2,61	2,65	2,36	2,31	2,34	2,3	2,34	2,36
	SD	0,21	0,13	0,06	0,31	0,27	0,33	0,09	0,11	0,08	0,12	0,21	0,09
	WW _{ср}	3,59	4,09	4,75	5,11	5,3	5,29	4,61	4,6	4,62	4,59	4,6	4,58
	SD	0,56	0,62	0,71	0,24	0,41	0,31	0,56	0,67	0,81	0,62	0,16	0,12
	S _{кс ср} μm ²	497,0	637,96	755,92	827,31	906,51	907,13	736,12	736,00	737,54	732,84	782,46	777,23
	S _{п ср} μm ²	959,5	1215,0	1224,4	1247,8	1395,1	1405,1	1244,1	1250,4	1242,8	1245,2	1432,3	1425,6
Поздние трахеиды	N _{ср}	19	16	18	19	16	13	18	12	19	26	24	19
	SD	1,32	1,22	1,21	1,17	1,74	1,76	1,36	1,11	1,13	1,24	1,22	1,45
	T _{ср} , μm	26,41	29,92	29,1	28,9	30,2	30,1	28,8	28,94	29,1	29,4	28,99	30,03
	SD	0,41	0,51	0,4	0,36	0,6	0,21	0,8	0,41	0,73	0,6	0,52	1,02
	D _{ср} , μm	17,6	18,6	19,6	18,6	20,6	20,3	19,6	18,8	19	18,6	19,9	21,1
	SD	0,21	0,93	0,55	0,65	0,57	0,69	0,71	0,75	0,59	0,67	0,45	0,61

Окончание таблицы 2

Поздние трахеиды	$L_{T\text{ ср}}, \mu\text{м}$	22,76	26,71	25,47	25,33	26,81	26,64	25,04	25,72	25,76	26,1	25,45	27,02
	SD	0,45	0,24	0,63	0,6	0,44	0,48	0,41	0,37	0,26	0,37	0,33	0,39
	$L_{D\text{ ср}}, \mu\text{м}$	13,84	14,61	15,85	14,82	17,12	16,84	15,84	15,58	15,66	15,3	16,36	18,09
	SD	0,05	0,23	0,23	0,16	0,14	0,17	0,05	0,06	0,39	0,06	0,11	0,05
	$W_{\text{ср}}, \mu\text{м}$	4,02	3,53	3,99	3,93	3,73	3,81	4,14	3,54	3,67	3,63	3,89	3,31
	SD	0,09	0,05	0,16	0,31	0,17	0,33	0,09	0,11	0,78	0,12	0,21	0,09
	$WW_{\text{ср}}, \mu\text{м}$	8,04	6,95	7,77	7,74	7,41	7,28	8,15	6,97	7,13	7,29	7,71	6,68
	SD	0,32	0,48	0,49	0,34	0,36	0,36	0,72	0,74	0,41	0,25	0,24	0,22
	$S_{\text{кс ср}} \mu\text{м}^2$	429,68	453,52	488,27	470,55	503,07	492,00	497,66	444,56	455,41	460,65	488,88	473,34
	$S_{\text{п ср}} \mu\text{м}^2$	461,17	553,30	566,73	533,97	618,73	607,57	560,72	540,85	549,56	543,54	573,36	630,62

Примечание – $ГС_{\text{ср}}$ – средняя ширина годичного слоя; $ПД_{\text{ср}}$ – средняя ширина зоны поздней древесины; $\% ПД_{\text{ср}}$ – процент поздней древесины от общей ширины годичного слоя; $N_{\text{ср}}$ – среднее количество трахеид в 1 годичном слое; $T_{\text{ср}}$ – средний тангенциальный размер трахеиды; $D_{\text{ср}}$ – средний радиальный размер трахеиды; $L_{T\text{ ср}}$ – средний тангенциальный размер полости трахеиды; $L_{D\text{ ср}}$ – средний радиальный размер полости трахеиды; $W_{\text{ср}}$ – толщина клеточной стенки; $WW_{\text{ср}}$ – толщина двойной клеточной стенки; $S_{\text{кс ср}}$ – площадь клеточной стенки трахеиды; $S_{\text{п ср}}$ – площадь полости трахеиды; SD – среднеквадратичное отклонение параметра.

Обработка полученных результатов показала, что все средние значения статистически значимы ($p \leq 0,05$), эмпирический t-критерий Стьюдента находится в интервале от 9 до 124.

Сравнивая приведенные в таблице 1 значения исследуемых параметров, можно отметить, что средняя ширина годичного слоя у деревьев сосны с исследованных ВПП изменяется в больших пределах (от 1,3 до 3,5 мм). Это объясняется разнообразием факторов, действующих на прирост деревьев. Однако различия показателей радиального прироста между отдельными деревьями на ВПП недостоверны ($p > 0,05$), что указывает на однородность модельного материала и возможность его использования для целей нашего исследования.

Повышенной изменчивостью параметров радиального прироста характеризуются ВПП № 5, 11, 12, которые расположены в южной части республики, одной из причин этого может являться неустойчивость увлажнения данных территорий [9, с. 221].

В целом по абсолютной величине изменение показателей радиального прироста, а именно ширины поздней древесины и годичного слоя в целом, подчиняется правилу: чем лучше условия произрастания, тем больше показатели радиального прироста, исключение составляет соотношение ранней и поздней древесины. Из исследованных объектов наибольшим радиальным приростом характеризовались древостои на ВПП № 5 и № 6, в которых ширина поздней древесины равна 0,9 и 1,2 мм, годичного слоя в целом – 2,8 и 3,5 мм, а наименьшим – древостой на ВПП № 1, где эти величины соответственно составляют 0,3 и 1,3 мм.

Соотношение ранней и поздней древесины в годичном слое в изученных нами древостоях колеблется от 0,6 до 4,3, что соответствует доле участия поздней древесины от 19 до 40 %. У сосны в условиях местопроизрастания, приближающимся к оптимальным, соотношение ранней и поздней древесины составляет величину, близкую к 1 [9, с. 103]. В наших исследованиях наибольший процент поздней древесины установлен для ВПП № 12, в связи с чем можно предположить, что сосняки на данной территории произрастают в условиях, близких к оптимальным.

Проанализированные размерные показатели анатомического строения древесины сосны также характеризуются достаточно сильной изменчивостью (таблица 1).

Результаты проведенных исследований показывают, что вне зависимости от места произрастания количество ранних трахеид в одном годичном слое в среднем в 1,6 раза больше, чем поздних; их радиальный размер, поперечное сечение – в 1,9 раза (размер полостей в 2,2 раза), в то время как тангенциальный в 1,2 раза (размер полостей в 1,1 раза).

Таким образом, поздние трахеиды имеют более сдавленную в радиальном направлении форму, чем ранние.

Поздняя древесина сосны обыкновенной имеет в 1,6 раза большую толщину стенок трахеид. В среднем площадь клеточной стенки одной трахеиды ранней древесины равняется $753 \mu\text{m}^2$, а поздней $471 \mu\text{m}^2$, т. е. ранние трахеиды имеют большую площадь поперечного сечения в примерно в 1,6 раза.

Еще более резкие различия наблюдаются при сравнении площадей полостей трахеид. Площадь полости у ранних трахеид в $\approx 2,3$ раза больше, чем у поздних. Отметим, что максимальные размеры как ранних, так и поздних трахеид наблюдались у образцов с ВПП № 5, 6, минимальные – с ВПП № 1.

Это можно объяснить тем, что на размерные характеристики трахеид большое влияние оказывает продолжительность вегетационного периода. В среднем этот показатель составляет в южных регионах Беларуси около 205 дней, а в северных – около 180 дней [12, с. 230].

Для выявления различий между исследованными ВПП были построены предсказательные классификационные модели [13] методом главных компонент (РСА-анализ) на основе рассчитанных размерных характеристик ранних и поздних трахеид (рисунок 3).

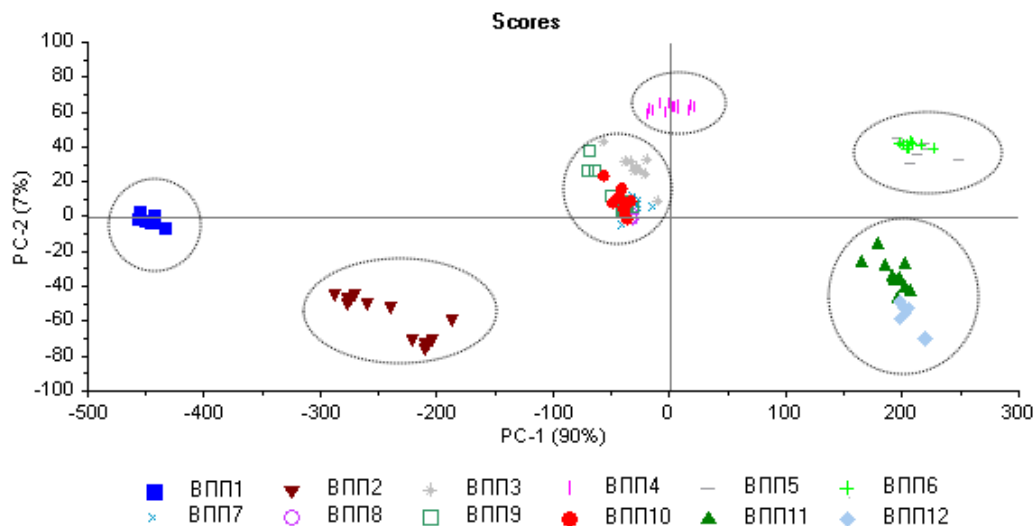


Рисунок 3. – Результаты РСА-анализа данных

Для того чтобы оценить качество моделей, была осуществлена их проверка с помощью метода кросс-валидации [12, с. 7], по результатам которой установлено, что все построенные модели являются устойчивыми и стабильными, а потому могут быть использованы для дифференциации исследованных ВПП.

На рисунке 4 представлено распределение Хоттеллинга (T^2 -распределение) [13].

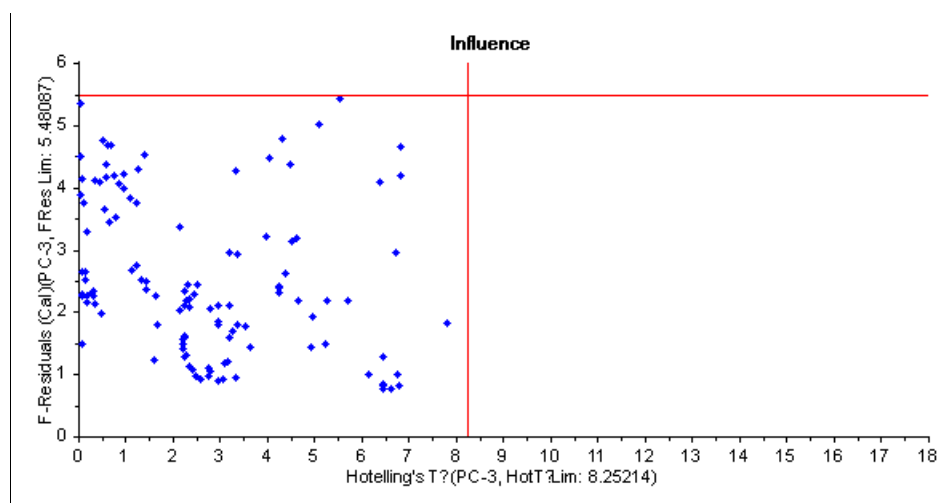


Рисунок 4. – Распределение Хоттеллинга по всем исследованным образцам

Как следует из распределения Хоттеллинга (T^2 -распределение) [14, с. 310], все исследованные образцы находятся в левом нижнем квадранте графика, а это позволяет сделать вывод, что полученные классификационные модели не содержат в себе грубых погрешностей (промахов).

Таким образом, использованные предсказательные модели позволили разделить (классифицировать) исследованные образцы на 6 хорошо различающихся групп. Образцы с ВПП № 1 (Россонский район Витебской области), ВПП № 2 (ГПУ «Березинский биосферный заповедник», Витебская область), ВПП № 4 (Пуховичский район Минской области) сформировались в индивидуальные группы, что позволяет их выделить с помощью метода главных компонент.

Образцы с ВПП № 5 (Житковичский район Гомельской области) и ВПП № 6 (Лельчицкий район Гомельской области) формируют единый кластер, что может быть обусловлено сходными климатическими факторами (например, температурный режим летних месяцев) и для данных ВПП совпадает с агроклиматическим районированием.

Также единый кластер формируют ВПП № 3 (Минский район), ВПП № 7 (Гродненский район), ВПП № 8 (Щучинский район Гродненской области), ВПП № 9 (РЛЗ «Налибокский», Минская область), ВПП № 10 (Бельничский район Могилевской области). Этот факт можно объяснить тем, что пробные площади расположены примерно на одной географической широте.

Однако наблюдается отчетливое отделение ВПП № 11 (Чаусский район Могилевской области) и ВПП № 12 (Хотимский район Могилевской области), которые расположены примерно на той же широте, однако формируют собственный кластер (группу), который расположен в правой зоне отрицательных значений по оси фактора 2. В то же время для ВПП № 3, 7–10 величина фактора 2 в большинстве случаев характеризуется положительной величиной, кроме того, все они расположены в левой зоне.

Возможно, причина кроется в том, что территория, на которой расположены ВПП № 11, 12, находится в зоне радиоактивного загрязнения (пятно, расположенное на севере Гомельской области и в центральной части Могилевской). Отметим: для буровых кернов с данных ВПП наблюдалось также и наибольшее количество выбракованных из эксперимента трахейд с нестандартной формой поперечного сечения ($\approx 9,8\%$).

Заклучение

Обобщая полученные результаты, можно отметить, что территория Республики Беларусь является благоприятной для произрастания сосновых древостоев. Однако в связи с воздействием целого комплекса формирующих климат факторов неизбежно наблюдается некоторая вариационность как общих параметров радиального прироста, так и анатомических характеристик годичного слоя.

В целом выполненные экспериментальные исследования позволили сделать следующие выводы.

1. Размерные параметры трахеид годичных слоев древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) подвержены влиянию географических факторов места произрастания и отличаются большей чувствительностью, чем общие параметры радиального прироста.

2. В большей степени, по сравнению со всеми исследованными параметрами, от условий местопроизрастания зависит соотношение ранней и поздней древесины.

3. Сравнительный анализ анатомического строения годичных слоев может использоваться для дифференциации образцов древесины. Необходимым условием для правильной интерпретации полученных результатов является применение хемометрических алгоритмов анализа (например, анализ главных компонент, сопоставление кластеров и т. д.).

4. Выявленные закономерности изменчивости размерных характеристик трахеид могут иметь практическое значение в случае перевода сравнительных исследований в целях верификации легальности или доказательства происхождения срубленной древесины с места незаконной рубки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wilson, K. The anatomy of wood: its diversity and variability / K. Wilson, D. J. B. White. – Stobart & Son, 1986. – 309 p.
2. Crang, R. Plant Anatomy: A Concept-Based Approach to the Structure of Seed Plants / R. Crang, S. Lyons-Sobaski, R. Wise. – Springer International Publishing, 2018. – 725 p.
3. Formation of new networks of earlywood vessels in seedlings of the deciduous ring-porous hardwood *Quercus serrata* in springtime / K. Kudo [et al.] // *Trees*. – 2018. – P. 1–10.
4. Babushkina, E. A. Earlywood and Latewood Features of *Pinus sylvestris* in Semiarid Natural Zones of South Siberia / E. A. Babushkina, L. V. Belokopytova // *Russian Journal of Ecology*. – 2018. – Vol. 49, № 3. – P. 209–217.
5. Гельтман, В. С. Географический и типологический анализ лесной растительности Белоруссии / В. С. Гельтман. – Минск : Наука и техника, 1982. – 328 с.
6. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки : ОСТ 56-69-83. – Утв. приказом Гос. комитета СССР по лесному хозяйству № 72 от 23 мая 1983 г.
7. Мелехов, И. С. Лесоведение : учеб. для вузов / И. С. Мелехов. – 3-е изд., стер. – М. : МГУЛ, 2004. – 398 с.
8. Мелехов, И. С. Лесоводство / И. С. Мелехов. – М., 1989. – 302 с.
9. Русаленко, А. И. Годичный прирост деревьев и влагообеспеченность / А. И. Русаленко. – М. : Наука и техника, 1986. – 238 с.
10. Методические рекомендации по исследованию лесоматериалов дендрохронологическим методом в судебно-ботанической экспертизе / А. Н. Хох [и др.]. – Минск : Право и экономика, 2018. – 46 с.
11. Bardarov, N. Influence of some anatomical features on the density of wood / N. Bardarov, C. Novoselets // *Innovation in woodworking industry and engineering design*. – 2013. – Vol. 2. – P. 53–58.

12. Основные результаты мониторинга изменения климата на территории Республики Беларусь / В. И. Мельник // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 6–7 апр. 2016 г. – С. 228–235.

13. Kessler, W. A Handy Tool for Chemometrics: The Unscrambler X / W. Kessler, R. Kessler // Scientific Computing. – 2010. – Vol. 27, № 4. – 13 p.

14. Zhang, W. Pricing of Shared-Parking Lot: An Application of Hotelling Model / W. Zhang, S. Wang // International Conference on Intelligent Interactive Multimedia Systems and Services. – Smart Innovation, Systems and Technologies. – 2018. – Vol 98. – P. 310–317.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 25.06.2019

Khokh A. N., Zvyagintsev V. B. Geographic Conditionality of the Anatomical Characteristics of Cell Structure of Scots Pine Wood in Conditions of Belarus

The article considers the issue of the influence of geographical conditions of growing location on of the peculiar anatomical structure of tree layers of Scots pine (Pinus sylvestris L.). The objects of research were old-growth forest stands on the territory of the Republic of Belarus. In total, 12 temporary sample plots were laid in mossy pine forests (Pinetum pleuroziosum), according to the methods adopted in the field of forest science and dendrometry. The values of such indicators as the number of early and late tracheids, the dimensions of their cavities and wall thickness were determined. The study findings revealed steady tendencies of variability of the dimensional characteristics of tracheids in accordance with geographic latitude. The revealed facts may be of practical importance in the case of comparative studies of the Scots pine wood in order to roughly determine the area of interest.