

**Н.Ф. Гибадуллин, Д.А. Зайцев, И.В. Бачериков, Х.Г. Мусин,
Н.И. Мирсияпов, А.Ф. Галимуллин**

**МАКРОСТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КСИЛЕМЫ
ПО ВЫСОТЕ СТВОЛА В ЕСТЕСТВЕННЫХ
И ИСКУССТВЕННЫХ СОСНЯКАХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН**

Введение. Древесина – материал биологического происхождения, для которого характерна вариативность свойств, что связано с особенностями биологического развития дерева в онтогенезе. Формирование годичного прироста древесины связано как с условиями произрастания, так и с возрастом. Показатель плотности древесины является комплексным результирующим параметром её структуры [Полубояринов, 1976, 1991; Усольцев, Цепордей, 2020]. На показатели изменчивости сильно влияют внешние факторы, основным из которых являются условия произрастания [Ваганов, Шашкин, 2000], а также дифференциация деревьев внутри насаждения, выраженная в ряде распределения деревьев по ступеням толщины [Zaytsev et al., 2019]. В стволе плотность дерева распределена неравномерно и уменьшается от комля к вершине и по радиусу ствола [Полубояринов, 1976]. Изменчивость плотности по высоте присутствует в любом стволе дерева, но её значение индивидуально для разных видов. Она может значительно варьировать в пределах ствола дерева [Pretzsch et al., 2018] исходя из анатомического строения ранней и поздней ксилемы у хвойных пород [Антонов и др., 2010; Данилов, Скупченко, 2014; Bjorklund et al., 2017], между сердцевиной и заболонью и по высоте дерева [Swenson, Enquist, 2008].

Быстрое и надёжное определение плотности древесины на растущих деревьях имеет решающее значение для пространственного и крупномасштабного анализа накопления углерода [Domke et al., 2012] и оценки качества древесины [Gao et al., 2017]. Рост числа научных работ, посвященных плотности древесины и анатомическому строению ствола, позволяет создавать прогнозные модели динамики исследуемых показателей [Vaganov et al., 2006].

На текущий момент в России значительны площади бывших сельскохозяйственных земель, на которых происходит облесение как естественным способом, так и высаженными лесными культурами [Люри и др., 2010]. Леса на таких землях имеют значительный потенциал для получения древесины, и интерес представляет изучение их особенностей в сравнении с древостоями

естественного происхождения на лесных землях [Голубева и др., 2016; Грибов и др., 2020; Януш и др., 2023]. Для европейской части России имеется достаточное число публикаций, посвященных изучению плотности и структуры древесины хвойных пород, произрастающих на землях, ранее использовавшихся под пашню [Лохов, 2011; Наквасина, Шумилова, 2021; Корчагов и др., 2023; Danilov et al., 2018]. Однако для условий Республики Татарстан данное направление исследований является малоизученным. Ввиду этого целью данного исследования являлась оценка вариации анатомических показателей и плотности древесины сосны по высоте ствола дерева в искусственных насаждениях на старопахотных землях сравнительно с естественно сформировавшимися сосновыми насаждениями Республики Татарстан.

Объекты и методика исследования. Для решения задач исследования были отобраны два участка сосновых насаждений (*Pinus sylvestris* L.) на территории Республики Татарстан в Лаишевском районе, Пригородное лесничество. Объекты представляли из себя естественно сформировавшийся древостой со средним возрастом 85 лет на лесных почвах и лесные культуры возрастом 55 лет на бывшей пашне. На данных опытных участках были заложены пробные площади, проводилась таксация древостоя (сплошной пересчет), были сделаны почвенные прикопки для уточнения почвенно-грунтовых условий (песчаная серая почва, сходные ландшафтные условия). Запас древостоя в естественном насаждении составил $210 \text{ м}^3/\text{га}$ в культурах – $255 \text{ м}^3/\text{га}$. Ряды распределения по ступеням толщины древостоя и в естественно сформировавшемся древостое, и в лесных культурах близки к нормальному.

На объектах был проведен спил модельных деревьев (по 6 экземпляров на объект), отобранные модельные деревья охватывали представленные ступени толщины, отличались по диаметру и высоте (табл. 1). Возраст дерева определялся по числу годичных приростов спила на уровне пня с поправкой на высоту (3 года) [Ваганов, Шашкин, 2000].

Все модельные деревья раскряжевывались на 10 отрезков (по 10% от длины ствола каждый). С каждого отрезка отбирался диск, на котором были исследована ширина годичного слоя (далее – ШГС), ширина зоны поздней и зоны ранней ксилемы по годам [Ваганов, Шашкин, 2000]. Также было проведено измерение базисной плотности древесины по секторам отобранных дисков [Полубояринов, 1976]. Средние по стволу и медианные значения макроструктурных показателей стволов и базисной плотности древесины по ступеням толщины приведены в табл. 2 (медианные значения приведены для исключения влияния выбросов).

Таблица 1

Высота и диаметр ствола на высоте 1,3 м модельных деревьев по объектам исследования

The height and diameter of the trunk at a height of 1.3 m of the model trees according to the objects of the study

Естественный древостой на лесных почвах, 85 лет						
Диаметр, см	14	16	22	24	26	28
Высота, м	15,0	16,5	23,0	24,0	26,0	24,1
Возраст, лет	70	69	85	85	84	81
Лесные культуры на старопахотных землях, 55 лет						
Диаметр, см	12	14	14	16	20	22
Высота, м	12,5	16,0	16,7	18,0	19,7	20,0
Возраст, лет	54	55	56	57	56	56

Таблица 2

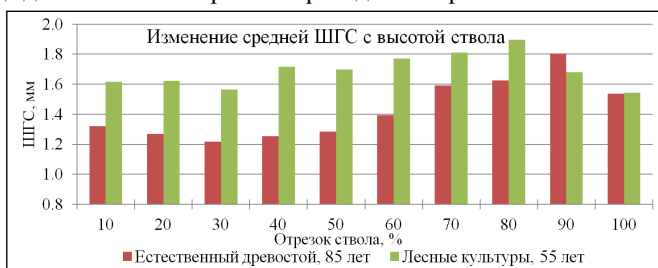
Средние и медианные показатели макроструктуры стволов по ступням толщины и базисной плотности по объектам исследования

Average and median macrostructural parameters of trunks by diameter classes and basic density by study objects

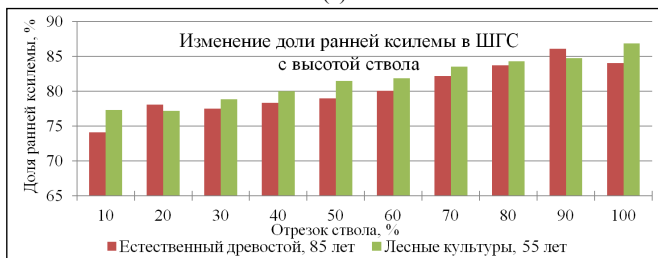
Естественный древостой на лесных почвах, 85 лет						
Ступень толщины, см	14	16	22	24	26	28
Поздняя ксилема, мм	$\frac{0,24^*}{0,24}$	$\frac{0,23}{0,22}$	$\frac{0,31}{0,29}$	$\frac{0,28}{0,25}$	$\frac{0,34}{0,32}$	$\frac{0,34}{0,34}$
Ранняя ксилема, мм	$\frac{0,75}{0,76}$	$\frac{0,75}{0,80}$	$\frac{1,09}{1,19}$	$\frac{1,14}{1,13}$	$\frac{1,36}{1,29}$	$\frac{1,29}{1,26}$
ШГС, мм	$\frac{0,99}{1,01}$	$\frac{0,98}{1,03}$	$\frac{1,40}{1,47}$	$\frac{1,42}{1,42}$	$\frac{1,69}{1,66}$	$\frac{1,63}{1,60}$
Базисная плотность, кг/м ³	518,2	490,2	446,1	434,0	429,4	455,2
Лесные культуры на старопахотных землях, 55 лет						
Ступень толщины, см	12	14	16	20	22	
Поздняя ксилема, мм	$\frac{0,28}{0,26}$	$\frac{0,30}{0,28}$	$\frac{0,32}{0,27}$	$\frac{0,43}{0,40}$	$\frac{0,42}{0,38}$	
Ранняя ксилема, мм	$\frac{0,90}{0,90}$	$\frac{1,22}{1,23}$	$\frac{1,38}{1,39}$	$\frac{1,71}{1,91}$	$\frac{1,63}{1,69}$	
ШГС, мм	$\frac{1,17}{1,15}$	$\frac{1,51}{1,48}$	$\frac{1,69}{1,70}$	$\frac{2,13}{2,33}$	$\frac{2,04}{2,11}$	
Базисная плотность, кг/м ³	506,8	466,8	482,4	456,3	383,4	

Примечание: * в числителе – средние по стволу показатели (с учетом «веса» исследуемых образцов в стволе), в знаменателе – медианные

Результаты исследования. Изучение вариации параметров макроструктуры по высоте ствола показало, что в лесных культурах показатели выше, чем в естественно сформировавшемся древостое, но и в тех, и в других изменения идут волнообразно с уменьшением показателя средней ШГС в 10–20% в верхней части ствола (рис. 1а). В целом по объектам исследования с увеличением высоты ствола доля ранней ксилемы увеличивается (а поздней ксилемы, соответственно, уменьшается). В культурах на старопашотных почвах доля ранней ксилемы выше, чем в древостоях естественного происхождения. Интерес представляет тот факт, что в естественно сформировавшемся древостое на самых верхних 10% ствола на большинстве отобранных модельных деревьев доля ранней древесины снижается. Исключением являлось самое высокое модельное дерево (высотой 26 м), что может быть связано с возрастом более крупных ступеней и повышенной чувствительностью более мелких ступеней к колебаниям освещенности, температуры и др. [Vaganov et al., 2006]. В лесных культурах подобной тенденции не наблюдалось. В графическом виде данные закономерности приведены на рис. 1б.



(а)

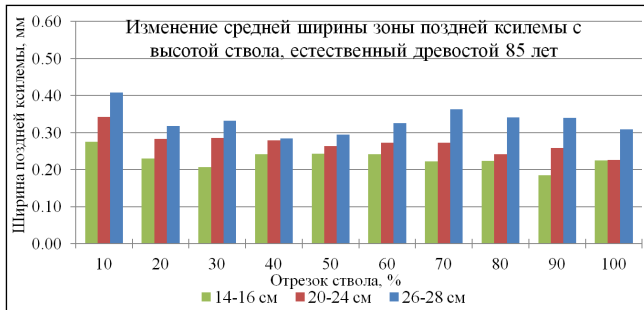


(б)

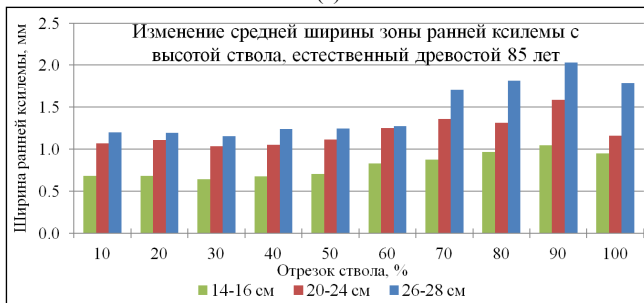
Рис. 1. Изменение макроструктурных показателей древесины по высоте ствола на опытных объектах: (а) изменение средней ШГС; (б) изменение доли ранней ксилемы в ШГС

Fig. 1. Changes in the wood macrostructural parameters of the trunk height at experimental sites: (a) change in the average width of the annual layer; (b) change in the proportion of early xylem in the width of the annual layer

Обработка полученного массива данных показала однородность показателей макроструктуры по близким ступеням толщины в ряде случаев. Данные по двухсантиметровым ступеням толщины (табл. 2) были проанализированы по критерию Уилкоксона (так как показатели не имели нормального распределения и шли в порядковой шкале от нижней взятой шайбы к верхней). Анализ для естественно сформировавшегося древостоя 85 лет показал однородность макроструктурных показателей в соседних ступенях (14-16, 22-24, 26-28 см) на уровне достоверности 95%. Для лесных культур 55 лет отмеченный факт менее выражен, но также прослеживается по медианным значениям (табл. 2). В связи с этим данные по этому объекту также были объединены в совокупности 14-16 и 20-22 см. В графическом виде изменение макроструктурных показателей по отрезкам ствола представлены на рис. 2, 3 (приведены средние значения).



(а)



(б)

Рис. 2. Изменение макроструктурных показателей по высоте ствола в естественном древостое 85 лет: (а) по ширине зоны поздней ксилемы; (б) по ширине зоны ранней ксилемы

Fig. 2. Changes in the macrostructural parameters of trunk height in a natural stand of 85 years: (a) in the width of the late xylem zone; (b) in the width of the early xylem zone

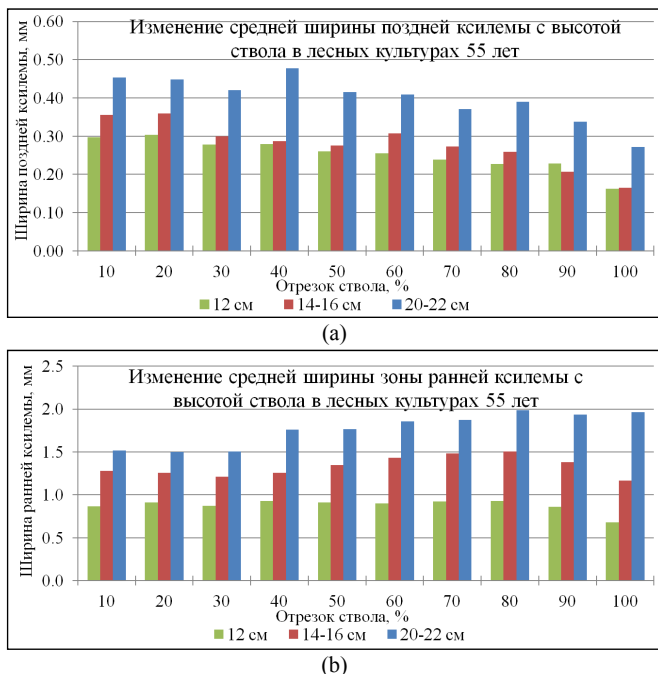


Рис. 3. Изменение макроструктурных показателей по высоте ствола в лесных культурах 55 лет: (а) по ширине зоны поздней ксилемы; (б) по ширине зоны ранней ксилемы

Fig. 3. Changes in macrostructural parameters of trunk height in forest plantation 55 years old: (a) in the width of the late xylem zone; (b) in the width of the early xylem zone

Тест данных по критерию Уилкоксона показал значимость различий между сходными ступенями толщины в естественно сформировавшемся древостое и в лесных культурах по всем исследуемым показателям за исключением базисной плотности для сравниваемых совокупностей ступеней 22-24 (в естественном древостое) и 20-22 см (в культурах). Таким образом, можно сделать вывод об отсутствии различий в показателях базисной плотности древесины на уровне 95% между искусственно выращенным древостоем и естественным в наиболее представленных ступенях толщины древостоя. В табл. 3 приведены медианные значения со стандартными отклонениями.

Таблица 3

Медианные показатели и стандартные отклонения макроструктурных характеристик и плотности древесины на опытных объектах

Median values and standard deviations of macrostructural characteristics and density of wood at experimental sites

Диаметр, см	Поздняя ксилема, мм	Ранняя ксилема, мм	ШГС, мм	Базисная плотность древесины, кг/м ³
Естественный древостой на лесных почвах, 85 лет				
14-16	0,23±0,02	0,77±0,15	1,01±0,13	503,1±46,7
22-24	0,27±0,03	1,14±0,18	1,4±0,16	445,2±92,9
26-28	0,33±0,04	1,26±0,33	1,6±0,33	446,7±34,9
Лесные культуры на старопахотных землях, 55 лет				
12	0,26±0,04	0,90±0,08	1,15±0,11	506,8±99,2
14-16	0,28±0,06	1,31±0,12	1,58±0,15	476,4±68,5
20-22	0,41±0,06	1,81±0,19	2,22±0,16	416,8±57,3

Помимо стандартного отклонения показателей интерес представляет вариация показателей макроструктуры ксилемы по высоте ствола. В естественном древостое коэффициенты вариации в среднем несколько выше, чем в лесных культурах (табл. 4). В лесных культурах вариация показателей поздней древесины по высоте ствола выше, чем в естественном древостое, при этом в естественном древостое в свою очередь выше вариация показателей ранней ксилемы, причем по всем ступеням толщины. В лесных культурах вслед за показателями ранней ксилемы закономерно низка вариация и показателей ШГС по высоте ствола. Более равномерный годичный прирост по стволу объясняется несколько сглаженными внешними условиями для формирования ствола в исследуемых культурах на старопахотных землях. Разравнивание и постоянное перемешивание верхних горизонтов почвы во время бывшего сельскохозяйственного использования, одинаковый шаг посадки лесных культур оказали более равномерное влияние на развитие отдельных деревьев на этом объекте. В естественном древостое на лесных почвах влияние конкуренции внутри насаждения и особенности занимаемых отдельными деревьями участков микрорельефа привели к большей вариации ШГС.

Таблица 4

**Коэффициенты вариации макроструктурных характеристик
и плотности древесины по высоте ствола на опытных объектах**

**Coefficients of variation of macrostructural characteristics and density
of wood by trunk height at experimental sites**

Диаметр, см	Поздняя ксилема, мм	Ранняя ксилема, мм	ШГС, мм	Базисная плотность древесины, кг/м ³
Естественный древостой на лесных почвах, 85 лет				
14-16	10,4	18,2	13,0	9,1
22-24	11,3	14,5	11,1	22,5
26-28	10,7	22,5	18,5	7,9
Лесные культуры на старопахотных землях, 55 лет				
12	16,4	8,6	9,7	20,8
14-16	21,5	8,7	9,2	14,6
20-22	15,2	10,9	7,2	13,5

Заключение. Подводя итоги исследования особенностей макроструктуры древесины сосновых насаждений в Республике Татарстан, можно сделать некоторые обобщения. Лесные культуры, высаженные на старопахотных почвах, сформировали большую среднюю ширину годичного слоя по стволу с незначительно повышенной долей ранней ксилемы относительно естественных насаждений. При этом повышенная доля ранней ксилемы в ШГС не привела к формированию значимо менее плотной древесины в насаждении. Плотность древесины ствола в наиболее представленных ступенях толщины (20-24 см) в лесных культурах и в естественном древостое сходная на уровне достоверности 95%. Учитывая превосходящую продуктивность исследуемых лесных культур, можно заключить, что на территории Республики Татарстан фитомасса таких насаждений значительно превышает естественные спелые насаждения в сходных ландшафтах уже к возрасту 55 лет. Выравненные условия (старопахотные почвы, рядовая посадка лесных культур) привели к меньшей вариабельности показателей годичного прироста по стволу относительно естественно сформировавшегося древостоя.

Вклад авторов. Все авторы внесли равный вклад на всех этапах исследования.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Антонов А.М., Коновалов Д.Ю., Чалых Д.Е., Корчагов С.А. О взаимосвязи влияния топографии анатомических элементов на показатели плотности и прочности древесины // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2010. Вып. 190. С. 24–34.
- Ваганов Е.А., Шашкин А.В. Рост и структура годичных колец хвойных. Новосибирск: Наука, 2000. 232 с.
- Голубева Л.В., Наквасина Е.Н., Минин Н.С. Продуктивность и качество древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в постагрогенных насаждениях // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2016. Вып. 215. С. 19–29. DOI: 10.21266/2079-4304.2016.215.19-29.
- Грибов С.Е., Корчагов С.А., Хамитов Р.С., Евдокимов И.В. Производительность древостоев, сформировавшихся на землях сельскохозяйственного назначения // Лесной вестник. 2020. № 6. С. 19–25. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-19-25.
- Данилов Д.А., Скупченко В.Б. Изменения в строении древесины сосны и ели на анатомическом уровне в древостоях, пройденных рубками ухода и комплексным уходом // ИВУЗ. Лесной журнал. 2014. № 5. С. 70–88.
- Корчагов С.А., Щекалев Р.В., Грибов С.Е., Михайлов К.Л., Чавчавадзе Е.С. Изменчивость плотности древесины сосны обыкновенной в северо-восточной части ее ареала // Успехи современного естествознания. 2023. № 12. С. 39–44. DOI: 10.17513/use.38168.
- Лохов Д.В. Лесоводственная оценка и показатели качества древесины культур сосны на залежных землях // Экологические проблемы Севера: межвуз. сб. науч. тр. 2011. Вып. 14. С. 73–76.
- Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваева Н.А., Денисенко Е.А., Нефедова Т.Г. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. М.: ГЕОС, 2010. 416 с.
- Наквасина Е.Н., Шумилова Ю.Н. Динамика запасов углерода при формировании лесов на постагрогенных землях // ИВУЗ. Лесной журнал. 2021. № 1 (379). С. 46–59. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-1-46-59.
- Полубояринов О.И. Плотность древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 160 с.
- Полубояринов О.И. Качество древесины культур сосны плантационного типа на Северо-Западе европейской части СССР // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение: межвуз. сб. науч. тр. Ленинград, 1991. С. 89–95.
- Усольцев В.А., Цепордей И.С. Квалиметрия фитомассы лесных деревьев: плотность и содержание сухого вещества: монография. Екатеринбург: УГЛТУ, 2020. 179 с.
- Януш С.Ю., Данилов Д.А., Зайцев Д.А. Плотность древесины сосны и ели в насаждениях на старопахотных и лесных землях в Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2023. № 243. С. 46–67. DOI: 10.21266/2079-4304.2023.243.46-67.

Bjorklund J., Seftigen K., Schweingruber F., Fonti P., von Arx G., Bryukhanova M.V., Cuny H.E., Carrer M., Castagneri D., Frank D.C. Cell size and wall dimensions drive distinct variability of earlywood and latewood density in Northern Hemisphere conifers // *New Phytologist*. 2017. Vol. 216. P. 728–740. DOI: 10.1111/nph.14639.

Danilov D., Belyaeva N., Janusz S. Structure of mature mixed pine-and-spruce stands on postagrogenic lands in Leningrad region, Russia // *Research for Rural Development*. 2018. Vol. 1. P. 131–137. DOI: 10.22616/rtd.24.2018.020.

Domke G.M., Woodall C.W., Smith J.E., Westfall J.A., McRoberts R.E. Consequences of Alternative Tree-Level Biomass Estimation Procedures on U.S. Forest Carbon Stock Estimates // *Forest Ecology and Management*. 2012. Vol. 270. P. 108–116. DOI: 10.1016/j.foreco.2012.01.022.

Gao S., Wang X., Wiemann M.C., Brashaw B.K., Ross R.J., Wang L. A critical analysis of methods for rapid and nondestructive determination of wood density in standing trees // *Annals of Forest Science*. 2017. Vol. 74, iss. 2. Art. no. 27. DOI: 10.1007/s13595-017-0623-4.

Pretzsch H., Biber P., Schütze G., Kemmerer J., Uhl E. Wood density reduced while wood volume growth accelerated in central European forests since 1870 // *Forest Ecology and Management*. 2018. Vol. 429. P. 589–616. DOI: 10.1016/j.foreco.2018.07.045.

Swenson N.G., Enquist B.J. The relationship between stem and branch wood specific gravity and the ability of each measure to predict leaf area // *American Journal of Botany*. 2008. Vol. 95. P. 516–519. DOI: 10.3732/ajb.95.4.516.

Vaganov E.A., Hughes M.K., Shashkin A.V. Growth dynamics of conifer Tree Rings: Images of Past and Future Environments (Ecological Studies. Vol. 183). Berlin-Heidelberg: Springer, 2006. 356 p.

Zaytsev D.A., Danilov D.A., Navalihin S.V. Wood density of pine and spruce stands according to trees diameter distribution after thinning // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 226, iss. 1. Art. no. 012065. DOI: 10.1088/1755-1315/226/1/012065.

References

Antonov A.M., Konovalov D.Yu., Chalykh D.E., Korchagov S.A. On the interrelation of the influence of the topography of anatomical elements on the density and strength of wood. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2010, iss. 190, pp. 24–34. (In Russ.)

Bjorklund J., Seftigen K., Schweingruber F., Fonti P., von Arx G., Bryukhanova M.V., Cuny H.E., Carrer M., Castagneri D., Frank D.C. Cell size and wall dimensions drive distinct variability of earlywood and latewood density in Northern Hemisphere conifers. *New Phytologist*, 2017, vol. 216, pp. 728–740. DOI: 10.1111/nph.14639.

Danilov D.A., Skupchenko V.B. Changes in the Structure of Pine and Spruce on the Anatomical Level in the Stands Passed Cutting and Complex Care. *Russian Forestry Journal*, 2014, no. 5, pp. 70–88. (In Russ.)

Danilov D., Belyaeva N., Janusz S. Structure of mature mixed pine-and-spruce stands on postagrogenic lands in Leningrad region, Russia. *Research for Rural Development*, 2018, vol. 1, pp. 131–137. DOI: 10.22616/rrd.24.2018.020.

Domke G.M., Woodall C.W., Smith J.E., Westfall J.A., McRoberts R.E. Consequences of Alternative Tree-Level Biomass Estimation Procedures on U.S. Forest Carbon Stock Estimates. *Forest Ecology and Management*, 2012, vol. 270, pp. 108–116. DOI: 10.1016/j.foreco.2012.01.022.

Gao S., Wang X., Wiemann M.C., Brashaw B.K., Ross R.J., Wang L. A critical analysis of methods for rapid and nondestructive determination of wood density in standing trees. *Annals of Forest Science*, 2017, vol. 74, iss. 2, art. no. 27. DOI: 10.1007/s13595-017-0623-4

Golubeva L.V., Nakvasina E.N., Minin N.S. Productivity and wood quality of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in postagrogenic forests. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoj Akademii*, 2016, iss. 215, pp. 19–29. DOI: 10.21266/2079-4304.2016.215.19-29. (In Russ.)

Gribov S.E., Korchagov S.A., Khamitov R.S., Evdokimov I.V. Productivity of stands formed on agricultural lands. *Forestry Bulletin*, 2020, vol. 6, pp. 19–25. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-19-25. (In Russ.)

Korchagov S.A., Shchekalev R.V., Gribov S.E., Mikhailov K.L., Chavchavadze E.S. Variability of wood density of Scots pine in the northeastern part of its range. *Advances of current natural sciences*, 2023, no. 12, pp. 39–44. DOI: 10.17513/use.38168. (In Russ.)

Lokhov D.V. Forest valuation and quality indicators of the wood of pine crops on fallow lands. *Environmental problems of the North: interuniversity collection of scientific works*, 2011, vol. 14, pp. 73–76. (In Russ.)

Luri D.I., Goryachkin S.V., Karavaeva N.A., Denisenko E.A., Nefedova T.G. Dynamics of agricultural lands in Russia in the XX century and postagrogenic recovery of vegetation and soils. Moscow: GEOS, 2010. 416 p. (In Russ.)

Nakvasina E.N., Shumilova Yu.N. Dynamics of Carbon Stocks in the Formation of Forests on Post-Agrogenic Lands. *Russian Forestry Journal*, 2021, no. 1 (379), pp. 46–59. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-1-46-59. (In Russ.)

Poluboyarinov O.I. Density of wood. Moscow: Forest Industry, 1976. 160 p. (In Russ.)

Poluboyarinov O.I. Quality of wood from plantation-type pine crops in the North-West of the European part of the USSR. *Forestry, forest crops and soil science: interuniversity collection of scientific papers*. Leningrad, 1991, pp. 89–95. (In Russ.)

Pretsch H., Biber P., Schütze G., Kemmerer J., Uhl E. Wood density reduced while wood volume growth accelerated in central European forests since 1870. *Forest Ecology and Management*, 2018, vol. 429, pp. 589–616. DOI: 10.1016/j.foreco.2018.07.045.

Swenson N.G., Enquist B.J. The relationship between stem and branch wood specific gravity and the ability of each measure to predict leaf area. *American Journal of Botany*, 2008, vol. 95, pp. 516–519. DOI: 10.3732/ajb.95.4.516.

Usoltsev V.A., Tsepordey I.S. Qualimetry of phytomass of forest trees: density and dry substance content: a monograph. Yekaterinburg: Ural State Forestry Engineering University, 2020. 179 p. (In Russ.)

Vaganov E.A., Shashkin A.V. Growth and structure of annual rings of conifers. Novosibirsk: Nauka, 2000. 232 p. (In Russ.)

Vaganov E.A., Hughes M.K., Shashkin A.V. Growth dynamics of conifer Tree Rings: Images of Past and Future Environments (Ecological Studies. Vol. 183). Berlin-Heidelberg: Springer, 2006. 356 p.

Yanush S.Y., Danilov D.A., Zaytsev D.A. Wood density of pine and spruce in stands on old-fallow and forest lands in the Leningrad Region. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoj Akademii*, 2023, iss. 243, pp. 46–67. DOI: 10.21266/2079-4304.2023.243.46-67. (In Russ.)

Zaytsev D.A., Danilov D.A., Navalihin S.V. Wood density of pine and spruce stands according to trees diameter distribution after thinning. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 226, iss. 1, art. no. 012065. DOI: 10.1088/1755-1315/226/1/012065.

Материал поступил в редакцию 06.08.2025

Гибадуллин Н.Ф., Зайцев Д.А., Бачериков И.В., Мусин Х.Г., Мирсияпов Н.И., Галимуллин А.Ф. Макроструктурные изменения ксилемы по высоте ствола в естественных и искусственных сосняках Республики Татарстан // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 256. С. 61–75.* DOI: 10.21266/2079-4304.2025.256.61-75

В статье рассмотрены особенности вариации анатомических характеристик и плотности древесины по стволу в насаждениях сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на территории Республики Татарстан. Объектами выступили искусственные насаждения на бывшей пашне со средним возрастом 55 лет и естественные насаждения возрастом 85 лет на лесных почвах (материнские породы на объектах и ландшафтные условия сходные). На каждом из объектов были заложены пробные площади, на которых спилены модельные деревья различных ступеней толщины древостоя, раскряжеванные затем на отрезки по 10%. Далее на отобранных дисках была изучена макроструктура древесины по высоте ствола с выделением зон поздней и ранней ксилемы в годичном приросте, а также проведено измерение базисной плотности древесины. Исследование показало, что лесные культуры, высаженные на старпахотных почвах, сформировали большую среднюю ширину годичного слоя по стволу с незначительно повышенной долей ранней ксилемы относительно естественных насаждений. При этом повышенная доля ранней ксилемы в ширине годичного слоя не привела к формированию значимо менее плотной древесины в

насаждении. Плотность древесины ствола в наиболее представленных ступенях толщины (20-24 см) в лесных культурах и в естественном древостое сходная на уровне достоверности 95%. Учитывая превосходящую продуктивность исследуемых лесных культур (255 м³/га против 210 м³/га в естественном насаждении), можно заключить, что на территории Республики Татарстан фитомасса таких насаждений значительно превышает естественные спелые насаждения в сходных ландшафтах уже к возрасту 55 лет. Выравненные условия на объекте с лесными культурами (старопашотные почвы с постоянным перемешиванием верхних горизонтов и рядовая посадка самих культур) привели к меньшей вариабельности показателей годовичного прироста по стволу относительно естественного сформировавшегося древостоя, в котором влияние конкуренции внутри насаждения и особенности занимаемых отдельными деревьями участков микрорельефа привели к большим колебаниям параметров.

Ключевые слова: ширина годовичного слоя, ранняя ксилема, поздняя ксилема, плотность древесины, лесные культуры, старопашотные почвы, сосна обыкновенная.

Gibadullin N.F., Zaytsev D.A., Bacherikov I.V., Musin H.G., Mirsiyapov N.I., Galimullin A.F. Macrostructural changes in xylem by trunk height in natural and artificial pine forests of the Republic of Tatarstan. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicheskoj Akademii*, 2025, iss. 256, pp. 61–75 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.256.61-75

The article considers the features of variation of anatomical characteristics and density of wood along the trunk in stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) on the territory of the Republic of Tatarstan, Russia. The objects of the study were forest plantations on former arable land with an average age of 55 years and natural stands aged 85 years on forest soils (the parent soils on the sites and the landscape conditions are similar). Trial areas were laid out on each of the objects, on which model trees were cut down from various diameter classes, and then buckled into segments of 10%. Further, the macrostructure of wood along the trunk height was studied on the selected discs, with the allocation of late and early xylem zones in annual growth width, and the basic density of wood was measured. The study showed that forest plantations on old arable soils formed a large average annual layer width along the trunk with a slightly increased proportion of early xylem relative to natural stands. At the same time, the increased proportion of early xylem in the annual layer width did not lead to the formation of significantly less dense wood in the plantation. The density of trunk wood in the most represented diameter classes (20-24 cm) in forest plantations and in natural stands is similar at a 95% confidence level. Given the superior productivity of the studied forest crops (255 м³/ha versus 210 м³/ha in natural stands), it can be concluded that in the Republic of Tatarstan the phytomass of such plantations significantly exceeds the natural stands on in similar

landscapes by the age of 55 years. The aligned conditions at the site with forest plantations (old arable soils with constant mixing of the upper soil horizons and ordinary planting) led to less variability in annual growth rates along the trunk relative to a naturally formed stand, in which the influence of competition within the stand and the features of the microrelief areas occupied by individual trees led to large fluctuations in parameters.

Key words: annual layer width, early xylem, late xylem, wood density, forest plantations, old arable soils, Scots pine.

ГИБАДУЛЛИН Нурсиль Фоатович – доцент кафедры лесоводства и лесных культур факультета лесного хозяйства и экологии Казанского государственного аграрного университета, кандидат сельскохозяйственных наук. SPIN-код: 4388-8244.

420075, ул. Главная, д. 69, к. 1, п. Дербышки, г. Казань, Республика Татарстан, Россия. E-mail: Nursil.Gibadullin@mail.ru

GIBADULLIN Nursil F. – PhD (Agriculture), Associate Professor of the Department of Forestry and Forest Cultures, Kazan State Agrarian University. SPIN-code: 4388-8244.

420075. Glavnaya str. 69, build. 1. Derbyshki village. Kazan. Republic of Tatarstan. Russia. E-mail: Nursil.Gibadullin@mail.ru

ЗАЙЦЕВ Дмитрий Андреевич – доцент кафедры лесоводства Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат сельскохозяйственных наук.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия;

старший научный сотрудник отдела агрохимии и агроландшафтов Ленинградского НИИСХ «Белогорка» – филиала ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля им. А.Г. Лорха». SPIN-код: 1340-0849. ORCID: 0000-0002-8704-6516.

188338, Институтская ул., д. 1, д. Белогорка, Гатчинский район, Ленинградская область, Россия. E-mail: disoks@gmail.com

ZAYTSEV Dmitriy A. – PhD (Agriculture), Associate Professor of Forestry Department of St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia;

senior researcher of Department of Agrochemistry and Agrolandscapes, Leningrad Research Agriculture Institute Branch of Russian Potato Research Centre. SPIN-code: 1340-0849. ORCID: 0000-0002-8704-6516.

188338. Institutskaya str. 1. Belogorka village. Leningrad region. Russia. E-mail: disoks@gmail.com

БАЧЕРИКОВ Иван Викторович – математик-аналитик ООО «Умные цифровые решения», кандидат технических наук. SPIN-код: 7210-3600. ORCID: 0000-0002-0531-1604.

143001, ул. Западная, стр. 180, этаж 17, часть помещения 11, рабочий поселок Новоивановское, городской округ Одинцовский, Московская область, Россия. E-mail: ivashka512@gmail.com

BACHERIKOV Ivan V. – PhD (Technical), mathematician «Smart Digital Solutions» LLC. SPIN-code: 7210-3600. ORCID: 0000-0002-0531-1604.

143001. Zapadnaya str. 180, floor 17, part of room 11. Novoivanovskoye working settlement. Odintsovsky urban district. Moscow region. Russia. E-mail: ivashka512@gmail.com

МУСИН Харис Гайнутдинович – профессор кафедры лесоводства и лесных культур факультета лесного хозяйства и экологии Казанского государственного аграрного университета, доктор сельскохозяйственных наук. SPIN-код: 2744-6995.

420075, ул. Главная, д. 69, к. 1, п. Дербышки, г. Казань, Республика Татарстан, Россия. E-mail: haris.musin@rambler.ru

MUSIN Haris G. – DSc (Agriculture), Professor of the Department of Forestry and Forest Cultures, Kazan State Agrarian University. SPIN-code: 2744-6995.

420075. Glavnaya str. 69, build. 1. Derbyshki village. Kazan. Republic of Tatarstan. Russia. E-mail: haris.musin@rambler.ru

МИРСИЯПОВ Nailь Ильясович – ассистент кафедры таксации и экономики лесной отрасли факультета лесного хозяйства и экологии Казанского государственного аграрного университета. SPIN-код: 7893-7128.

420075, ул. Главная, д. 69, к. 1, п. Дербышки, г. Казань, Республика Татарстан, Россия. E-mail: Nail.86@mail.ru

MIRSIYAPOV Nail' I. – Assistant of the Department of Forest Mensuration and Forest Sector Economics, Kazan State Agrarian University. SPIN-code: 7893-7128.

420075. Glavnaya str. 69, build. 1. Derbyshki village. Kazan. Republic of Tatarstan. Russia. E-mail: Nail.86@mail.ru

ГАЛИМУЛЛИН Алим Фиргатович – ассистент кафедры таксации и экономики лесной отрасли факультета лесного хозяйства и экологии Казанского государственного аграрного университета.

420075, ул. Главная, д. 69, к. 1, п. Дербышки, г. Казань, Республика Татарстан, Россия. E-mail: g.alim.f@mail.ru

GALIMULLIN Alim F. – Assistant of the Department of Forest Mensuration and Forest Sector Economics, Kazan State Agrarian University.

420075. Glavnaya str. 69, build. 1. Derbyshki village. Kazan. Republic of Tatarstan. Russia. E-mail: g.alim.f@mail.ru