



ИЗМЕНЧИВОСТЬ ДЛИНЫ ТРАХЕИД СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЛЕСОТИПОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

А.Н. ХОХ¹, П.С. ВОСКАНИЯН², А.А. ПЕТРОСЯН²

¹НПЦ Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь,

²Национальное бюро экспертиз Республики Армения,

lann1hoh@gmail.com; p.voskanyan@nbe.am; p.voskanyan@nbe.am

В статье дан сравнительный анализ длины ранних и поздних трахеид доминирующих одновозрастных деревьев сосны обыкновенной. Установлено, что для трахеид ювенильной древесины характерны значительные различия в длине, причем разница между ними достигала 400 %, в то время как в зоне зрелой древесины длина как ранних, так и поздних трахеид стабилизируется, демонстрируя небольшие колебания (в пределах 30%), что позволяет использовать полученные результаты для оценки лесотипологических вариаций. Показано, что наиболее длинные трахеиды оказались у сосняка кисличного, наиболее короткие – у сфагнового; сосняк вересковый имел промежуточные результаты. Обоснована мысль о существенности различий между значениями длины трахеид в зоне зрелой древесины модельных деревьев 3-х пробных площадей.

Сосна обыкновенная – ранние трахеиды – поздние трахеиды – длина трахеид – тип леса – ювенильная древесина – зрелая древесина

Յողվածում ներկայացված է աճող «սովորական սոճի» տեսակի միևնույն տարիքի ծառերի վաղ և ուշ տրախեիդների երկարությունների համեմատական վերլուծությունը:

Չայտնի է, որ երիտասարդ բնափայտի տրախեիդները բնութագրվում են երկարության զգալի տարբերություններով, ի դեպ, նրանց միջև տարբերությունը հասել է 400 %-ի, մինչդեռ հասուն բնափայտի գոտում և՛ վաղ, և՛ ուշ տրախեիդների երկարությունները կայունանում են՝ ցույց տալով փոքր տատանումներ (30 %-ի սահմաններում), ինչը հնարավորություն է տալիս ստացված արդյունքներն օգտագործելու՝ անտառի տիպաբանական տատանումները գնահատելու համար: Ցույց է տրվել, որ ամենաերկար տրախեիդները հայտնաբերվել են սոճու թթվառնվույտային անտառում, ամենակարճը՝ սֆագնումային անտառում, իսկ սոճու հավամրգային անտառն ունեցել է միջանկյալ արդյունքներ:

Չիմսավորված է տրախեիդների երկարությունների միջև 3 նմուշային փորձադաշտերի մոդելային ծառերի՝ վաղ բնափայտի գոտում զգալի տարբերությունների գաղափարը:

Սոճի սովորական – վաղ տրախեիդներ և ուշ տրախեիդներ – տրախեիդի երկարություն – անտառի տիպ – երիտասարդ բնափայտ – հասուն բնափայտ

The article provides a comparative analysis of the lengths of early and late tracheids of dominant coeval Scots pine trees. It has been established that tracheids of juvenile wood are characterized by significant differences in length and the difference between them reached 400%, while in the zone of mature wood, the length of both early and late tracheids stabilizes, demonstrating small fluctuations (in within 10%). That makes it possible to use the obtained results to assess forest typological variations. It was shown that the longest tracheids were found in sorrel pine forests, and the shortest – in sphagnum; ericetal pine forests showed intermediate results. The idea of significant differences between the lengths of tracheids in the zone of mature wood of model trees of 3 trial plots is substantiated.

Scots pine – early tracheids – late tracheids – tracheid length – forest type – juvenile wood – mature wood

Трахеиды – это очень узкие волокновидные клетки, лишенные перфораций, протяженность которых в 100 раз и даже более превышает их поперечные размеры. Они занимают в общей массе 90-95 % объема древесины хвойных и являются средоточием многих важнейших диагностических признаков, лежащих в основе ботанических характеристик. В пределах одного годичного слоя трахеиды ранней и поздней древесины сильно отличаются друг от друга. Специфика внешних очертаний трахеид и особенности их размещения в комплексе тканей, составляющих ксилему (например, искривление по длине в местах контактов с порами смежных волокон и сердцевинных лучей), делают невозможным использование продольных срезов древесины для определения длины клеток этого типа, что предопределяет необходимость мацерации древесины.

Многочисленными исследованиями установлено, что длина трахеид зависит от целого ряда причин, среди которых:

- 1) положение по радиусу ствола (вариации длины в направлении от сердцевины к коре) [4,8];
- 2) положение по вертикальной оси ствола (изменение длины по высоте дерева – от комля к кроне) [2,5];
- 3) положение непосредственно в самом годичном слое (изменения длины от ранней древесины к поздней) [6,9].

В то же самое время влияние экологических факторов еще недостаточно изучено, несмотря на то, что это имеет практическое значение для понимания процессов адаптации и внутривидовой реакции на воздействие внешней среды. К настоящему времени отечественными и зарубежными учеными обнаружена незначительная положительная корреляция между длиной трахеид и географической широтой места произрастания [13], а также доказан факт уменьшения длины трахеид с увеличением высоты над уровнем моря [10] и степенью антропогенного воздействия [11]. Мы полагаем, что на сегодняшний день представляет практический интерес проанализировать, какие особенности изменения длины трахеид могут быть связаны с лесотипологическими условиями местопроизрастания, что является еще не до конца изученной предметной областью.

Цель работы – изучить изменчивость длины ранних и поздних трахеид в контрастных типах леса.

Материал и методика. В качестве объекта исследования была выбрана сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) как вид-эвритоп с очень широким ареалом, как географическим, так и экологическим.

Отбор образцов для исследования производился в 2022 году в 3-х типах леса (в наиболее типичной части древостоя): в сосняке вересковом (бедные сухие почвы), сосняке кисличном (богатые почвы оптимального увлажнения) и сосняке сфагновом (верховые болота) на территории государственного природоохранного учреждения «Березинский биосферный заповедник». Ранжирование насаждений в осях влажности и богатства почвы азотом выполнено с использованием индикационных шкал Элленберга (по живому напочвенному покрову).

С целью получения статистически обоснованного материала измерений длины трахеид в каждом типе леса с 20-ти модельных деревьев (особое внимание уделялось их сходству между собой по таксационным показателям, возраст деревьев составил от 94 до 98 лет) на уровне, соответствующем 10% высоты ствола от поверхности почвы, отбиралось по 2 буровых керн. Все деревья, отобранные в качестве модельных, проверялись на отсутствие повреждений насекомыми и других пороков, которые могли бы повлиять на результаты исследования.

Краткая характеристика исследованных древостоев сосны обыкновенной на ВПП приведена в табл. 1.

Таблица 1. Некоторые таксационные показатели ($M_x \pm m_x$)

№№	Лесничество	Тип леса	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	ТУМ	Состав древостоя	Класс бонитета
1	Домжеричское	сосняк вересковый	28,0±0,9	20,1±0,7	A2	10С+Б	II
2	Березинское	сосняк кисличный	40,5±1,4	34,0±1,2	C2	10С+Е, Б	I
3	Домжеричское	сосняк сфагновый	13,5±0,6	12,7±0,4	A5	10С	Vб

Примечание: M_x – среднее арифметическое значение; m_x – ошибка среднего; ТУМ – тип условий местопроизрастания.

Мацерацию древесины (по 10 первых годичных колец, разделенных на раннюю и позднюю зоны, считая от коры и от сердцевины) проводили по методу Franklin G. L. [7], что позволило получить материал для измерений с максимальным содержанием неповрежденных трахеид (сохранение всех трахеид невозможно из-за того, что значительная их часть оказывается рассеченной еще при выделении образца). Из полученной суспензии готовились микропрепараты мацерированной древесины для последующих измерений. Длину трахеид (по 50 ранних и поздних с каждого дерева) измеряли способом, описанном в работе Taylor F.W. [14].

Статистическая обработка материалов исследования осуществлялась методами вариационной статистики с использованием статистических пакетов Microsoft Excel v.10.0 и SPSS v.22.0. Применялись методы статистического анализа для сравнения 2-х и нескольких выборок между собой – оценка с помощью t-критерия Стьюдента и однофакторного дисперсионного анализа ANOVA, парный регрессионный анализ.

Результаты и обсуждение. Перед проведением сравнительного анализа проверяли нормальность распределения (W-тест Шапиро-Уилка, графический анализ данных). В результате для всех исследованных параметров $p > 0,05$, т.е. анализируемые распределения расценивались как нормальные. Пример гистограммы распределения значений признака и ожидаемой нормальной кривой представлен на рис. 1.

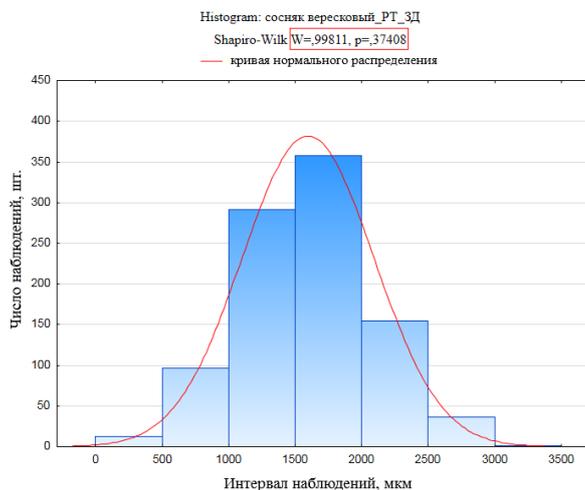


Рисунок 1. Гистограмма распределения ранних трахеид по длине в зрелой древесине сосняка верескового.

Рассчитанные средние значения длины ранних и поздних трахеид в зоне ювенильной и зрелой древесины отдельно для каждой из 3-х исследованных ВПП представлены в табл. 2.

Таблица 2. Сравнение длин ранних и поздних трахеид в годичных слоях ювенильной и зрелой древесины в зависимости от условий произрастания

Исследуемый параметр, мкм	ВПП	M _x	Min	Max	SD	ANOVA		Статистика Ливиния	p-value
						Знач. F	p-value		
ШРД ЮД	1	1147,96	810,49	1432,55	162,78	217,55	<0,00	8,17	0,001
	2	2102,48	1636,23	2655,42	288,89				
	3	819,89	630,86	1136,49	111,76				
ШПД ЮД	1	352,00	250,80	520,77	60,48	32,48	<0,00	4,61	0,014
	2	420,15	315,82	557,08	65,03				
	3	285,55	251,13	353,82	21,90				
ШРД ЗД	1	1134,15	985,51	1228,71	54,51	771,23	<0,00	4,45	0,016
	2	1142,38	973,71	1275,72	74,44				
	3	540,48	490,30	602,05	27,49				
ШПД ЗД	1	413,17	396,65	435,70	10,75	1462,68	<0,00	4,25	0,019
	2	474,78	446,27	494,91	13,95				
	3	290,30	275,45	298,93	7,18				

Примечание к таблице: жирным шрифтом выделены достоверные различия; ШРД ЮД – ширина ранней древесины в годичном слое в зоне ювенильной древесины; ШПД ЮД – ширина поздней древесины в годичном слое в зоне ювенильной древесины; ШРД ЗД – ширина ранней древесины в годичном слое в зоне зрелой древесины; ШПД ЗД – ширина поздней древесины в годичном слое в зоне зрелой древесины; M_x – среднее арифметическое значение; Min – минимальное значение; Max – максимальное значение; SD – среднеквадратичное отклонение.

Полученные результаты согласуются с ранее проведенным исследованием по изучению влияния условий произрастания на радиальный прирост сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) [1].

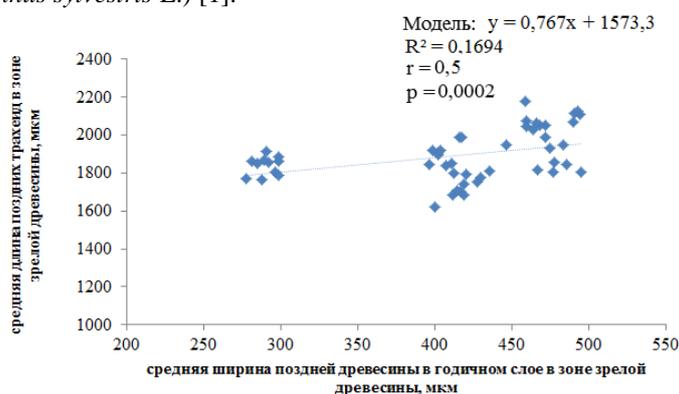


Рис. 2. Зависимость ширины поздней древесины в годичном слое в зоне зрелой древесины от длины трахеид

Для установления наличия возможных зависимостей между шириной ранней/поздней древесины и длиной трахеид был проведен парный регрессионный анализ, по результатам которого достоверные взаимосвязи выявлены только между шириной поздней древесины в годичном слое в зоне зрелой древесины и длиной поздних трахеид. Параметры уравнения линейной регрессии, аппроксимируемые линейными уравнениями вида $y = a + bx$, описывающие закономерность между исследуемыми параметрами, приведены на рис. 2.

Как можно видеть из рис. 2 в рассматриваемом случае существует прямая, средняя корреляционная связь ($r = 0.5$; $p = 0.0002$).

Таким образом, по результатам проведенных исследований установлена существенность различий ($p < 0.001$) между значениями длины ранних и поздних трахеид в зоне зрелой древесины модельных деревьев 3-х пробных площадей, заложенных в контрастных типах леса, что позволяет использовать данные параметры в комплексе с другими измеряемыми структурными элементами трахеид для установления условий произрастания сосны обыкновенной на территории Беларуси. При этом можно предположить, что причиной их стабильности в пределах одной пробной площади является генетическая близость особей, произрастающих единой группой. С другой стороны, близость индивидуальной генетической организации особей по данному признаку внутри популяции может объясняться относительной стабильностью факторов внешней среды. В дальнейшем представляет практический интерес проанализировать, какие особенности изменения длины трахеид могут быть связаны с различиями в географическом положении при включении в исследование ценотически очень близких (принадлежащих к одной группе типов леса) древостоев из разных регионов Беларуси, что позволит оценить роль экологического фактора с двух позиций. Кроме того, хотелось бы отметить, что полученные результаты могут быть использованы при проведении судебных ботанических экспертиз, поскольку в настоящее время главным для повышения эффективности судебно-экспертных исследований представляется не выявление все большего количества таксономических признаков, а именно установление особенностей, выступающих в качестве идентифицирующих.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хох А.Н. Исследование влияния условий произрастания на изменчивость радиального прироста сосны обыкновенной. А.Н. Хох, Д.Е. Кузминков. Экологический вестник, 36, 2, с.15-21, 2016.
2. Brändström J. Micro- and ultrastructural aspects of Norway spruce tracheids: a review, J. Brändström. IAWA journal, 22, 4, p. 333-353, 2001.
3. Bisset I.J.W. The variation in cell length within one growth ring of certain angiosperms and gymnosperms. I.J.W. Bisset, H. E. Dadswell. Australian Forestry, 14, 1, p. 17-29, 1950.
4. Drew D.M. A model of stem growth and wood formation in *Pinus radiata* / D. M. Drew, G. Downes. Trees, 29, 5, p. 1395-1413, 2015.
5. Dahlen J. Models for predicting the within-tree and regional variation of tracheid length and width for plantation loblolly pine. Dahlen J. [et al.] Forestry: An International Journal of Forest Research, 94, 1, p. 127-140, 2021.
6. Fabisiak E. Radial variation in tracheid lengths in dominant trees of selected coniferous species. E. Fabisiak, B. Fabisiak, A. Krauss. Bioresources, 15, 4, p. 7330-7341. 2020.
7. Franklin G.L. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. G.L. Franklin. Nature, 155, 3924, p. 51, 1945.
8. Gogoi B.R. Tracheid length variation in *Pinus kesiya* Royle Ex Gord. as affected by age, distance from pith, growth rate and ring width. B.R. Gogoi, M. Sharma, C.L. Sharma. Journal of Tree Sciences, 37, 2, p. 55-61, 2019.
9. Kalinina E.V. Seasonal formation of tree rings in Siberian larch and Scots pine in the southern taiga of Central Siberia /E. V. Kalinina [et al.] Russian Journal of Ecology, 50, 3, p. 227-233, 2019.
10. Lindström H. Fiber length, tracheid diameter, and latewood percentage in Norway spruce: development from pith outward. H. Lindström. Wood and Fiber Science, 29, 1, p. 21-34, 1997.
11. Mitu K.J. Effects of different environmental pollutants on the anatomical features of roadside plants. Mitu K.J. [et al.] Progressive Agriculture, 30, 4, p. 344-351, 2019.

12. *Miller J.* Statistics and chemometrics for analytical chemistry. J. Miller J.C. Miller– USA: Pearson Education. 297 p., 2018.
13. *Nylinder P.* The influence of stand and tree properties on yield and quality of sulphite pulp of Swedish spruce (*Picea excelsa*). P. Nylinder, E. Hägglund. Forest Research Institute Sweden, 11, p. 31-67, 1954.
14. *Taylor F.W.* Fiber length measurement-an accurate inexpensive technique. F.W. Taylor. Tappi, 58, 12, p. 126-127, 1975.

Поступила 28.06.2022