

**Е.В. Акинина, С.Г. Елисеев, В.Н. Ермолин**

## **ВЛИЯНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ АНАТОМИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ БЕРЕЗЫ НА ЕЕ ПРОНИЦАЕМОСТЬ ДЛЯ ЖИДКОСТЕЙ**

*Введение.* Береза является одной из наиболее распространенных листовых пород на территории РФ. Березовые леса занимают площадь около 118 млн га с общим запасом 6 млрд м<sup>3</sup> [Мяголиственные..., 2023; Абсаламов и др., 2020]. На территории России береза представлена 70 видами, но промышленное значение из них имеют только два наиболее распространенных вида – береза повислая (*Betula pendula* Roth.) и береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.) [Бенькова и др., 2004; Platonov et al., 2022].

Древесина березы обладает сравнительно высокими физико-механическими свойствами на уровне или выше древесины, широко используемых хвойных пород. В настоящее время березовая древесина в основном используется в фанерном и мебельном производстве. При этом имеет ряд недостатков, которые ограничивают ее использование по таким направлениям как строительство и производство отделочных материалов. В частности древесина березы склонна к короблению при переменном-влажностных условиях, имеет низкую биостойкость, бледную окраску и невыразительную текстуру.

Отрицательные свойства березовой древесины могут быть нивелированы путем направленной модификации древесины за счет сквозной пропитки различными активными составами. В отдельных случаях при модификации древесины требуется, чтобы проникновение пропиточного состава было неравномерным (например, для проявления текстуры древесины), но чаще всего необходимо равномерное пропитывание обеспечивающее формирование материала с однородными свойствами. По имеющимся данным [Елисеев и др., 2014], при сквозном пропитывании березовой древесины наблюдается неравномерная локализация пропиточного состава по ширине годичного слоя, связанная, по-видимому, с особенностями анатомического строения древесины.

Береза является заболонной, рассеянно-сосудистой породой. По данным В.Е. Вихрова, составляющие ее анатомические элементы равномерно распределены по ширине годичного слоя [Вихров, 1959]. Большая часть, около 63,6%, представляют волокнистые элементы; 23,7% – сосуды, оставшиеся 12,7%, приходятся на паренхимные клетки, сконцентрированные преимущественно в сердцевинных лучах [Ветчинникова и др., 2020].

При пропитке древесины в объемной фазе пропитывающий состав проходит по проводящим элементам. Основными водопроводящими элементами березы являются сосуды, которые практически не видны невооруженным глазом. Их функция в древесине заключается в транспортировке воды и питательных веществ от корней к кроне [Biziks et al., 2013; Sellin et al., 2008]. Древесина березы не имеет крупных сосудов, а мелкие равномерно распределены по годичному слою по одному или в радиальных группах по два-три сосуда, и в среднем имеют поперечный размер, по данным [Неделина и др., 2012],  $71,2 \pm 1,78$  мкм. В продольном направлении сосуды представляют собой длинные трубки длиной от 2...10 см до нескольких метров, состоящих из отдельных члеников с лестничной перфорацией поперечной стенки с перекладинами.

Помимо сосудов в проведении воды участвуют и волокнистые трахеиды, составляющие основной объем березовой древесины [Cirelli et al., 2008]. Также в древесине березы содержится волокно либриформа, но его доля незначительна [Яценко-Хмелевский, 1954].

Исследованиям особенностей анатомического строения древесины березы посвящено большое количество работ. Изучены особенности анатомического строения древесины березы в зависимости от зоны произрастания и вида почвы [Амосова и др., 2009], связь гистологического состава с шириной годичного слоя [Косиченко и др., 2012], исследован химический состав древесины и его связь с анатомией древесины [Luostarinen et al., 2019], изучена анатомия древесины западноевропейской березы для идентификации древесины [Hellberg et al., 2003], исследованы различия анатомического строения видов *Betula pendula* Roth. и *Betula pubescens* Ehrh. [Bhat et al., 1980]. Помимо изучения анатомического строения, проводились исследования перемещения потока жидкости по системе сосудов древесины березы [Petty, 1978], а также процесс пропитки древесины березы отработанным растительным маслом, для улучшения ее декоративных свойств [Дмитренков и др., 2020]. Однако перечисленные работы не объясняют неравномерность пропитки березовой древесины по ширине годичного слоя.

Для выявления причин неравномерной локализации пропиточного раствора, было принято решение исследовать особенности анатомического строения древесины березы по ширине годичного слоя.

*Материалы и методика исследования.* Для указанных выше целей из чураков свежесрубленной древесины березы были выпилены образцы размерами  $20 \times 20 \times 100$  мм (последний вдоль волокон). Полученные образцы были высушены до влажности 30%. Затем, для выявления зон годичного слоя, имеющих различную пропитываемость, высушенные образцы пропитывались кислотным красителем «Совелан коричневый М» в автоклаве при

давлении 0,2 МПа в течение одного часа. После пропитки образцы выдерживались в течение 24 часов при нормальных условиях для перераспределения красителя, после этого из центральной части окрашенных образцов выпиливались участки древесины размерами 20×20×20 мм по схеме (рис. 1).

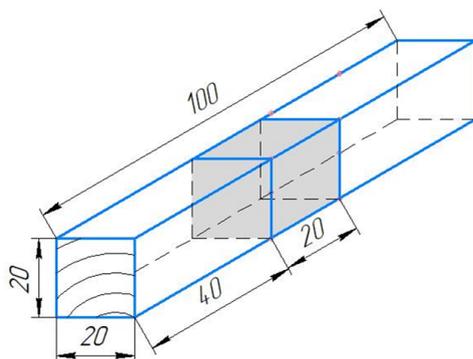


Рис. 1. Схема выпиливания образцов из пропитанной древесины березы

Fig. 1. Scheme of sawing samples from impregnated birch wood

Из полученных образцов, имеющих неоднородное окрашивание, по ширине годичного слоя по стандартной методике [Паушева, 1974; Прозина, 1960; Фурст, 1979] изготавливались поперечные микросрезы древесины, на которых при помощи микроскопа Микмед-5 и цифровой камеры DCM-310 производилось изучение особенностей распределения красителя в древесине.

Также в целях изучения влияния анатомических особенностей строения элементов древесины березы, локализованных в разных частях по ширине годичного слоя осуществлялась мацерация древесной ткани.

Для этого из древесины березы выкалывались пластины размерами 1,5×20×20 мм (направление тангенциальное×радиальное×вдоль волокон). Из которых при помощи лезвия вырезались образцы древесины размерами 1,5×1×20 мм (последний вдоль волокон) из неокрашенной и окрашенной зон годичного слоя. Затем производилась мацерация полученных образцов древесины. Для этого образцы помещали в пробирки, заливали смесью Шульце и кипятили пробирку на слабом огне в течение трех минут до разделения древесины на составляющие элементы. После кипячения раствор оставляли на один час, для того чтобы мацерированный материал осел на дно. Затем раствор сливали, а пробирку заполняли водой и

повторяли замену воды несколько раз [Москалева, 1957]. Изучение микростроения полученных древесных волокон из различных частей годичного слоя проводилось в проходящем свете с помощью микроскопа Микмед-5 и цифровой камеры DCM-310.

Для просмотра и обработки полученных фотографий микростроения анатомических элементов была использована программа ScopyFoto. Программа позволяла измерять линейные размеры изучаемых микрообъектов. В ходе микроскопических исследований были выполнены измерения таких параметров анатомических элементов как длина, диаметр полостей, толщина клеточных стенок, а также количество и размеры пор (рис. 2).

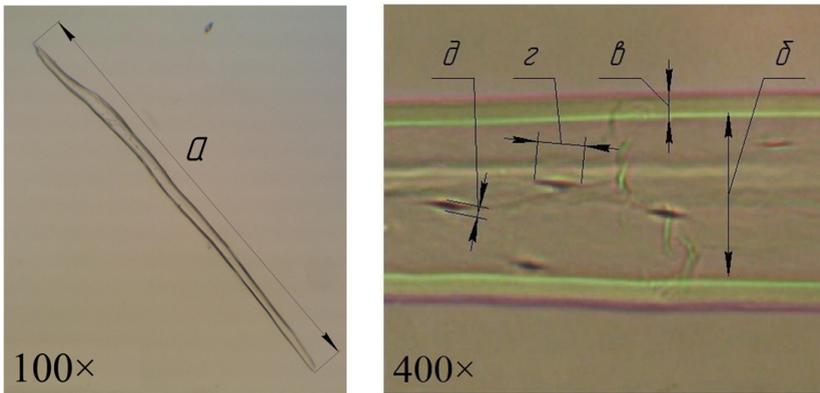


Рис. 2. Параметры измерения анатомического элемента:  $a$  – длина;  $b$  – диаметр полости;  $c$  – толщина клеточной стенки;  $d$  – высота поры;  $e$  – ширина поры

Fig. 2. Anatomical element measurement parameters:  $a$  – length;  $b$  – cavity diameter;  $c$  – cell wall thickness;  $d$  – pore height;  $e$  – pore width

Обработка полученных данных производилась с помощью инструментов Microsoft Excel и программы Statgraphics. Статистика полученных данных включала среднее значение, среднее квадратичное отклонение, доверительный интервал, точность опыта, коэффициент вариации и достоверность различий по критерию Стьюдента.

*Результаты исследования.* Изучение поперечных разрезов образцов пропитанных красителем выявило следующие особенности распределения пропиточного раствора в образцах древесины (рис. 3). В образцах наблюдалось сквозное проникновение пропиточного раствора по всему сечению материала. При этом было отмечено, что 5/6 ширины годичного слоя, расположенной ближе к центральной части ствола, имело бледную равномер-

ную окраску. В то время как оставшаяся 1/6 ширины годичного слоя, расположенная ближе к внешней части ствола, имела более тёмную насыщенную окраску. По внешнему виду окрашенная древесина напоминала хвойную древесину с четко выраженным делением годичного слоя за счет различной окраски древесины. Поэтому, для удобства дифференциации участков годичного слоя было принято решение условно обозначить основную, неокрашенную часть годичного слоя как «ранняя зона», а окрашенную внешнюю часть годичного слоя как «позднюю».

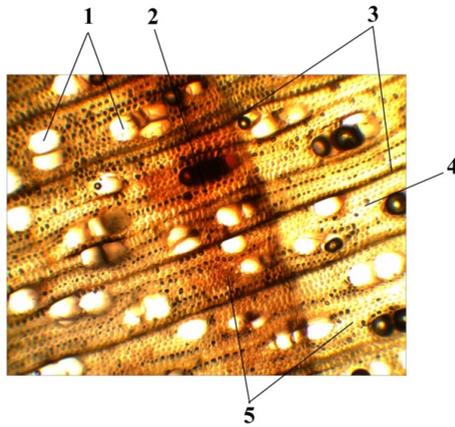


*Рис. 3. Поперечный срез образца окрашенной древесины березы*

*Fig. 3. Cross-section of a sample of painted birch wood*

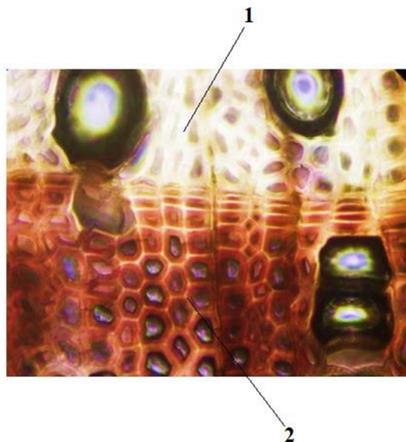
Из частей годичного слоя имеющих разную интенсивность окраски, по стандартной методике были изготовлены поперечные микросрезы древесины (рис. 4), которые позволили выявить следующее. В рамках условных «ранней» и «поздней» зон годичного слоя было отмечено, что сосуды обеих зон имеют окрашенные полости. При этом в «поздней» зоне, в отличие от «ранней», помимо окрашенных сосудов краситель проник в прилегающие волокнистые элементы и окрасил их (рис. 5). Именно поэтому «поздняя» зона приобрела более темную окраску, в сравнении с «ранней». Сердцевинные лучи также окрасились в темный цвет.

С учетом наблюдаемой неоднородной локализации пропиточного раствора по ширине годичного слоя, было выдвинуто предположение, что неравномерное пропитывание годичного слоя обусловлено отличием в строении волокнистых трахеид (основного волокнистого элемента березы) «ранней» и «поздней» зоны.



*Рис. 4.* Поперечный микросрез окрашенной древесины березы (Ув. 40×): 1 – сосуды; 2 – окрашенная «поздняя» зона годовичного слоя; 3 – окрашенные сердцевинные лучи; 4 – «ранняя» зона годовичного слоя; 5 – волокнистые элементы

*Fig. 4.* Transverse micro-section of painted birch wood (Uv. 40×): 1 – vessels; 2 – colored «late» zone of the annual layer; 3 – colored core rays; 4 – the «early» zone of the annual layer; 5 – fibrous elements



*Рис. 5.* Поперечный микросрез окрашенной древесины березы (Ув. 100×): 1 – «ранняя» зона годовичного слоя; 2 – «поздняя» зона годовичного слоя

*Fig. 5.* Transverse micro-section of painted birch wood (Uv. 100×): 1 – «early» zone of the annual layer; 2 – «late» zone of the annual layer

Для проверки выдвинутого предположения были проведены исследования особенностей анатомического строения волокнистых элементов древесины березы из «ранней» и «поздней» зоны годичного слоя. Результаты исследований представлены в табл. 1 и на рис. 6–12.

Таблица 1

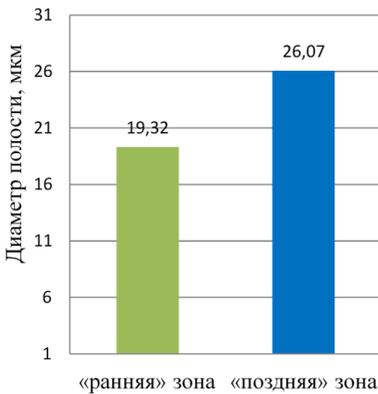
**Особенности анатомического строения волокнистых трахеид древесины березы**

**Features of anatomical structure of fibrous tracheids of birch wood**

Показатель	Количество измерений	Среднее значение	Среднее квадратичное отклонение	Точность опыта, %	Коэффициент вариации, %
«Ранняя» зона					
Длина, мкм	30	878,78±53,87	144,28	2,99	16,42
Диаметр полости, мкм	114	19,32 ±1,19	6,42	3,11	33,21
Толщина клеточной стенки, мкм	128	3,43 ±0,18	1,02	2,62	29,61
Ширина поры, мкм	30	1,36 ±0,11	0,30	4,07	22,34
Высота поры, мкм	142	5,99 ±0,23	1,38	1,94	23,07
Количество пор, шт	16	36 ±3	6,36	4,41	17,64
«Поздняя» зона					
Длина, мкм	30	935,64 ±55,69	149,15	2,91	15,94
Диаметр полости, мкм	114	26,07 ±1,75	9,43	3,39	36,16
Толщина клеточной стенки, мкм	128	6,52 ±0,35	2,03	2,75	31,10
Ширина поры, мкм	30	1,53 ±0,09	0,256	3,07	16,86
Высота поры, мкм	142	4,34 ±0,27	1,63	3,16	37,66
Количество пор, шт.	16	43 ±4	7,80	4,50	18,00

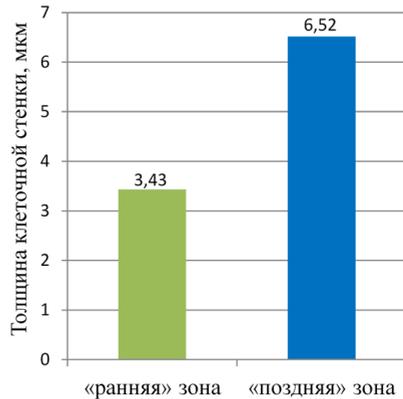
Анализ полученных данных показал, что по ряду рассматриваемых характеристик волокнистые трахеиды из частей годичного слоя, имеющих разную интенсивность окраски, имеют отличия.

Трахеиды располагающиеся в «поздней» зоне годовичного слоя имеют диаметры полостей больше в сравнении с «ранней» почти на 26% (t-критерий Стьюдента = 6,31). Среднее значение диаметра полости волокнистых трахеид «поздней» зоны составило – 26,07 мкм, а «ранней» – 19,32 мкм (рис. 6). Существенно различаются волокнистые трахеиды «ранней» и «поздней» зоны и по толщине клеточных стенок. Среднее значение толщины клеточной стенки волокнистых трахеид «ранней» зоны – 3,43 мкм, а «поздней» зоны – 6,52 мкм (рис. 7), на 47% процентов больше «ранней» (t-критерий Стьюдента = 15,41).



**Рис. 6. Среднее значение диаметра полости волокнистых трахеид**

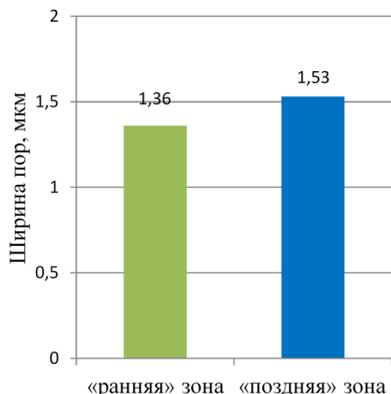
**Fig. 6. The average diameter of the cavity of fibrous tracheids**



**Рис. 7. Среднее значение толщины клеточной стенки волокнистых трахеид**

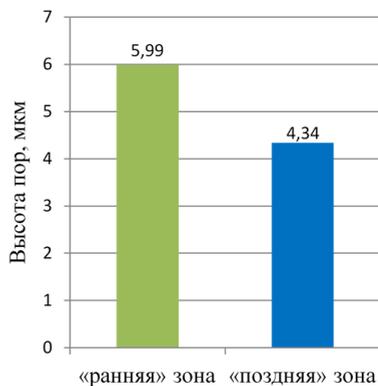
**Fig. 7. Average value of the cell wall thickness of fibrous tracheids**

Также были отмечены различия в таком важном для проницаемости элементе строения клеточной стенки древесины как межклеточные поры. Поскольку у волокнистых трахеид поры имеют вытянутую щелевидную форму, то измерение производилось в двух взаимно перпендикулярных направлениях по высоте и ширине каналов. Средние значения измерений ширины пор показали, что в «поздней» зоне поры имеют ширину на 11,1% больше, чем в «ранней» (t-критерий Стьюдента = 2,40). Среднее значение ширины пор «поздней» зоны – 1,53 мкм, а «ранней» зоны – 1,36 мкм (рис. 8). В то время как по высоте размер пор «ранней» зоны оказался больше «поздней» почти на 27,5% (t-критерий Стьюдента = 9,24). Среднее значение высоты пор «поздней» зоны – 4,34 мкм, а «ранней» зоны – 5,99 мкм (рис. 9).



**Рис. 8.** Среднее значение ширины пор волокнистых трахеид

**Fig. 8.** The average value of the pore width of fibrous tracheids



**Рис. 9.** Среднее значение высоты пор волокнистых трахеид

**Fig. 9.** Average pore height of fibrous tracheids

Здесь следует отметить, что использованный при исследованиях краситель текстильного красителя «Совелан» при нормальных условиях является не истинным, а коллоидным. Поэтому частицы красителя могут проникать не через любые поры, а только через те, размеры которых обеспечивают такой перенос. Учитывая щелевидную форму пор волокнистых трахеид березы, размером, определяющим возможность переноса частиц красителя, является их ширина. Исходя из полученных данных, можно предположить, что в «поздней» зоне ширина пор обеспечивает перенос красителя, а в «ранней» происходит его отфильтровывание.

Помимо размеров пор, подсчитывалось и их количество в клеточных стенках волокнистых трахеид. Было установлено, что количество пор у трахеид, сформировавшихся в «поздней» зоне, на 17% выше (t-критерий Стьюдента = 2,90) в сравнении с «ранней» зоной (рис. 10). Вместе с тем отмечалась значительная вариация данного показателя от элемента к элементу как в «ранней», так и в «поздней» зоне. Количество пор в одном анатомическом элементе варьировало от 21 до 88 штук (рис. 11).

Кроме описанных выше показателей строения древесины, имеющих достоверные различия, исследовалась и длина волокнистых трахеид. Однако по длине различие анатомических элементов не подтвердилось, отмечена лишь тенденция, что средняя длина несколько больше в «поздней» зоне. Среднее значение длины волокнистых трахеид «поздней» зоны – 935,64 мкм, а «ранней» зоны – 878,78 мкм (рис. 12).

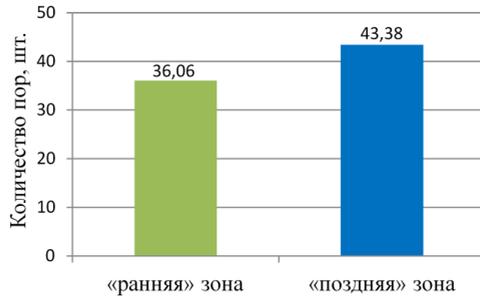


Рис. 10. Среднее значение количества пор волокнистых трахеид  
Fig. 10. The average value of the number of pores of fibrous tracheids

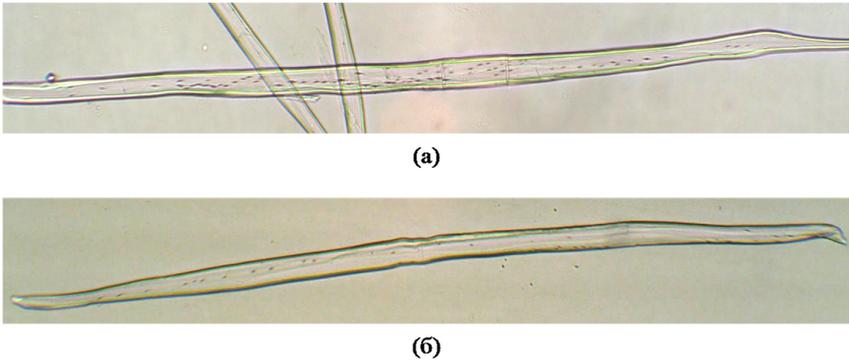


Рис. 11. Волокнистые трахеиды древесины березы (Ув. 100×):  
а – «поздняя» зона; б – «ранняя» зона

Fig. 11. Fibrous tracheids of birch wood (Uv. 100×):  
а – «late» zone; б – «early» zone

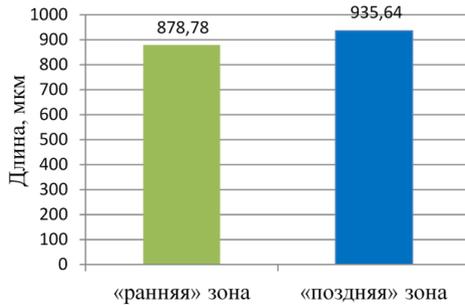


Рис. 12. Среднее значение длины волокнистых трахеид  
Fig. 12. Average length of fibrous tracheids

*Заключение.* В ходе исследований изучены отличительные особенности анатомического строения волокнистых трахеид «ранней» и «поздней» зон годичного слоя. Установлено, что трахеиды располагающиеся в «поздней» зоне годичного слоя имеют в сравнении с «ранней» большие показатели по размерам полостей клеток (почти на 26%), по толщине клеточных стенок (на 47%), по ширине (на 11,1%) и количеству пор (на 17%). По высоте пор больший показатель имеют волокнистые трахеиды «ранней» зоны годичного слоя (почти на 27,5%).

По длине волокнистые трахеиды «ранней» и «поздней» зоны годичного слоя достоверных различий не имеют.

Одной из возможных причин неравномерного распределения пропиточного раствора по ширине годичного слоя, наблюдаемого при окрашивании древесины березы красителем, является разница показателей фильтрации пропиточного раствора, обусловленная различием ширины пор волокнистых трахеид в «ранней» и «поздней» зоне годичного слоя.

*Сведения о финансировании исследования.* Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России на выполнение коллективом научной лаборатории «Биорефайнинг лесных ресурсов» проекта «Исследование закономерностей процессов биодеструкции древесины погибших древостоев для разработки научно-обоснованных подходов получения новых функциональных материалов» (Номер темы FEFE-2024-0032).

*Конфликт интересов.* Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### **Библиографический список**

*Абсалямов Р.Р., Поздеев Д.А., Абсалямова С.Л., Якимов М.В., Старков М.Н.* Производительность березняков Удмуртской Республики // Лесной вестник. 2020. Т. 24. № 6. С. 12–18. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-12-18

*Амосова И.Б., Феклистов П.А.* Анализ анатомического строения древесины березы // Вестник МГУЛ. Лесной вестник. 2009. № 2. С. 16–18.

*Бенькова В.Е., Швейнгрубер Ф.Х.* Анатомия древесины растений России. Берн, 2004.

*Ветчинникова Л.В., Титов А.Ф.* Карельская береза: разновидность или самостоятельный вид? // ИВУЗ. Лесной журнал. 2020. № 1 (373). С. 26–48.

*Вихров В.Е.* Диагностические признаки древесины главнейших лесохозяйственных и лесопромышленных пород СССР. Рипол Классик, 1959.

*Елисеев С.Г., Ермолин В.Н., Намятов А.В.* Проницаемость древесины березы жидкостями // Хвойные бореальной зоны. 2014. Т. 32, № 5–6. С. 77–80.

*Дмитренко А.И.* и др. Исследование процесса пропитки древесины березы отработанным растительным маслом // Лесотехнический журнал. 2020. Т. 10. № 2 (38). С. 161–168.

Косиченко Н.Е., Вариводина И.Н., Неделина Н.Ю. Связь гистологического состава с шириной годичного слоя разных типов древесины // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 75. С. 237–239.

Москалева В.Е. Строение древесины и его изменение при физических и механических воздействиях. М.: АН СССР. 1957.

Мягколиственные теснят хвойных: в рослесинфорге изучили динамику изменения породного состава лесного фонда // Рослесинфорг [сайт]. 2023. URL: <https://roslesinforg.ru/news/all/3044/>

Неделина Н.Ю. Эффективный способ определения гистологического состава древесины // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 79. С. 340–352. EDN OYXGNT.

Паушева З.П. Практикум по цитологии растений: Изд. 2-е. М.: Колос. 1974. 288 с.

Прозина М.Н. Ботаническая микротехника. М.: Высш. школа. 1960. 206 с.

Фурст Г.Г. Методы анатомо-гистохимического исследования растительных тканей. Москва: Наука, 1979. 155 с.

Яценко-Хмелевский А.А. Основы и методы анатомического исследования древесины. 1954.

Bhat K.M., Kärkkäinen M. Distinguishing between *Betula pendula* Roth. and *Betula pubescens* Ehrh. on the basis of wood anatomy. 1980.

Biziks V. et al. Changes in the microstructure of birch wood after hydrothermal treatment // Wood science and technology. 2013. Т. 47. С. 717–735.

Cirelli D., Jagels R., Tyree M.T. Toward an improved model of maple sap exudation: the location and role of osmotic barriers in sugar maple, butternut and white birch // Tree Physiology. 2008. Vol. 28, no. 8. P. 1145–1155.

Hellberg E., Carcaillet C. Wood anatomy of West European *Betula*: quantitative descriptions and applications for routine identification in paleoecological studies // Ecoscience. 2003. Vol. 10, no. 3. С. 370–379.

Luostarinen K., Hakkarainen K. Chemical composition of wood and its connection with wood anatomy in *Betula pubescens* // Scandinavian Journal of Forest Research. 2019. Т. 34. № 7. С. 577–584.

Petty J.A. Fluid flow through the vessels of birch wood // Journal of Experimental Botany. 1978. Т. 29. № 6. С. 1463–1469.

Platonov A.D. et al. Wood Quality along the Trunk Height of Birch and Aspen Growing in the Restoring Forests of Central Russia // Forests. 2022. Т. 13. № 11. С. 1758.

Sellin A., Rohejärvi A., Rahi M. Distribution of vessel size, vessel density and xylem conducting efficiency within a crown of silver birch (*Betula pendula*) // Trees. 2008. Т. 22. С. 205–216.

## References

Absalyamov R.R., Pozdeev D.A., Absalyamova S.L., Yakimov M.V., Starkov M.N. Productivity of bereznyaks of the Udmurt Republic. *Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 6, pp. 12–18. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-12-18

*Amosova I.B., Feklistov P.A.* Analysis of the anatomical structure of birch wood. *Bulletin of the Moscow State University of Forests – Forest Bulletin*, 2009, no. 2, pp. 16–18.

*Benkova V.E., Schweingruber F.H.* Anatomy of wood plants of Russia. Bern, 2004.

*Vetchinnikova L.V., Titov A.F.* Karelian birch: a variety or an independent species? *IVUZ. Forest Magazine*, 2020, no. 1 (373), pp. 26–48.

*Vikhrov V.E.* Diagnostic signs of wood of the main forestry and timber-industrial breeds of the USSR. Ripoll Classic, 1959.

*Eliseev S.G., Ermolin V.N., Namyatov A.V.* Permeability of birch wood by liquids. *Coniferous boreal zones*, 2014, vol. 32, no. 5–6, pp. 77–80.

*Dmitrenko A.I. et al.* Investigation of the process of impregnation of birch wood with used vegetable oil. *Forestry Journal*, 2020, vol. 10, no. 2 (38), pp. 161–168.

*Kosichenko N.E., Varivodina I.N., Nedelina N.Y.* Connection of histological composition with the width of the annual layer of different types of wood // *Polythematic online electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University*. 2012. no. 75, pp. 237–239.

*Moskaleva V.E.* The structure of wood and its change under physical and mechanical influences. M.: USSR Academy of Sciences. 1957.

Soft-leaved crowd conifers: in Roslesinforge, the dynamics of changes in the species composition of the forest fund were studied // Roslesinforg [website]. 2023. URL: <https://roslesinforg.ru/news/all/3044/>

*Nedelina, N.Yu.* An effective way to determine the histological composition of wood // *Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University*. 2012. no. 79, pp. 340–352.

*Pausheva Z.P.* Practicum on plant cytology: 2nd edition. Moscow: Kolos. 1974. 288 p.

*Prozina M.N.* Botanical microtechnics. Moscow: Higher. School. 1960. 206 p.

*Furst G.G.* Methods of anatomical and histochemical examination of plant tissues. Moscow: Nauka, 1979. 155 p.

*Jazenko-Khmelevsky A.A.* Grondlage a Methode vun Anatomescher Holzfuerschung. 1954.

*Bhat K.M., Kärkkäinen M.* Distinguishing between *Betula pendula* Roth. and *Betula pubescens* Ehrh. on the basis of wood anatomy. 1980.

*Biziks V. et al.* Changes in the microstructure of birch wood after hydrothermal treatment // *Wood science and technology*. 2013. T. 47, pp. 717–735.

*Cirelli D., Jagels R., Tyree M.T.* Toward an improved model of maple sap exudation: the location and role of osmotic barriers in sugar maple, butternut and white birch. *Tree Physiology*, 2008, vol. 28, no. 8, pp. 1145–1155.

Hellberg E., Carcaillet C. Wood anatomy of West European *Betula*: quantitative descriptions and applications for routine identification in paleoecological studies. *Ecoscience*, 2003, vol. 10, no. 3, pp. 370–379.

Luostarinen K., Hakkarainen K. Chemical composition of wood and its connection with wood anatomy in *Betula pubescens*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2019, vol. 34, no. 7, pp. 577–584.

Petty J.A. Fluid flow through the vessels of birch wood. *Journal of Experimental Botany*, 1978, vol. 29, no. 6, pp. 1463–1469.

Platonov A. D. et al. Wood Quality along the Trunk Height of Birch and Aspen Growing in the Restoring Forests of Central Russia. *Forests*, 2022, vol. 13, no. 11, p. 1758.

Sellin A., Rohejärvi A., Rahi M. Distribution of vessel size, vessel density and xylem conducting efficiency within a crown of silver birch (*Betula pendula*). *Trees*, 2008, vol. 22, pp. 205–216.

Материал поступил в редакцию 18.09.2023

---

**Акинина Е.В., Елисеев С.Г., Ермолин В.Н.** Влияние особенностей анатомического строения древесины березы на ее проницаемость для жидкостей // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. Вып. 248. С. 274–290. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.248.274-290

Береза является одной из наиболее распространенных лиственных пород на территории России. Древесина березы обладает сравнительно высокими физико-механическими свойствами, но при этом имеет ряд недостатков. Отрицательные свойства березовой древесины могут быть нивелированы с помощью направленной модификации древесины за счет сквозной пропитки активными составами. По имеющимся данным, при сквозном пропитывании березовой древесины, не всегда наблюдается равномерная локализация пропиточного состава по ширине годичного слоя. Для выявления причин неравномерной локализации пропиточного раствора, были проведены исследования особенностей анатомического строения древесины березы по ширине годичного слоя. Для этого образцы размерами 20×20×100 мм (последний вдоль волокон) пропитывались кислотным красителем в автоклаве. После пропитки образцы выдерживались в течение суток при нормальных условиях для перераспределения красителя. Далее из центральной части окрашенных образцов выпиливались участки древесины размерами 20×20×20 мм. Из полученных образцов, имеющих неоднородное окрашивание по ширине годичного слоя, по стандартной методике изготавливались поперечные микросрезы древесины, на которых при помощи микроскопа и цифровой камеры производилось изучение особенностей распределения красителя в древесине. В целях изучения анатомических особенностей строения элементов

древесины березы, локализованных в разных частях по ширине годичного слоя, осуществлялась мацерация древесной ткани, взятая из «ранней» и «поздней» зоны годичного слоя. Изучение микростроения полученных древесных волокон из различных частей годичного слоя проводилось в проходящем свете с помощью микроскопа и цифровой камеры. В ходе микроскопических исследований, с помощью программы ScopyFoto, были выполнены измерения параметров анатомических элементов, таких как длина, диаметр полостей, толщина клеточных стенок, а также количество и размеры пор. Полученные данные были обработаны с помощью инструментов Microsoft Excel и программы Statgraphics. В результате проведенных исследований установлено, что волокнистые трахеиды, располагающиеся в «поздней» зоне годичного слоя, в сравнении с трахеидами «ранней» зоны, имеют большие на 26% размеры полостей клеток, на 47% более толстые клеточные стенки, на 11,1% больше по ширине окаймленные поры, а также на 17% большее количество пор. Но по высоте поры волокнистых трахеид «ранней» зоны превышают высоту трахеид «поздней» зоны почти на 27,5%. По длине волокнистые трахеиды «ранней» и «поздней» зоны годичного слоя достоверных различий не имеют. Исходя из полученных данных, одной из причин неравномерного окрашивания годичного слоя березовой древесины по ширине, по-видимому, является разница показателей фильтрации пропиточного раствора, обусловленная различием ширины пор волокнистых трахеид в «ранней» и «поздней» зоне годичного слоя.

**Ключевые слова:** древесина, береза, анатомические элементы, микроскопическое исследование, волокнистые трахеиды, проницаемость.

**Akinina E.V., Eliseev S.G., Ermolin V.N.** The influence of the anatomical structure of birch wood on its permeability to liquids. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnikeskoj Akademii*, 2024, iss. 248, pp. 274–290 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2024.248.274-290

Birch is one of the most common hardwood trees in Russia. In addition to relatively high physical and mechanical properties, birch wood has a number of disadvantages. Wood modification and active compounds to be used to impregnate birch wood can neutralise such negative properties. According to available information, these impregnation compounds are not always uniformly localised along the width of an annual ring when wood is impregnated. To identify the causes of nonuniform localisation, we studied the anatomical structure of birch wood along the width of the annual ring. To do so, samples of 20×20×100 mm (the latter along the fibres) were impregnated with an acid dye in an autoclave. After impregnation, the samples were kept for 24 hours under normal conditions to redistribute the dye. After that, wood sections of 20×20×20 mm were cut out of the central part of the dyed samples. Based on the resulted samples nonuniformly dyed along the width of the

annual ring, we used our standard method to make transverse wood microcuts, on which the distribution of the dye was studied using a microscope and a digital camera. To study the structural anatomical characteristics of birch wood elements localised in different parts along the width of the annual ring, the wood tissue taken from the «early» and «late» zones of the ring was macerated. The microstructure of the wood fibres obtained from various parts of the annual ring was studied in transmitted light using a microscope and a digital camera. In the course of microscopic studies, the ScopyFoto software product was used to measure anatomical parameters, such as length, cavity diameter, cell wall thickness, pore number and size. The data obtained were processed using Microsoft Excel and Statgraphics. As a result of the studies, it was established that fibrous tracheids located in the «late» zone of the annual layer, in comparison with tracheids of the «early» zone, have 26% larger cell cavities, 47% thicker cell walls, 11.1% more width of bordered pores, as well as 17% more number of pores. But as for their height, the fibre tracheid pores of the «early» zone exceed those of the «late» zone by almost 27.5%. The fibre tracheids of the «early» and «late» zones of the annual ring have no significant differences in the length. Based on the obtained data, one of the reasons for the uneven coloring of the annual birch wood layer across the width seems to be the difference in the filtration parameters of the impregnation solution due to the difference in the pore width of fibrous tracheids in the «early» and «late» zone of the annual layer.

**Key words:** wood, birch, anatomical elements, microscopic examination, fibrous tracheids, permeability.

---

**АКИНИНА Евгения Валериевна** – аспирант Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева. SPIN-код 2227-5940, ORCID 0000-0002-5723-8883.

660037, пр. имени газеты Красноярский рабочий, д. 31, Красноярский край, г. Красноярск, Россия. E-mail: eugeniya.mitina@yandex.ru

**AKININA Evgeniya V.** – PhD student of the Reshetnev Siberian State University of Science and Technology. SPIN-code 2227-5940, ORCID: 0000-0002-5723-8883.

660037. newspapers Krasnoyarsk worker av. 31. Krasnoyarsk region. Krasnoyarsk. Russia. E-mail: eugeniya.mitina@yandex.ru

**ЕЛИСЕЕВ Сергей Геннадьевич** – доцент Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, кандидат технических наук. SPIN-код: 8297-9107, ORCID: 0000-0002-7746-0158.

660037, пр. имени газеты Красноярский рабочий, д. 31, Красноярский край, г. Красноярск, Россия. E-mail: eliseevsg@sibsau.ru

**ELISEEV Sergey G.** – PhD (Technical), Associate Professor of the Reshetnev Siberian State University of Science and Technology. SPIN-code: 8297-9107, ORCID: 0000-0002-7746-0158.

660037. newspapers Krasnoyarsk worker av. 31. Krasnoyarsk region. Krasnoyarsk. Russia. E-mail: E-mail: eliseevsg@sibsau.ru

**ЕРМОЛИН Владимир Николаевич** – профессор Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, доктор технических наук. SPIN-код: 6054-1883, ORCID: 0000-0002-2113-4142.

660037, пр. имени газеты Красноярский рабочий, д. 31, Красноярский край, г. Красноярск, Россия. E-mail: vnermolin@yandex.ru

**ERMOLIN Vladimir N.** – DSc (Technical), Professor of the Reshetnev Siberian State University of Science and Technology. SPIN-code: 6054-1883, ORCID: 0000-0002-2113-4142.

660037. newspapers Krasnoyarsk worker av. 31. Krasnoyarsk region. Krasnoyarsk. Russia. E-mail: E-mail: vnermolin@yandex.ru