

УДК 630\*81

## ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КСИЛЕМЫ ПИХТЫ БЕЛОЙ НА ОБЪЁМНУЮ МАССУ ДРЕВЕСИНЫ

Иван СОПУШИНСКИЙ, Ярослав КОПОЛОВЕЦ,  
Игор ТЫМОЧКО, Руслан МАКСЫМЧУК

Национальный лесотехнический университет Украины

**Abstract.** The article presents the research results of the influence of structural changes of the xylem of silver fir on wood density which has been reflected in the grouping of the number of annual rings in 1 cm and in the differences in the volumetric swelling of wood. For the study, wood samples in the fir stands of Transcarpathia (Ukraine) at the altitude of 800 m asl were selected. Silver fir wood was classified into four groups according to the number of annual rings in 1 cm and to wood density. The first group is represented by juvenile wood with the number of annual rings less than 2 pcs. $\cdot$ cm<sup>-1</sup>. The highest density of wood with a moisture content of 10% was typical for the wood group with annual rings more than 13 pcs. $\cdot$ cm<sup>-1</sup>, where wood density varied from 500 to 582 kg $\cdot$ m<sup>-3</sup> with a mean value of 533 kg $\cdot$ m<sup>-3</sup>. Mean values of wood swelling indicate a significant difference between juvenile wood and mature wood with the number of annual rings of more than 13 pcs. $\cdot$ cm<sup>-1</sup>. There was also a difference for the radial swelling of wood in the lower and upper ranges of the 95% confidence interval for the mean value. The relationship between volumetric swelling and wood density was described by an equation with the power function.

**Key words:** *Abies alba*; Annual rings; Swelling anisotropy; Specific gravity; Wood biology; Ukrainian Carpathian.

**Реферат.** В статье приведены результаты исследований влияния структурных изменений ксилемы пихты белой на объёмную массу древесины, что нашло своё отображение в группировании числа годичных колец в 1 см и различии объёмного разбухания древесины. Для исследования отобраны образцы древесины в пихтовом насаждении Закарпатья (Украина) на абсолютной высоте 800 м н.у.м. Древесину пихты белой классифицировали на четыре группы по числу годичных колец в 1 см и объёмной массе. Первая группа представлена ювенильной древесиной с числом годичных колец меньше 2 шт. $\cdot$ см<sup>-1</sup>. Наибольшая плотность древесины при влажности 10% характерна для древесины с числом годичных колец более 13 шт. $\cdot$ см<sup>-1</sup>, где плотность древесины варьирует от 500 до 582 кг $\cdot$ м<sup>-3</sup> со средним значением 533 кг $\cdot$ м<sup>-3</sup>. Средние значения разбухания древесины свидетельствуют о существенной разнице между ювенильной древесиной и древесиной с числом годичных колец более 13 шт. $\cdot$ см<sup>-1</sup>. Обнаружено также различие для радиального разбухания древесины в нижней и верхней границы 95% доверительного интервала для среднего значения. Установлена зависимость между объёмным разбуханием и объёмной массой древесины, которая описывается уравнением со степенной функцией.

**Ключевые слова:** *Abies alba*; Годичный слой; Анизотропия разбухания; Объёмная масса; Биологическое древесиноведение; Украинские Карпаты.

### ВВЕДЕНИЕ

В историческом и экономическом ракурсе пихта белая (*Abies alba* Mill.) является одной из самых ценных древесных пород в Европе. Максимальной производительности, превосходя другие породы в Украинских Карпатах, она достигает на абсолютных высотах от 500 до 900 м н.у.м. (Швыденко, А.Й. 1980). Оценка качества запасов древесины характеризуется акцентом на учет технических свойств древесины, и прежде всего её плотности. Следует признать, что структурные изменения ксилемы и соответственно свойства древесины, что отображают качественную продуктивность лесов и в этой связи технические показатели древесины на корню не вполне ясны для специалистов лесного хозяйства (Полубояринов, О.И. 1976). Особенности термина “качество ствольной древесины” включают определение размерно-параметрических характеристик лесоматериала в поперечном сечении, а именно абсолютных значений ювенильной и заболонной древесины, в пределах которых физические свойства древесины существенно отличаются (Sopushynskyy, I. et al. 2017).

К основным физическим характеристикам, при селекционном отборе высококачественной древесины хвойных пород, целесообразно относят число годичных слоев в 1 см и объёмную массу древесины (Полубояринов, О.И. 1976; Larjavaara, M., Muller-Landau, H.C. 2010). Варибельность вышеупомянутых показателей обусловлена генотипическими и экологическими факторами не только между популяциями одного вида, но и отдельных деревьев. Изменения свойств в отдельно взятом дереве является результатом сложной системы взаимосвязанных факторов, которые изменяют физиологические процессы, связанные с образованием ксилемы (González-Rodrigo, B. et al. 2013; Сопушинский, I.M. 2014).

Главным лесоводческим вопросом является понимание процесса биологической стойкости древесины пихты белой и эффективного использования высококачественной древесины, индикатором которой служит её объёмная масса. Целью нашего исследования было изучить влияния структурных изменений ксилемы *Abies alba* Mill. на объёмную массу древесины в лесорастительных условиях юго-западного мегасклона Украинских Карпат.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для научного обследования взят пихтовый древостой Закарпатья (Украина), который произрастал в одинаковых лесорастительных условиях на высоте 800 м н.у.м., что исключило возможности существенных различий процента поздней древесины в годичном кольце. В составе насаждения 80-120 летняя пихта белая занимала 50 %. Для определения физических свойств древесины нами отобрано 12 деревьев. Отличия объёмной массы изучали с использованием общепринятых в биологическом лесоводстве методик, разработанных с учетом особенностей изменения показателей макроструктуры древесины. Исследование объёмной массы провели на образцах стандартных размеров (рис. 1).

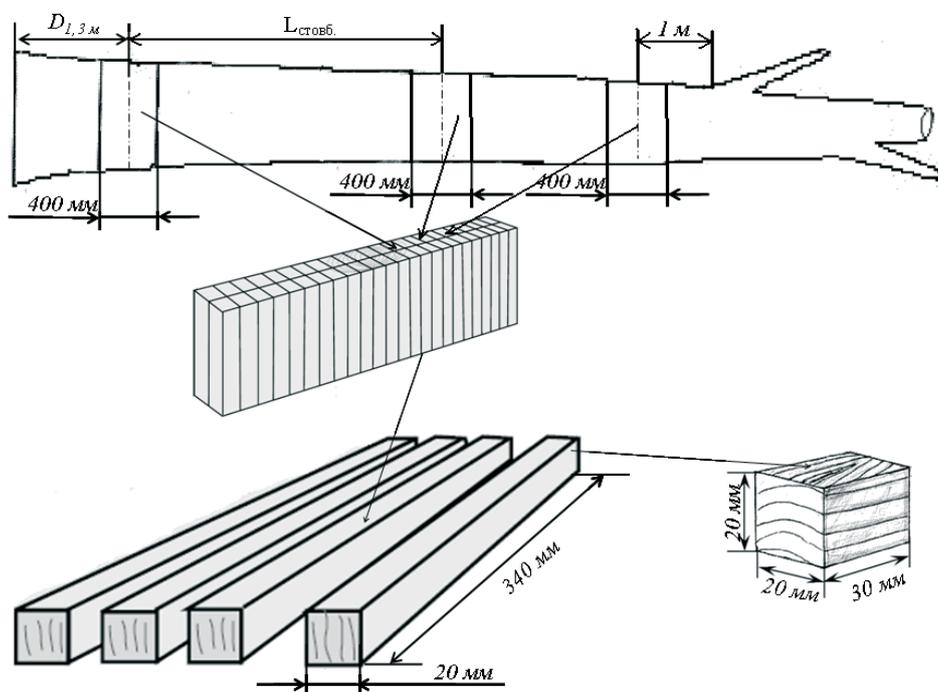


Рисунок 1. Схема отбора образцов древесины из модельного дерева

Для исследования объёмной массы древесины в модельных деревьях вырезали три кряжи длиной 340 мм: на высоте 1,3 м ствола,  $2/3$  м длины ствола ( $L_{ств.}$ ) и на расстоянии 1 м от начала кроны. Изготовление опытных образцов древесины из трех кряжей позволило установить характер изменения свойств древесины в пределах ствола, а отбор образцов по радиусу ствола в пределах диаметра. Общее количество образцов для каждого вида исследования составило 240 шт. Определение объёмной массы образцов производили согласно международным требованиям к таким исследованиям (Normen für Holz, 2009; Сопушинський, І.М., Вінтонів, І.С. 2014). Статистическая обработка результатов исследования осуществлена с использованием программ Excel 2013 и SPSS 17.0.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Возрастающее значение древесины на мировом уровне обуславливает изыскание путей рационального использования древесного сырья с учетом объективной необходимости выращивания древесины целевого назначения (Полубояринов, О.И. 1976). Главный вопрос связан с биологическими процессами образования ксилемы, которая оценивается через показатели макроструктуры

и объёмной массы древесины. Они отображают влияние комплекса биологических факторов на рост древесных растений и качество их древесины (Сопушинский, I.M. 2014). Важным этапом исследования в биологическом древесиноведении является нахождение критериев и факторов влияния, а также их группирование. Результаты множественного сравнения объёмной массы пихты белой относительно числа годичных колец в 1 см внесены в табл. 1.

**Таблица 1.** Множественные сравнения объёмной массы древесины по критерию Шеффе

Зависимая переменная	(I) группа	(J) группа	Разность средних	Стандартная ошибка	Значимость	95% доверительный интервал	
						Нижняя граница	Верхняя граница
Плотность древесины при влажности 10%	I	II	-82,750*	6,801	0,000	-102,19	-63,31
		III	-162,300*	6,801	0,000	-181,74	-142,86
		IV	-227,900*	6,801	0,000	-247,34	-208,46
	II	I	82,750*	6,801	0,000	63,31	102,19
		III	-79,550*	6,801	0,000	-98,99	-60,11
		IV	-145,150*	6,801	0,000	-164,59	-125,71
	III	I	162,300*	6,801	0,000	142,86	181,74
		II	79,550*	6,801	0,000	60,11	98,99
		IV	-65,600*	6,801	0,000	-85,04	-46,16
	IV	I	227,900*	6,801	0,000	208,46	247,34
		II	145,150*	6,801	0,000	125,71	164,59
		III	65,600*	6,801	0,000	46,16	85,04
Плотность древесины в абсолютно сухом состоянии	I	II	-79,450*	6,746	0,000	-98,74	-60,16
		III	-155,600*	6,746	0,000	-174,89	-136,31
		IV	-214,400*	6,746	0,000	-233,69	-195,11
	II	I	79,450*	6,746	0,000	60,16	98,74
		III	-76,150*	6,746	0,000	-95,44	-56,86
		IV	-134,950*	6,746	0,000	-154,24	-115,66
	III	I	155,600*	6,746	0,000	136,31	174,89
		II	76,150*	6,746	0,000	56,86	95,44
		IV	-58,800*	6,746	0,000	-78,09	-39,51
	IV	I	214,400*	6,746	0,000	195,11	233,69
		II	134,950*	6,746	0,000	115,66	154,24
		III	58,800*	6,746	0,000	39,51	78,09

Группы образцов древесины (I) и (J) по числу годичных колец (г.к.) в 1 см: I –  $\leq 2$  г.к.; II – 3-7 г.к.; III – 8-12 г.к.; IV –  $\geq 13$  г.к.; \*Разность средних значима на уровне 0.05

Результаты исследования свидетельствуют о разделении образцов древесины на группы по её объёмной массе в абсолютно сухом состоянии и при влажности 10%, что заслуживает внимания для селекционного отбора высококачественной древесины пихты белой в лесонасаждениях Украинских Карпат. В практике ведения лесного хозяйства важными являются показатели средних значений, а также значимые группы образцов древесины по числу годичных колец в 1 см и объёмной массой (табл. 2).

К первой группе образцов древесины пихты относится ювенильная древесина, объёмная масса которой характеризуется наименьшей амплитудой значений, а среднее значение равно  $292 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$  при абсолютной влажности 0%. Важно напомнить о пропорциональном увеличении разных видов плотности древесины пихты белой с возрастанием количества числа годичных колец в 1 см.

Немаловажным является тот факт, что наибольший диапазон изменения объёмной плотности присущ группе образцов с числом годичных колец больше  $13 \text{ шт}\cdot\text{см}^{-1}$ . В древесине при влажности 10 % плотность изменяется от 500 до  $582 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$  со средним значением  $533 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$ . В большинстве случаев наибольшие среднее значение объёмной массы древесины было характерно для деревьев с возрастом 100-120 лет, образцы для которых были изготовлены с периферийной зоны ствола. Значительных отличий между средними значениями II-ой и III-ой групп по плотности древесины в состоянии полного насыщения влагой не обнаружено.

Таблица 2. Статистические показатели объёмной массы древесины

Плотность древесины, кг·м <sup>-3</sup>	Число годовичных колец в 1 см, шт.	Среднее	Стандартная ошибка	95% доверительный интервал для среднего		Минимум	Максимум
				Нижняя граница	Верхняя граница		
$\rho_{0\%}$	≤2 г.к.	292	3,698	284	299	272	327
	3-7 г.к.	372	6,255	358	384	333	423
	8-12 г.к.	448	3,592	440	455	417	474
	≥13 г.к.	507	5,032	496	517	468	554
$\rho_{10\%}$	≤2 г.к.	305	3,982	296	313	285	344
	3-7 г.к.	388	5,861	375	400	349	436
	8-12 г.к.	467	4,120	458	475	441	499
	≥13 г.к.	533	5,032	522	543	500	582
$\rho_{100\%}$	≤2 г.к.	661	12,796	633	687	550	758
	3-7 г.к.	806	19,324	765	846	646	957
	8-12 г.к.	814	15,462	781	846	691	955
	≥13 г.к.	883	13,865	854	912	804	981

$\rho_{0\%}$  - плотность древесины в абсолютно сухом состоянии;  $\rho_{10\%}$  - плотность древесины при влажности 10%;  $\rho_{100\%}$  - плотность древесины при влажности 100%

Особенности структурных изменений можно отследить через определения показателей анизотропии разбухания древесины в радиальном и тангенциальном срезе, а также их соотношениях (табл. 3).

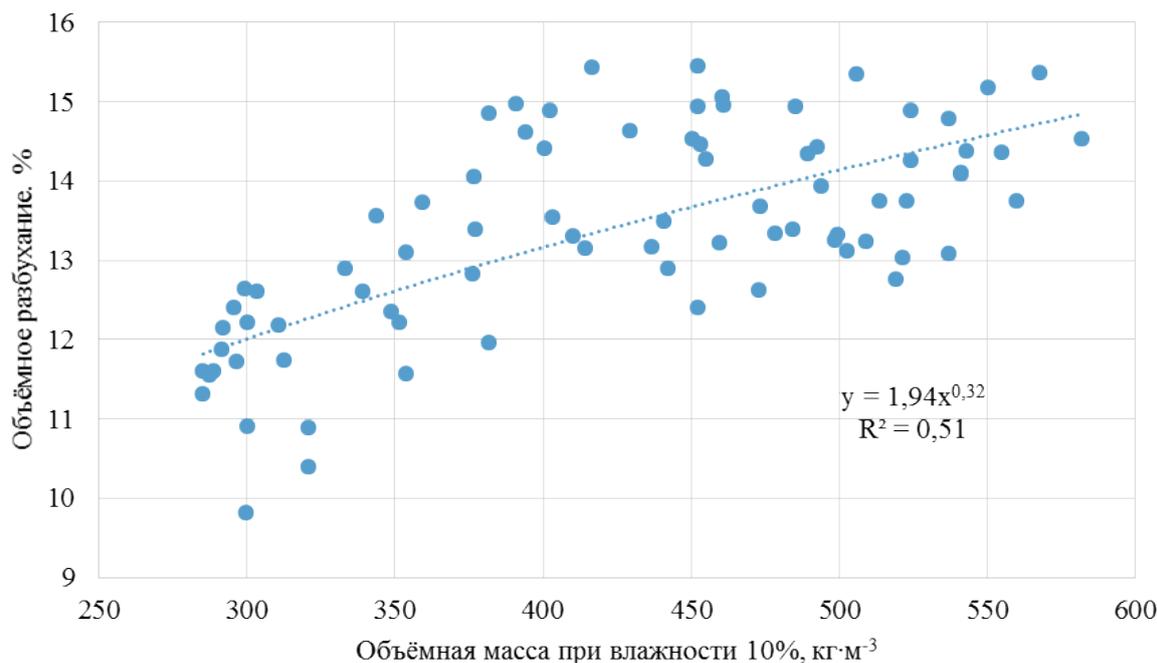
Полученные данные разбухания древесины пихты белой указывают на значительную разницу между средними значениями образцов с ювенильной древесиной и числом годовичных колец более 13 шт·см<sup>-1</sup>. Древесина пихты белой в группе III (8-12 г.к.) и IV (≥13 г.к.) характеризуется почти одинаковыми значениями объёмного разбухания при 95 % доверительного интервала для средних значений. Различия нижней и верхней границы присущи для радиального разбухания. Наименьшее значение тангенциального разбухания свойственно ювенильной древесине со средним значением 7,6 % и в радиальном направлении – 3,5 %. Разница минимального и максимального значений объёмного разбухания составляет 2,2 %, что свидетельствует о существенном влиянии числа годовичных колец в 1 см на показатели разбухания древесины.

Таблица 3. Статистические показатели анизотропии разбухания древесины

Разбухание, %	Число годовичных колец в 1 см, шт.	Среднее	Стандартная ошибка	95% доверительный интервал для среднего		Минимум	Максимум
				Нижняя граница	Верхняя граница		
$\alpha_{\text{танг.}}$	≤2 г.к.	7,6	0,229	7,1	8,1	5,9	9,0
	3-7 г.к.	8,8	0,191	8,5	9,3	7,3	9,9
	8-12 г.к.	9,1	0,113	8,9	9,4	8,0	9,7
	≥13 г.к.	9,1	0,111	8,9	9,4	8,2	9,8
$\alpha_{\text{рад.}}$	≤2 г.к.	3,5	0,133	3,2	3,6	2,6	4,5
	3-7 г.к.	3,7	0,137	3,6	4,2	2,4	4,9
	8-12 г.к.	3,9	0,099	3,7	4,1	2,9	4,9
	≥13 г.к.	4,0	0,126	3,8	4,3	3,2	5,0
$\alpha_{\text{об.}}$	≤2 г.к.	11,8	0,199	11,4	12,2	9,8	13,6
	3-7 г.к.	13,6	0,246	13,1	14,1	11,6	15,4
	8-12 г.к.	13,9	0,196	13,6	14,4	12,4	15,4
	≥13 г.к.	14,0	0,181	13,7	14,4	12,8	15,4

$\alpha_{\text{танг.}}$  – тангенциальное разбухание;  $\alpha_{\text{рад.}}$  – радиальное разбухание;  $\alpha_{\text{об.}}$  – объёмное разбухание.

Важно отметить небольшое расхождение коэффициента анизотропии, то есть отношения показателей тангенциального и радиального разбухания, которое для средних значений варьирует от 2,2 до 2,4. Исходя из вышеизложенных результатов, существенного внимания заслуживает определение зависимости между исследуемыми показателями (рис. 2).



**Рисунок 2.** Зависимость между объёмной массой древесины и объёмным разбуханием

Уравнение зависимости между объёмным разбуханием и объёмной массой древесины пихты описывается степенной функцией ( $y = 1,94x^{0,32}$ ,  $R^2=0,51$ ), что свидетельствует о влиянии структурных изменений на свойства древесины, которые необходимо учитывать при выращивании древесины целевого назначения. Аналогичная тенденция зависимости характерна для плотности древесины в абсолютно сухом состоянии в группах образцов древесины по числу годичных колец в 1 см, что является древесиноведческим инструментарием при отборе высококачественной древесины пихты белой.

## ВЫВОДЫ

Благодаря полученным результатам исследования древесины пихты белой в лесорастительных условиях Закарпатья (Украина) нами установлено, что число годичных колец в 1 см и объёмная масса древесины интегрируют качественные свойства древесины пихты белой.

На основе обработанных данных систематизировано четыре группы по физическим показателям древесины. Древесина пихты белой классифицирована по числу годичных колец в 1 см на группы: I –  $\leq 2$  г.к.; II – 3-7 г.к.; III – 8-12 г.к. и IV –  $\geq 13$  г.к. Наибольший диапазон изменения объёмной плотности древесины характерен для группы образцов древесины с числом годичных колец более 13 шт·см<sup>-1</sup>. Плотность древесины при влажности 10% изменяется от 500 до 582 кг·м<sup>-3</sup> со средним значением 533 кг·м<sup>-3</sup>, что существенно отличается от справочных данных.

Показатели разбухания древесины пихты белой свидетельствуют о значительной разнице между средними значениями образцов с ювенильной древесиной и числом годичных колец более 13 шт·см<sup>-1</sup>. Для образцов древесины III (8-12 г.к.) и IV ( $\geq 13$  г.к.) группы присущи почти одинаковые средние значения объёмного разбухания. Различия характерны только для нижней и верхней границы радиального разбухания древесины. Зависимости между объёмным разбуханием и объёмной массой древесины описываются уравнением со степенной функцией.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ПОЛУБОЯРИНОВ, О.И. (1976). Квалиметрия древесного сырья в процессе лесовыращивания: автореф. дис. ... д-ра. с.-х. наук. Ленинград: ЛТА. 46 с.
2. РАВЛЮК, І.П. (2009). Відтворення ялиці білої на генетико-селекційній основі у лісах карпатського регіону. У: Наук. вісн. НЛТУ України, вип. 19.1, с. 19-26. ISSN 1994-7836.
3. СОПУШИНСЬКИЙ, І.М. (2014). Внутрішньовидова диференціація клена-явора (*Acer pseudoplatanus* L.), бука лісового (*Fagus sylvatica* L.) і ясена звичайного (*Fraxinus excelsior* L.) за декоративністю

- деревини [рукопис] : дис. ... д-ра с.-г. наук: 06.03.03. Львів. 402 с.
4. СОПУШИНСЬКИЙ, І.М., ВІНТОНІВ, І.С. (2014). Деревинознавство: практикум. Львів: Ліга-Прес. 144 с. ISBN 978-966-397-237-0.
  5. ШВЫДЕНКО, А.Й. (1980). Пихтовые леса Украины. Львов: Вища школа. 192 с.
  6. GONZÁLEZ-RODRIGO, B., ESTEBAN, L.G., DE PALACIOS, P., GARCÍA-FERNÁNDEZ, F., GUINDEO, A. (2013). Variation throughout the tree stem in the physical-mechanical properties of the wood of *Abies alba* Mill. from the Spanish Pyrenees. In: *Madera y Bosques*, vol. 19(2), pp. 87-107. ISSN 1405-0471.
  7. LARJAVAARA, M., MULLER-LANDAU, H.C. (2010). Rethinking the value of high wood density. In: *Functional Ecology*, vol. 24, pp. 701-705. ISSN1365-2435.
  8. DIN-Taschenbuch 31: Normen über Holz. Berlin: Beuth, 2009. 602 p. ISBN-13: 978-3-410-23874-4.
  9. SOPUSHYNSKYI, I., KHARYTON, I., TEISCHINGER, A., MAYEVSKYY, V., HRYNYK, H. (2016). Wood density and annual growth variability of *Picea abies* (L.) Karst. growing in the Ukrainian Carpathians. In: *European Journal of Wood and Wood Products*, vol. 75(3), pp 419-428. ISSN 0018-3768.

Data prezentării articolului: 01.04.2019

Data acceptării articolului: 18.04.2019