

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

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛОТНОСТИ
ДРЕВЕСИНЫ СОСНЯКОВ (*PINUS SYLVESTRIS* L.)
НА ПОСТАГРОГЕННЫХ ПОЧВАХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН**

Введение. Плотность древесины и содержание сухого вещества в компонентах фитомассы деревьев и древостоев являются ключевыми признаками, дающими сведения о механических свойствах древесины и полезную информацию для многих промышленных и научных целей [Перельгин, Уголев, 1971; Полубояринов, 1976; Лавров, 2015; Усольцев, Цепордей, 2020; Rodriguez et al., 2016; Rosner, 2017].

Плотность влияет на многие физические свойства древесины и дает хорошее представление о ее механических свойствах. С ее помощью можно рассчитать содержание сухого вещества, определить весовую продуктивность древостоев, дать объективную оценку эффективности лесохозяйственных мероприятий. О.И. Полубояринов [1976] показал, что изменения в анатомическом строении древесины лежат в основе колебаний ее плотности.

Знание свойств древесины позволяет разрабатывать эффективные технологические процессы ее переработки, а также делает возможным выращивание древесины с заданными свойствами. Древесина – это материал биологического происхождения, для которого характерна вариативность свойств. Это связано с особенностями биологического развития дерева в онтогенезе. Свойства древесины варьируются как по высоте, так и по сечению ствола [Тюрин и др., 2024]. На показатели изменчивости сильно влияют условия произрастания дерева. Климатические условия оказывают большое влияние на формирование плотности, особенно в раннем возрасте. Формирование плотности древесины зависит от широтной зональности и климатического региона; влияние расстояния между деревьями и класса роста насаждений не оказывает существенного влияния на формирование плотности древесины в зрелом возрасте [Clark, Saucier, 1989; Kantieva et al., 2021].

Расстояние между деревьями оказывает существенное влияние на формирование плотности древесины в стволе дерева в менее благоприятных условиях произрастания в лесостепной зоне, а также в континенталь-

ном и умеренно континентальном климате. Изменчивость погодных условий является определяющим фактором роста деревьев в лесостепи [Fujimoto, Koga, 2010; Kiseleva et al., 2020]. Увеличение широтной зональности способствует увеличению плотности древесины в древостоях в зоне муссонного климата, в зоне той же зональности (восточные регионы Российской Федерации) [Костенко, 2012].

Сосновые молодняки на постагrogenных землях существенно отличаются от древостоев естественного происхождения в регионе исследования по состоянию, росту и дифференциации деревьев, строению и нуждаются в особых подходах к их изучению.

Исследованию плотности древесины хвойных на бывших сельскохозяйственных землях посвящён ряд работ для европейской части РФ, однако для региона исследования публикации фактически отсутствуют [Лохов, 2011; Голубева, Наквасина, 2017; Грибов и др., 2020; Януш, Данилов, 2020; Danilov et al., 2018]. В связи с этим целью проведенного исследования являлось выявление закономерностей формирования показателей плотности древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в насаждениях, произрастающих в различных районах Республики Татарстан на постагrogenных землях.

Объекты и методика исследования. На основании анализа картографических и лесоустроительных материалов Республики Татарстан были отобраны участки залежных земель, к настоящему времени занятые сосновыми насаждениями. Были охвачены объекты с различающимися сроками прекращения использования под пашню. Средний возраст соснового элемента леса по объектам на бывших пахотных землях составлял от 10 до 55 лет, что позволило сделать обоснованные выводы по различным возрастным этапам. Естественно сформировавшиеся молодняки имели незначительную примесь березы (*Betula pendula* Roth) в составе. Схема опыта представляла из себя три естественно сформировавшихся молодняка и контрастный к ним лесокультурный объект. Также для сравнительного анализа формирования плотности на бывшей пашне и на лесных почвах в сходных лесоклиматических условиях региона был выбран участок соснового древостоя естественного происхождения возрастом 85 лет, тип лесорастительных условий – А2-В2.

На каждом участке были заложены пробные площади (далее – ПП), руководствуясь ОСТ 56-69-83. Лесоводственно-таксационные показатели исследуемых насаждений на 2023 г. приведены в табл. 1. В древостоях средним возрастом 55 и 85 лет проводился сплошной перечет деревьев на площадках

0,25 га (по ступеням толщины с шагом 2 см), в молодняках учет проводился методом круговых площадей [Грязькин, 1997]. На ПП были сделаны прикопки для определения почвенно-грунтовых условий [Чертов, 1981].

Таблица 1

Таксационные характеристики насаждений по объектам исследования

Taxation characteristics of stands according to research objects

№ ПП	А _{ср} , лет		Н _{ср} , м		D _{ср} , см		Густота, тыс. шт./га		М, м ³
	С	Б	С	Б	С	Б	С	Б	
Бугульминский р-н РТ, Петровское л-во, ЕВ, выщелоченный постагрогенный чернозем									
ПП-1	15	11	4,8	5,0	6,2	10	8,7	0,2	101
ПП-2	15	11	4,2	4,7	6,8	11	7,2	0,1	92
Лаишевский р-н РТ, Пригородное л-во, Столбищенское уч. л-во, ЕВ, песчаный серый агрозём									
ПП-1	11	11	2,8	4,6	10	6,1	5,1	0,1	44
ПП-2	12	11	3,2	4,1	8,8	5,6	4,2	0,1	40
Высокогорский р-н РТ, Высокогорское уч. л-во, ЕВ, суглинистый серый агрозем									
ПП-1	12	11	4,2	5,1	4,2	6,1	6,8	0,3	82
ПП-2	12	11	4,6	4,5	4,8	5,6	5,2	0,2	61
Пестречинский р-н РТ, Шигалеевское поселение, склоновые противоэрозионные ЛК на бывшей пашне, суглинистый серый агрозем									
ПП-1	10	–	3,5	–	4,4	–	3,5	–	37
ПП-2	10	–	3,6	–	4,6	–	3,6	–	39
Лаишевский р-н РТ, Пригородное л-во, Столбищенское уч. л-во, ЛК на старопашотных почвах, песчаная серая почва									
ПП-1	55	–	19,1	–	20	–	0,8	–	255
ПП-2	55	–	20,1	–	22	–	0,8	–	260
Лаишевский р-н РТ, Пригородное л-во, Матюшинское уч. л-во, ЕВ, песчаная серая почва									
ПП-1	85	–	23,5	–	32	–	0,7	–	210

Примечание: здесь и далее А_{ср} – средний возраст элемента леса; Н_{ср} – средняя высота ствола; D_{ср} – средний диаметр ствола; М – общий запас; РТ – Республика Татарстан; ЕВ – естественно возобновившееся насаждение; ЛК – лесные культуры; С – сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*); Б – береза повислая (*Betula pendula*); уч. л-во – участковое лесничество

Средние данные по рядам распределения деревьев сосны по ступеням толщины в молодняках приведены на рис. 1. В естественных древостоях сосны наблюдается близкое к нормальному распределение стволов деревьев. В культурах имеется правый скос кривой распределения ступеней, что, вероятно, связано с регулярным размещением деревьев.

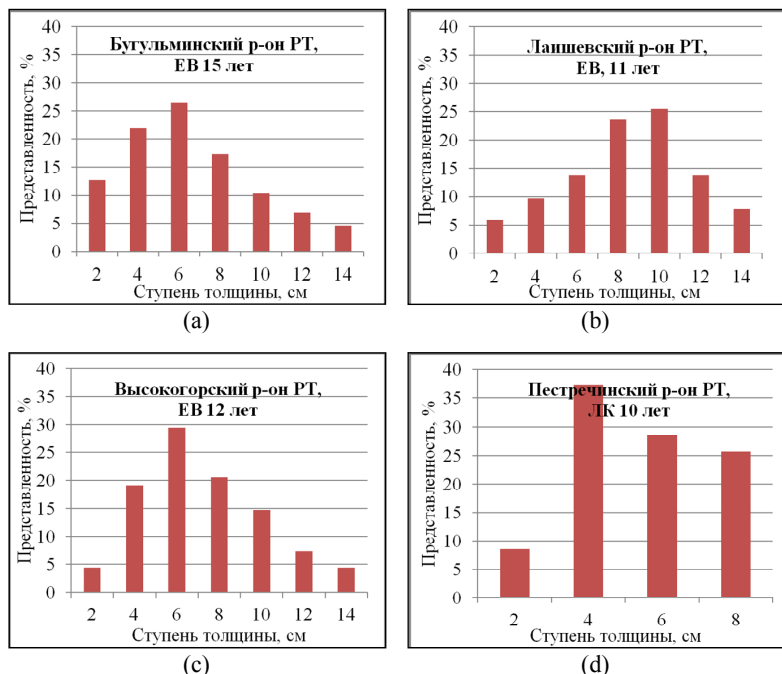


Рис. 1. Ряды распределения по ступеням толщины насаждений сосны в молодняках на бывших пахотных землях: (а) Бугульминский р-н РТ; (б) Лаишевский р-н РТ; (с) Высокогорский р-н РТ; (д) Пестречинский р-н РТ

Fig. 1. Tree distribution according to the thickness stages of young pine stands: (a) Bugulminsky district of the Republic of Tatarstan; (b) Laishevsky district; (c) Vysokogorsky district; (d) Pestrechinsky district

На объектах возрастом 55 и 85 лет распределение имеет скос в сторону крупных ступеней толщины. В культурах 55 лет наиболее представлены деревья 20 см ступени толщины (31%).

На опытных объектах проводился отбор модельных деревьев по представленным ступеням толщины с последующей их валкой и раскряжкой. Всего было изучено 12 моделей в насаждениях 55 лет и 32 образца в насаждениях до 15 лет (охвачены наиболее представленные ступени тол-

щины). Подход к отбору образцов с модельных деревьев различался в связи с возрастом объектов: для молодняков до 15 лет диски отбирались через каждый метр длины ствола, а для насаждений возрастом 55 лет отбор был произведен с интервалом в 10% от длины ствола [Полубояринов, 1976]. Определялась базисная плотность образцов древесины по секторам дисков методом максимальной влагоемкости согласно методике, предложенной проф. О.И. Полубояриновым; средняя плотность дерева рассчитывалась как средневзвешенная в соответствии с объемом древесины, представляемой сектором образца [Полубояринов, 1976].

Достоверность различий показателей базисной плотности по объектам оценивалась с помощью дисперсионного анализа [Доспехов, 2011]. В дальнейшем составлялись регрессионные уравнения определения базисной плотности древесины с высоты отбора образца на высоте 1,3 м от уровня почвы [Полубояринов, 1976; Данилов, 2017; Усольцев, Цепордей 2020]. Применимость предложенных уравнений оценивалась с помощью коэффициента детерминации R^2 [Доспехов, 2011].

Результаты исследования. В ходе проведенного исследования были получены показатели средней базисной плотности древесины ствола на модельных деревьях по ступеням толщины насаждения. По сосновым молоднякам данные представлены в табл. 2.

Таблица 2

Средняя базисная плотность ствола сосны ($\text{кг}/\text{м}^3$) по ступеням толщины в молодняках на опытных объектах

The average basis density of the spruce trunk according to diameter classes (kg/m^3) at experimental sites

	Ступень толщины ствола, см						
	2	4	6	8	10	12	14
Бугульминский р-н РТ, ЕВ 15 лет, выщелоченный постагрогенный чернозем							
$\rho_{\text{ср. баз.}}$	—	410,7	359,1	383,7	426,6	398,9	358,9
Лаишевский р-н РТ, ЕВ 11 лет, песчаный серый агрозём							
$\rho_{\text{ср. баз.}}$	—	281	249	267	291	340	284
Высокогорский р-н РТ, ЕВ 12 лет, суглинистый серый агрозем							
$\rho_{\text{ср. баз.}}$	380,2	380,4	370,7	232,7	312,7	351,2	365,9
Пестречинский р-н РТ, склоновые противозерозийные ЛК на бывшей пашне 10 лет, суглинистый серый агрозем							
$\rho_{\text{ср. баз.}}$	304,6	365,7	309,7	306,9	—	—	—

Примечание: $\rho_{\text{ср. баз.}}$ – средняя базисная плотность древесины ствола сосны, $\text{кг}/\text{м}^3$

Распределения плотности по ступеням толщины для лесных культур на старопашотных почвах и на лесной почве старших возрастов приведены на рис. 2. В естественных и в искусственных насаждениях региона средняя плотность древесины ствола снижается с увеличением диаметра дерева на данных возрастных этапах.

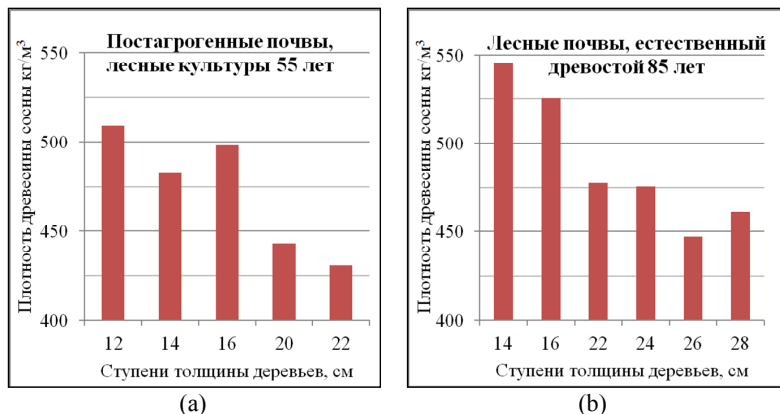


Рис. 2. Средняя плотность древесины ствола сосны по ступеням толщины на песчаных серых почвах в Лаишевском р-не РТ, Пригородное л-во: (а) Столбищенское уч. л-во, лесные культуры на старопашотных землях; (б) Матюшинское уч. л-во, естественно сформировавшиеся насаждения на лесной почве

Fig. 2. The average density of pine trunk wood according to diameter classes on sandy gray soils in Laishovsky district of the Republic of Tatarstan, Prigorodnoye forestry:

- (a) Stolbishchenskoye district forestry, forest plantations on old fallow lands;
- (b) Matyushinskoye district forestry, naturally formed plantations on forest soils

Дисперсионный анализ показал значимое влияние почвенного фактора на показатели плотности древесины ствола для молодняков по критерию Фишера ($F_{расч} = 13,08$ при $F_{0,05} = 2,70$). Региональные различия по молоднякам сосны подтверждаются при пошаговом анализе между древостоями сосны, возобновившимися на почвенных разностях в районах региона исследования (табл. 3). Для суглинистых серых агроземов в культурах и в естественно сформировавшихся древостоях средняя плотность древесины ствола значимо не различается.

Показатели средней плотности древесины ствола сосны в древостоях на старопашотных почвах (55 лет) и объекте на лесных почвах (85 лет), расположенных на песчаных серых почвах Лаишевского района РТ, имели разные показатели (рис. 2). Однако проведенный дисперсионный анализ не подтвердил значимость этих различий ($F_{расч} = 0,41$ при $F_{0,05} = 2,70$).

Таблица 3

**Дисперсионный анализ различий показателей плотности древесины
ствола сосны в молодняках по *t*-критерию Стьюдента**

**Analysis of variance of differences in the wood density of pine trunks
of young stands by Student's *t*-test**

Сравниваемые пары районов исследования	<i>t</i>	<i>p-value</i>
Выщелоченные чернозёмы постагрогенные (ЕВ, Бугульминский р-н РТ) и песчаные серые агрозёмы (ЕВ, Лаишевский р-н РТ)	6,71	0,001
Выщелоченные чернозёмы постагрогенные (ЕВ, Бугульминский р-н РТ) и суглинистые серые агрозёмы (ЕВ, Высокогорский р-н РТ)	2,64	0,018
Песчаные серые агрозёмы (Лаишевский р-н РТ) и суглинистые серые агрозёмы (Высокогорский р-н РТ)	-2,90	0,012
Суглинистые серые агрозёмы (ЛК, Пестречинский р-н РТ) и выщелоченные чернозёмы постагрогенные (ЕВ, Бугульминский р-н РТ)	-4,24	0,001
Суглинистые серые агрозёмы (ЛК, Пестречинский р-н РТ) и песчаные серые агрозёмы (ЕВ, Лаишевский р-н РТ)	2,33	0,035
Суглинистые серые агрозёмы (ЛК, Пестречинский р-н РТ) и суглинистые серые агрозёмы (ЕВ, Высокогорский р-н РТ)	-0,99	0,341

Примечание: *t* – расчетное значение *t*-критерия Стьюдента; *p-value* – расчетный уровень значимости при тестировании с использованием *t*-критерия

На основании проведённых исследований плотности древесины сосны с использованием модельных деревьев был получен ряд данных по взаимосвязи показателей базисной плотности на высоте 1,3 м от уровня почвы со средней базисной плотностью всего ствола по районам исследования в Республике Татарстан. Была использована линейная аппроксимация полученных данных, регрессионные уравнения приведены в табл. 4. Несмотря на отсутствие значимых различий (табл. 3), в показателях по суглинистым агроземам приведены различные уравнения по объектам исследования, т.к. они показали разное качество предсказания модели (по R^2).

Коэффициенты линейного уравнения при переменной и свободный член являются сходными для естественно возобновившихся сосновых молодняков, однако для десятилетних лесных культур связь показателей плотности на высоте груди и общей плотности ствола не такая сильная и не столь обуславливается линейным уравнением. Для древостоев 55 и 85 лет свободный член предложенных уравнений достаточно высок, что показывает значительное смещение от начала координат.

Таблица 4

Линейные уравнения зависимости средней базисной плотности древесины ствола сосны ($\text{кг}/\text{м}^3$) от показателя на высоте 1,3 м по опытным объектам

Linear equations of dependence of average basic density of pine trunk wood (kg/m^3) on the basic density at a height of 1.3 m on experimental sites

Район, объект	Уравнение	R^2
Выщелоченные чернозёмы постагрогенные (ЕВ 15 лет, Бугульминский р-н РТ)	$y = 0,88x + 62,63$	0,83
Песчаные серые агроземы (ЕВ 11 лет, Лаишевский р-н РТ)	$y = 0,80x + 78,84$	0,84
Суглинистые серые агроземы (ЕВ 12 лет, Высокогорский р-н РТ)	$y = 0,85x + 59,80$	0,85
Суглинистые серые агроземы (ЛК 10 лет, Пестречинский р-н РТ)	$y = 1,10x - 25,84$	0,64
Песчаные серые почвы (ЛК 55 лет на старопахотных почвах, Лаишевский р-н РТ)	$y = 0,51x + 204,50$	0,85
Песчаные серые почвы (естественный древостой 85 лет на лесных почвах, Лаишевский р-н РТ)	$y = 1,03x - 77,16$	0,77

Примечание: y – средняя базисная плотность древесины ствола сосны, $\text{кг}/\text{м}^3$; x – базисная плотность древесины сосны на высоте 1,3 метра

Закключение. Сосновые древостои Республики Татарстан формируют различную плотность стволовой древесины в зависимости от региона произрастания. Лесные культуры 55 лет, произрастающие на старопахотных землях, сформировали относительно сходную по плотности стволовую древесину с древостоями естественного происхождения старшего возраста, при этом опережая их по запасу. Таким образом, фитомасса древесины таких культур уже в 55 лет превышает фитомассу естественных древостоев 85 лет в сходных почвенных условиях региона. Различающиеся почвенно-грунтовые условия оказали достоверное влияние на формирование плотности древесины в молодняках. В молодняках естественного происхождения на бывшей пашне полученные в ходе исследования регрессионные уравнения имеют достаточный уровень коэффициента детерминации (R^2) и, следовательно, могут быть использованы для определения средней плотности древесины ствола и в дальнейшем стволовой фитомассы сосновых насаждений, произрастающих на постагрогенных землях Республики Татарстан.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Голубева Л.В., Наквасина Е.Н. Трансформация постагрогенных земель на карбонатных отложениях: монография. Архангельск: Консультационное информационно-рекламное агентство, 2017. 152 с.

Грибов С.Е., Корчагов С.А., Хамитов Р.С., Евдокимов И.В. Производительность древостоев, сформировавшихся на землях сельскохозяйственного назначения // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2020. Т. 24, № 6. С. 19–25. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-19-25

Грязькин А.В. Патент № 2084129, Российская Федерация, МКИ С 6 А 01 G 23/00. Способ учета подроста. № 940223. Оpubл. 20.07.97. Бюл. № 20.

Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2011. 350 с.

Костенко Н.А. Влияние плотности древесины на производительность лесозаготовительной системы машин, используемых в Амурской области // Вестник КрасГАУ. 2012. № 2. С. 187–191.

Лавров М.Ф. Составление карт распределения плотности в поперечных и продольных сечениях ствола дерева // Наука и образование. 2015. № 2. С. 78–84.

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.

Перельгин Л.М., Уголев Б.Н. Древесиноведение. М.: Лесн. пром-сть, 1971. 288 с.

Полубояринов О.И. Плотность древесины. М.: Лесная промышленность, 1976. 160 с.

Тюрин Д.С., Зайцев Д.А., Данилов Д.А. Структура надземной фитомассы ели и сосны в плантационных насаждениях, выращиваемых по короткой ротации // Труды СПбНИИЛХ. 2024. № 1. С. 4–18. DOI: 10.21178/2079-6080.2024.1.4

Усольцев В.А., Цепордей И.С. Квалиметрия фитомассы лесных деревьев: плотность и содержание сухого вещества: монография. Екатеринбург: УГЛТУ, 2020. 179 с.

Чертов О.Г. Экология лесных земель (почвенно-экологическое исследование лесных местообитаний). Л.: Наука, 1981. 192 с.

Януш С.Ю., Данилов Д.А. Таксационная и товарная структура древостоев сосны и ели на старопахотных и лесных почвах в Ленинградской области // Труды СПбНИИЛХ. 2020. № 4. С. 54–64. DOI: 10.21178/2079-6080.2020.4.54

Clark A., Saucier J.R. Influence of initial planting density, geographic location, and species on juvenile wood formation in southern pine // Forest Products Journal. 1989. Vol. 39, iss. 7/8. P. 42–48.

Danilov D., Janusz S., Belyaeva N. 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.

Fujimoto T., Koga S. An application of mixed-effects model to evaluate the effects of initial spacing on radial variation in wood density in Japanese larch (*Larix kaempferi*) // Journal of Wood Science. 2010. Vol. 56. P. 7–14. DOI: org/10.1007/s10086-009-1045-1.

Kantieva E., Snegireva S., Platonov A. Formation of density and porosity of pine wood in a tree trunk // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 875, iss. 1. P. 1–6. DOI:10.1088/1755-1315/875/1/012016.

Kiseleva A.V., Snegireva S.N., Platonov A.D., Pinchevska O.A. Density formation along the trunk radius in various wood species based on latitudinal or altitudinal zoning // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 595, iss. 1. Art. no. 012055. DOI:10.1088/1755-1315/595/1/012055.

Rodriguez H.G., Maiti R., Kumari A., Sarkar N.C. Variability in wood density and wood fibre characterization of woody species and their possible utility in North-eastern Mexico // American Journal of Plant Sciences. 2016. Vol. 7. P. 1139–1150. DOI:10.4236/ajps.2016.77109.

Rosner S. Wood density as a proxy for vulnerability to cavitation: size matters // Journal of Plant Hydraulics. 2017. Vol. 4. P. 1–10. DOI:10.20870/jph.2017.e001.

References

Chertov O.G. Ecology of forest lands (soil-ecological study of forest habitats). Leningrad: Nauka, 1981. 192 p. (In Russ.)

Clark A., Saucier J.R. Influence of initial planting density, geographic location, and species on juvenile wood formation in southern pine. *Forest Products Journal*, 1989, vol. 39, iss. 7/8, pp. 42–48.

Danilov D., Janusz S., Belyaeva N. 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

Dospekhov B.A. Methodology of field experiment (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Alliance, 2011. 350 p. (In Russ.)

Fujimoto T., Koga S. An application of mixed-effects model to evaluate the effects of initial spacing on radial variation in wood density in Japanese larch (*Larix kaempferi*). *Journal of Wood Science*, 2010, vol. 56, pp. 7–14. DOI: org/10.1007/s10086-009-1045-1.

Golubeva L.V., Nakvasina E.N. Transformation of post-agrogenic lands on carbonate sediments: a monograph. Arkhangelsk: Consulting Information and Advertising Agency, 2017. 152 p. (In Russ.)

Gribov S.E., Korzhagov S.A., Khamitov R.S., Evdokimov I.V. Productivity of forest stands formed on agricultural lands. *Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, iss. 6, pp. 19–25. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-6-19-25. (In Russ.)

Gryazkin A.V. Patent No. 2084129, Russian Federation, IPC C 6 A 01 G 23/00. Method for recording undergrowth. № 940223. Publ. 20.07.97. Byul. № 20. (In Russ.)

Kantieva E., Snegireva S., Platonov A. Formation of density and porosity of pine wood in a tree trunk. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 875, iss. 1, pp. 1–6. DOI:10.1088/1755-1315/875/1/012016.

Kiseleva A.V., Snegireva S.N., Platonov A.D., Pinchevska O.A. Density formation along the trunk radius in various wood species based on latitudinal or altitudinal zoning. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 2020, vol. 595, iss. 1, art. no. 012055. DOI:10.1088/1755-1315/595/1/012055.

Kostenko N.A. The influence of wood density on the productivity of the logging system of machines used in the Amur region. *The Bulletin of KrasGAU*, 2012, vol. 2, pp. 187–191. (In Russ.)

Lavrov M.F. Compilation of density distribution maps in transverse and longitudinal sections of a tree trunk. *Science and Education*, 2015, vol. 2, pp. 78–84. (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.)

Perelygin L.M., Ugolev B.N. Wood science. Moscow: Lesn. prom-st', 1971. 288 p. (In Russ.)

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

Rodriguez H.G., Maiti R., Kumari A., Sarkar N.C. Variability in wood density and wood fiber characterization of woody species and their possible utility in Northeastern Mexico. *American Journal of Plant Sciences*, 2016, vol. 7, pp. 1139–1150. DOI:10.4236/ajps.2016.77109.

Rosner S. Wood density as a proxy for vulnerability to cavitation: size matters. *Journal of Plant Hydraulics*, 2017, vol. 4, pp. 1–10. DOI:10.20870/jph.2017.e001.

Tyurin D.S., Zaitsev D.A., Danilov D.A. Structure of aboveground phytomass of spruce and pine in plantation stands grown by short rotation. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2024, vol. 1, pp. 4–18. DOI: 10.21178/2079-6080.2024.1.4. (In Russ.)

Usoltsev V.A., Tsepordei I.S. Qualimetry of phytomass of forest trees: density and dry matter content: a monograph. Yekaterinburg: USFTU, 2020. 179 p. (In Russ.)

Yanush S.Yu., Danilov D.A. Taxation and commodity structure of pine and spruce stands on old arable and forest soils in the Leningrad region. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2020, vol. 4, pp. 54–64. DOI: 10.21178/2079-6080.2020.4.54. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 11.11.2024

Гибадуллин Н.Ф., Зайцев Д.А., Бачериков И.В., Мусин Х.Г., Мирсияпов Н.И., Галимуллин А.Ф. Особенности формирования плотности древесины сосняков (*Pinus sylvestris* L.) на постагrogenных почвах Республики Татарстан // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 255. С. 103–117. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.255.103-117

В настоящее время большое количество земель, ранее использовавшихся в сельском хозяйстве, выведено из активного хозяйственного оборота, и на этих участках идёт процесс восстановления аборигенной лесной растительности. Данные участки постагрогенных земель представляют интерес для изучения закономерностей формирования не только запаса, но и плотности древесины. В ходе исследования проведена комплексная оценка сосновых древостоев, произрастающих на бывших пахотных землях Республики Татарстан. Опыт проведен по двум направлениям: серия объектов на различных по характеру агроземах в четырех районах республики (молодняки возрастом 10–15 лет, в том числе лесные культуры), и объект на старопашотных почвах (культуры возрастом 55 лет) с контрастным к нему естественно сформировавшимся древостоем (85 лет в сходных почвенно-грунтовых условиях на лесных почвах). На опытных объектах были заложены пробные площади, на которых проводился учет растительности и осуществлялся отбор модельных деревьев сосны с последующей их раскряжкой. Используя полученные наборы дисков древесины с моделей, была посекторно определена их базисная плотность и в дальнейшем проведен расчет средней базисной плотности ствола по ступеням толщин древостоя. Были выявлены закономерности формирования плотности древесины сосновых древостоев на постагрогенных почвах и предложены регрессионные уравнения по взаимосвязи показателей базисной плотности древесины на высоте 1,3 м от уровня почвы со средней базисной плотностью всего ствола по районам исследования. Регрессионные уравнения имеют достаточный уровень коэффициента детерминации (R^2) и могут быть использованы для определения средней плотности древесины ствола и в дальнейшем стволовой фитомассы сосновых насаждений, произрастающих на постагрогенных землях Республики Татарстан.

Ключевые слова: плотность древесины, древостои сосны, постагрогенные земли, старопашотные почвы, регрессионные уравнения.

Gibadullin N.F., Zaytsev D.A., Bacherikov I.V., Musin H.G., Mirsiyapov N.I., Galimullin A.F. Features of wood density formation in pine forests (*Pinus sylvestris* L.) on postagrogenic soils of the republic of Tatarstan. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2025, iss. 255, pp. 103–117 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.255.103-117

Currently, a large number of lands previously used in agriculture have been removed from active economic circulation, and the process of restoring native forest vegetation is underway in these areas. These areas of post-agrogenic lands are of interest for studying the patterns of formation of not only the wood stock, but also the density of wood. In the process of the study, a comprehensive assessment of pine stands growing on the former arable lands of the Republic of Tatarstan was carried out. The experiment was conducted in two directions: a series of objects on different

types of post-agrogenic soils in four regions of the republic (young stands aged 10–15 years, including forest plantations), and an object on old arable soils (forest plantations aged 55 years) with a contrasting naturally formed stand (85 years in similar soil conditions on forest soils). Trial sites were laid out at the experimental objects, where vegetation was recorded and model pine trees were selected, followed by their felling. Using the obtained sets of wood discs from the models, their basic density was determined sectorially and then the average basic density of the trunk was calculated according to the diameter classes of the stand. Patterns of wood density formation in pine stands on post-agrogenic soils were determined and regression equations were proposed for the relationship of the basic density of wood at an altitude of 1.3 m from the soil level with the average basic density of the entire trunk in the study areas. The regression equations have a sufficient level of the coefficient of determination (R^2) and can be used to determine the average density of the trunk wood and subsequently the stem phytomass of pine plantations growing on the post-agrogenic lands of the Republic of Tatarstan.

Keywords: wood density, pine stands, post-agrogenic lands, old arable soils, regression equations.

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, St.Petersburg Forestry 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 of «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 Наиль 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