

УДК 630*811.15:582.475:630*237.4

DOI: 10.37482/0536-1036-2020-4-68-76

МИКРОСТРУКТУРА ДРЕВЕСИНЫ КУЛЬТУР СОСНЫ РАЗЛИЧНОЙ ИСХОДНОЙ ГУСТОТЫ НА ОСУШЕННОЙ ТОРФЯНОЙ ПОЧВЕ ПОСЛЕ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ И ГЕРБИЦИДОВ

Я.А. Неронова, канд. с.-х. наук, мл. науч. сотр.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3703-0898>

Институт леса Карельского НЦ РАН, ул. Пушкинская, д. 11, г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910; e-mail: neronovaya@mail.ru

На северо-западе таежной зоны применение способов ускоренного лесовыращивания хвойных насаждений является наиболее перспективным направлением для обеспечения постоянной устойчивой работы крупных лесоперерабатывающих предприятий. Применение минеральных удобрений и гербицидов создает более оптимальные условия для роста древостоев, что вызывает увеличение прироста древесины. Получение наиболее ценных высококачественных сортиментов находится в зависимости от величины и анатомического строения радиального прироста. Изучено последствие применения удобрений и гербицидов на анатомическое строение древесины плантационных культур сосны различной исходной густоты на осушенной торфяной почве. Изменение двух таких качественных характеристик, как доля поздней древесины и плотность, напрямую связано с анатомическим строением древесины. Применение минеральных удобрений в культурах сосны, созданных густотой 4 и 2 тыс. шт./га, увеличило количество рядов ранних трахеид в процессе их роста, внесение удобрений и гербицидов в культурах сосны густотой 1 тыс. шт./га вызвало постепенное снижение числа рядов ранних трахеид. Число рядов поздних трахеид в древесине культур, созданных различной густотой, увеличилось при комбинированном воздействии минеральных удобрений и гербицидов. Общее количество рядов трахеид в годичном кольце также возросло в древесине культур с исходной густотой 4 и 2 тыс. шт./га, комбинированное использование минеральных удобрений и гербицидов в культурах густотой 1 тыс. шт./га уменьшило общее количество рядов трахеид. Снижение плотности получаемой древесины можно объяснить формированием тонкостенных трахеид в ранней и поздней древесине годичного кольца под воздействием удобрений и гербицидов, а в культурах с исходной с густотой 4 тыс. шт./га применение удобрений и гербицидов приводит к образованию толстостенных ранних и поздних трахеид. Внесение удобрений в культурах сосны, созданных с густотой 1 и 2 тыс. шт./га, способствовало формированию ранних и поздних трахеид большего диаметра, а в культурах, созданных с густотой 4 тыс. шт./га, произошло формирование трахеид меньшего размера. Совместное воздействие удобрений и гербицидов в культурах различной густоты увеличило размер поздних трахеид, а в культурах с густотой 4 тыс. шт./га снизило диаметр люмена ранних трахеид. Сопоставив полученные данные с нормативами ГОСТ 968–68 и лаборатории сырья ВНИИБ, установили, что создание культур сосны различной густоты на осушенной торфяной почве с применением удобрений и гербицидов может быть нацелено на получение балансовой древесины (I и II категория) и высококачественного пиловочника общего назначения.

Для цитирования: Неронова Я.А. Микроструктура древесины культур сосны различной исходной густоты на осушенной торфяной почве после применения удобрений и гербицидов // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 4. С. 68–76. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-4-68-76

Финансирование: Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт леса КарНЦ РАН).

Ключевые слова: плантационные культуры сосны, микроструктура древесины, удобрения, гербициды, число рядов трахеид, толщина стенки трахеид, диаметр люмена трахеид.

Введение

Вследствие длительной эксплуатации продуктивных хвойных насаждений в настоящее время ощутима нехватка балансов и пиловочника высокого качества. В условиях переходных торфяных почв необходимым и эффективным способом восстановления потенциала таежных лесов является гидролесомелиорация и создание культур [11, 19]. Вопрос изучения качественных характеристик и эксплуатации древесины, выращенной в лесных культурах, остается малоизученным [14]. В имеющихся литературных данных недостаточно сведений о качестве сосновой древесины, полученной на осушенных торфяных почвах, для использования в целлюлозно-бумажной промышленности [3, 11].

Данные по основным качественным анатомическим характеристикам древесины хвойных дают полную информацию об изменении ее строения в растущем дереве [5].

Улучшением условий роста древостоя можно добиться увеличения ширины годичных слоев, интенсивности работы камбия и размеров трахеид [8, 9, 11–13, 15, 17, 20]. Имеются литературные данные о значительном влиянии на качество древесины соотношения объемов клеточных стенок и полостей клеток [9]. Основными характеристиками, используемыми для оценки качества древесины хвойных, являются число рядов ранних и поздних трахеид в пределах годичного кольца; радиальный диаметр люмена; толщина клеточной стенки трахеид.

Цель исследования – анализ влияния и последствия применения удобрений и гербицидов на анатомическое строение древесины плантационных культур сосны различной исходной густоты, произрастающих на осушенной торфяной почве.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлись 40-летние плантационные культуры сосны на осушенной переходной торфяной почве (кв. 30 Киндасовского лесничества Пряжинского мехлесхоза Республики Карелия), созданные с разной исходной густотой. Схема опыта включала 3 варианта по три секции в каждом. В каждом варианте по густоте посадки (1, 2 и 4 тыс. шт./га) выделялись секции с применением минеральных удобрений, удобрений с гербицидами и контрольные участки (табл. 1).

Гидролесомелиорация была проведена в 1973 г. Расстояние между каналами – 120 м. Мощность торфяной залежи в пределах участка – 90...120 см; зольность почвы – 6...8 %; степень разложения торфа – 15...30 %. Культуры созданы посадкой 3-летних семян сосны в плужные пласты под меч Колесова весной 1977 г. Расстояние между центрами борозд – 6 м, между рядами культур – 3 м. Все борозды выведены в осушитель [4].

Таблица 1

Таксационная характеристика плантационных культур сосны

Густота, тыс. шт./га	Вариант	Диаметр на высоте 1,3 м, см	Высота, м	Запас, м ³ /га	Класс бонитета	Относительная полнота
1	Контроль	13,8	9,8	83	III	0,72
	Удобрения	19,9	14,1	205	I	1,10
	Удобрения + гербициды	18,0	13,8	183	I	0,99
2	Контроль	12,9	9,5	106	III	0,98
	Удобрения	17,8	13,8	215	I	1,14
	Удобрения + гербициды	18,4	13,8	223	I	1,03
4	Контроль	13,0	11,1	155	II	1,16
	Удобрения	15,5	14,6	276	I	1,38
	Удобрения + гербициды	15,5	13,8	253	I	1,36

Бутиловый эфир 2,4-Д применялся для уничтожения поросли лиственных пород на 2-й и 5-й годы роста культур. На 2-й год выращивания вносились азотные (N) и фосфорные (P) удобрения из расчета $N_{50}P_{50}$ по д. в.; на 5-й – азотные (N), фосфорные (P), калийные (K) из расчета $N_{100}P_{100}K_{100}$ по д.в.; на 10-й – из расчета $N_{100}P_{200}K_{100}$ по д. в. (по д. в. – по действующему веществу).

Для устранения конкуренции с травянистой растительностью применялись гербициды: на 2-й год роста – пропазин (7,0 кг/га по д. в.); на 4-й – пропазин (7,0 кг/га по д. в.) с дипиридилфосфатом (2,5 кг/га по д. в.); на 5-й – велпар (7,0 кг/га по д. в.) [4].

Образцы для дальнейших исследований отбирались в 2017 г.

Исследования культур осуществлялись согласно общепринятым в лесной таксации методам [2]. На пробных площадях производился сплошной пересчет деревьев. Диаметр ствола измерялся на высоте 1,3 м. У пяти средних деревьев на высоте 0,15 м с помощью бурава Пресслера отбирались керны для анализа микроструктуры древесины. Анатомическое строение изучалось непосредственно на поперечных срезах кернов толщиной 30 мкм, приготовленных на роторном замораживающем микротоме. Предварительно окрашенные в сафранине срезы фиксировались в глицерине [6]. Основные анатомические характеристики древесины измерялись с помощью программы цифровой обработки компьютерных изображений GIMP 2. Снимки получали с помощью микроскопа Leica DM1000 (см. рисунок).

Для статистической обработки применялись методики, используемые при биологических и лесоводственных исследованиях [7]. Достоверность различий оценивалась с вероятностью 95 %.



Поперечные срезы древесины толщиной 30 мкм, приготовленные на роторном замораживающем микротоме

Cross-sections of wood 30 μm thick cut by a rotary freezing microtome

Результаты исследования и их обсуждение

В результате проведенных лесохозяйственных мероприятий увеличился класс бонитета 40-летних плантационных культур сосны, созданных с различной исходной густотой на осушенной переходной торфяной почве. На вариантах с внесением минеральных удобрений запас древесины превышал показатель контрольного участка на 63,0 %, т. е. в 2,5 раза. Средняя высота в древостое возросла на 24,0...45,0 %, средний диаметр по сравнению с контролем – на 19,0...44,0 %. Имеются данные о влиянии густоты древостоя на конкуренцию деревьев за почвенные и водные ресурсы, а также на особенности формирования кроны в условиях различной освещенности и, как следствие, на величину радиального прироста [16, 21]. Внесение минеральных удобрений в культурах сосны, созданных с густотой 1 тыс. шт./га, привело к значительному увеличению радиального прироста (по сравнению с контролем на 44,2 %). Применение удобрений совместно с гербицидами оказалось наиболее эффективно в культурах, созданных с густотой 2 тыс. шт./га (+42,6 %).

Комбинированное воздействие удобрений и гербицидов вызвало снижение средней доли поздней древесины за весь период наблюдений в культурах разной густоты при сравнении с контрольным вариантом, за исключением совместного применения удобрений с гербицидами в культурах с густотой 2 тыс. шт./га (+1,1 %). Использование удобрений в культурах, созданных с густотой 1 тыс. шт./га, снизило среднее содержание поздней древесины на 24,0 %, с густотой 2 тыс. шт./га – на 21,0 %, 4 тыс. шт./га – на 9,0 %.

Средняя плотность древесины до проведения лесохозяйственных мероприятий составляла (383±6) кг/га. Применение минеральных удобрений способствовало формированию древесины с пониженной плотностью в культурах, созданных с густотой 4 тыс. шт./га – 8,0 %, 1 тыс. шт./га – 21,7 %. Комбинированное воздействие минеральных удобрений и гербицидов снизило плотность древесины в культурах различной густоты (4 тыс. шт./га – на 3,7 %; 1 тыс. шт./га – на 7,1 %). В культурах с исходной густотой 2 тыс. шт./га колебания в значениях плотности были несущественными (1,0...4,0 %). Следовательно, изменения в анатомическом строении древесины непосредственно связаны с изменениями таких характеристик, как доля поздней древесины и плотность.

В результате комплексного применения удобрений и гербицидов на варианте 2 тыс. шт./га среднее количество рядов ранних трахеид увеличилось на 27,3 %, на варианте 4 тыс. шт./га – на 44,4 %. Постепенное снижение числа рядов ранних трахеид (удобрения – на 56,0 %; удобрения + гербициды – на 45,0 %) происходило в культурах сосны густотой 1 тыс. шт./га. Использование минеральных удобрений вызвало повышение количества рядов ранних трахеид в культурах сосны, созданных густотой 4 тыс. шт./га (+33,0 %) и 2 тыс. шт./га (+5,0 %) в процессе их роста. Количество рядов поздних трахеид увеличилось после проведения лесохозяйственных мероприятий (при густоте 4 тыс. шт./га – +50,0 %; 2 тыс. шт./га – +31,3 %; 1 тыс. шт./га – +6,7 %).

Среднее общее количество рядов трахеид в годичном кольце возросло после проведения лесохозяйственных мероприятий (удобрения+гербициды: 4 тыс. шт./га – +47,0 % и 2 тыс. шт./га – +29,0 %; удобрения: 4 тыс. шт./га – +31,0 %; 2 тыс. шт./га – +3,0 %). Однако в культурах с исходной густотой 1 тыс. шт./га и наибольшим радиальным приростом среднее общее количество рядов трахеид снизилось (удобрения – на 42,0 %; удобрения + гербициды – на 32,0 %), что объясняется изменениями размеров трахеид и согласуется с данными других исследователей [1].

Имеются данные финских ученых [19] о влиянии диаметра и толщины клеточных стенок трахеид на прочность, оптические и печатные свойства получаемой бумаги. Формирование тонкостенных трахеид в ранней и поздней древесине годичного кольца (уменьшение толщины стенки трахеид: 4 тыс. шт./га с удобрениями: поздних – на 6,2 %, ранних – на 14,4 %; 2 тыс. шт./га с удобрениями: поздних – на 6,8 %, ранних – на 15,0 %; удобрения + гербициды: поздних – на 16,6 %, ранних – на 17,0 %; 1 тыс. шт./га с удобрениями: поздних – на 1,7 %, ранних – на 26,0 %; удобрения + гербициды: поздних – на 7,0 %, ранних – на 7,3 %) объясняет снижение плотности получаемой древесины сосны после применения минеральных удобрений и гербицидов (табл. 2).

Таблица 2

Влияние режима выращивания на толщину стенок трахеид древесины сосны в 40-летних культурах, созданных на осушенной торфяной почве

Густота, тыс. шт./га	Вариант	Толщина стенок, мкм, по периодам, лет				Среднее за 1–40 лет
		1–10	11–20	21–30	31–40	
<i>Поздние трахеиды</i>						
1	Удобрения	11,7±2,25	12,1±0,76	14,8±1,53	14,0±1,32	13,1±0,75
	Удобрения+гербициды	10,7±0,45	14,7±3,95	10,8±2,10*	13,5±1,35	12,4±1,01
	Контроль	11,0±0,81	15,4±1,28	14,2±0,05	13,0±1,65	13,4±0,94
2	Удобрения	14,7±2,15	12,6±0,44	13,9±0,55	10,6±0,99*	13,0±0,88
	Удобрения+гербициды	9,0±1,29	13,3±0,43	11,5±0,51*	12,4±0,24	11,6±0,92*
	Контроль	10,6±1,11	14,4±0,53	15,0±0,02	15,6±1,04	13,9±1,13
4	Удобрения	9,1±0,75	11,3±0,26	11,1±0,10*	10,4±0,10	10,5±0,49
	Удобрения+гербициды	11,7±0,37	14,8±1,07	15,0±0,35	13,7±0,85*	13,8±0,76*
	Контроль	8,8±0,50	12,5±1,30	15,2±1,96	8,2±2,32	11,2±1,64
<i>Ранние трахеиды</i>						
1	Удобрения	9,2±1,35	8,4±0,58	11,7±2,79	8,9±0,45	7,1±1,79*
	Удобрения+гербициды	9,1±1,45	8,0±0,29	9,8±1,64	8,4±0,62	8,8±0,40
	Контроль	9,9±0,31	10,4±0,27	10,5±0,03	7,3±0,55	9,5±0,77
2	Удобрения	8,9±1,30	8,3±0,11	9,9±2,91	7,6±0,31*	8,7±0,49
	Удобрения+гербициды	7,7±1,39	9,1±0,13	7,6±0,66*	9,3±0,55	8,4±0,44
	Контроль	8,4±0,67	9,5±0,81	11,1±0,05	11,8±1,29	10,2±0,76
4	Удобрения	8,3±1,66	8,2±0,15	7,7±0,15	5,6±0,10	7,4±0,62
	Удобрения+гербициды	8,6±0,96	11,3±2,15	9,9±2,38	12,3±0,55*	10,5±0,80
	Контроль	8,2±0,60	9,8±0,63	9,4±0,73	7,3±1,10	8,7±0,56

*Существенные различия с контрольным участком (вероятность 0,95 ($t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$)).

Совместное влияние удобрений и гербицидов в культурах с густотой 4 тыс. шт./га способствует формированию толстостенных трахеид (поздних – на +23,6 %; ранних – на +21,2 %).

Комплексный уход (удобрения + гербициды) вызвал образование поздних трахеид большего размера во всех вариантах густоты (4 тыс. шт./га – на +41,8 %, 2 тыс. шт./га – на +27,2 %, 1 тыс. шт./га – на +20,9 %). В поздней зоне древесины культур сосны, созданных с густотой 1 тыс. шт./га (+29,4 %) и 2 тыс. шт./га (+13,1 %), под действием минеральных удобрений происходило формирование трахеид большего размера. На варианте культур, созданных с густотой 4 тыс. шт./га, диаметр люмена поздних трахеид древесины снизился на 1,8 % (табл. 3).

Таблица 3

**Влияние режима выращивания на диаметр люмена трахеид древесины сосны
в 40-летних культурах, созданных на осушенной торфяной почве**

Густота, тыс. шт./га	Вариант	Диаметр люмена, мкм, по периодам, лет				Среднее за 1–40 лет
		1–10	11–20	21–30	31–40	
<i>Поздние трахеиды</i>						
1	Удобрения	38,3±6,89	30,0±2,49	39,3±8,17*	23,5±2,82*	32,8±3,74*
	Удобрения+ гербициды	29,9±11,1	31,2±2,04*	39,1±21,1*	22,3±2,70	30,6±3,45
	Контроль	28,2±1,55	23,2±2,04	30,2±0,05	19,8±7,4	25,3±2,36
2	Удобрения	25,3±6,35	25,1±1,78	23,3±2,63*	34,0±6,36*	27,0±2,39*
	Удобрения+ гербициды	31,7±5,30	28,4±1,43	32,9±0,55*	27,9±0,73*	30,2±1,24*
	Контроль	32,4±3,67	23,9±0,55	19,5±0,03	19,3±3,18	23,8±3,07
4	Удобрения	17,8±0,70	16,5±0,45	24,2±0,20*	15,4±0,30	18,5±1,97
	Удобрения+ гербициды	26,5±1,24	24,0±2,02	26,2±0,47*	30,0±5,75*	27,0±1,23*
	Контроль	16,2±0,75	21,9±5,53	20,9±0,90	16,3±1,37	18,8±1,51
<i>Ранние трахеиды</i>						
1	Удобрения	53,1±5,52	72,2±2,03	52,1±15,0	66,9±1,17	61,1±5,01
	Удобрения+ гербициды	51,4±2,05	75,7±4,72*	40,7±12,1	62,3±3,09	57,5±7,49
	Контроль	51,0±3,97	61,1±5,25	61,0±0,02	63,6±4,80	59,2±2,80
2	Удобрения	72,1±0,75	61,0±2,07	57,3±4,21	52,9±13,8	60,8±4,10
	Удобрения+ гербициды	53,4±8,04	70,1±1,46*	68,9±1,01*	68,2±3,05	65,1±3,92
	Контроль	57,7±5,44	56,3±2,08	57,5±0,13	57,8±6,63	57,3±0,36
4	Удобрения	33,3±3,15	32,1±0,10*	47,5±0,10*	51,5±0,15	41,1±4,92
	Удобрения+ гербициды	53,8±3,07	61,9±2,59	63,5±2,90*	46,9±11,20	56,6±3,85
	Контроль	42,8±3,55	61,2±2,86	69,3±4,17	65,9±5,65	59,8±5,92

*Существенные различия с контрольным участком (вероятность 0,95 ($t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$)).

В ранней зоне древесины отмечено формирование трахеид большего диаметра (при густоте 2 тыс. шт./га – на +6,9 %, 1 тыс. шт./га – на +3,2 %) после применения удобрений (табл. 3). Однако в древесине культур, созданных с густотой 4 тыс. шт./га, происходило формирование ранних трахеид меньшего размера (удобрения – на 31,3 %; удобрения + гербициды – на 5,4 %). Комплексное применение удобрений и гербицидов в культурах с исходной густотой 2 тыс. шт./га увеличило размер ранних трахеид на 13,6 %.

Исходя из полученных в ходе исследования данных установлено, что проведение лесохозяйственных мероприятий с применением минеральных удобрений и гербицидов в культурах, созданных с густотой 1 и 2 тыс. шт./га, оказывает влияние на структуру годичного кольца и способствует формированию тонкостенных трахеид большего размера в ранней и поздней древесине. Применение удобрений в культурах с исходной густотой 4 тыс. шт./га приводит к образованию тонкостенных трахеид меньшего диаметра.

Заключение

В культурах сосны на осушенных торфяных почвах использование удобрений и гербицидов способствует формированию большего числа рядов трахеид, что увеличивает радиальный прирост древесины.

Проведение лесохозяйственных мероприятий с использованием удобрений и гербицидов в культурах с густотой 1 и 2 тыс. шт./га влияет на образование тонкостенных ранних и поздних трахеид большего диаметра; применение только минеральных удобрений способствует формированию тонкостенных трахеид меньшего размера в древесине культур сосны исходной густоты 4 тыс. шт./га. Таким образом, снижение плотности древесины исследуемых культур сосны можно объяснить формированием тонкостенных трахеид в ранней и поздней древесине годичного кольца.

По данным ГОСТ 968–68, нормативам лаборатории сырья Всесоюзного научно-исследовательского института бумаги и на основании полученных результатов исследований качественных характеристик древесины, создание культур сосны различной густоты на осушенной торфяной почве с применением удобрений и гербицидов целесообразно для получения балансовой древесины и высококачественного пиловочника общего назначения. В целлюлозно-бумажной промышленности такое древесное сырье применяется в качестве балансов I категории. В удобренных культурах с исходной густотой 1 и 4 тыс. шт./га рекомендуется древесину использовать в качестве балансов II категории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Абаева К.Т., Серикбаева А.Т. Методы оптимизации густоты посадки сосновых культур // Молодой ученый. 2014. № 2. С. 394–397. [Abaeva K.T., Serikbaeva A.T. Methods for Optimizing the Stocking Rate of Pine Plantations. *Molodoy uchenyy* [Young Scientist], 2014, no. 2, pp. 394–397].
2. Анучин Н.П. Лесная таксация. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 552 с. [Anuchin N.P. *Forest Inventory*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1982. 552 p.].
3. Бабиков Б.В. Устойчивость лесных экосистем на осушенных землях // Мониторинг осушенных лесов: материалы совещ. СПб.: СПбЛТА, 2001. С. 53–55. [Babikov B.V. Sustainability of Forest Ecosystems on Drained Lands. *Monitoring of Drained Forests: Meeting Proceedings*. Saint Petersburg, SPbLTA Publ., 2001, pp. 53–55].
4. Бердников И.А. Опытные плантационные культуры сосны обыкновенной на осушаемых переходных болотах в Карелии // Инновации и технологии в лесном хозяйстве: материалы II Междунар. науч.-практ. конф., СПб: СПбНИИЛХ, 2012. С. 57–63. [Berdnikov I.A. Scots Pine Plantations on Dined Mesotrophic Mires in Karelia. *Innovation and Technology in Forestry Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference*. Saint Petersburg, SPbNIILH Publ., 2012, pp. 57–63].
5. Брюханова М.В., Кирдянов А.В., Свидерская И.В., Почебыт И.П. Влияние погодных условий на анатомическую структуру годичных колец лиственницы Гмелина на севере Средней Сибири // Лесоведение. 2014. № 4. С. 36–40. [Bryukhanova M.V., Kirryanov A.V., Sviderskaja I.V., Pochebyt N.P. Weather Controls of the Tree Rings Anatomical Structure of *Larix gmelinii* in North of Central Siberia. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2014, no. 4, pp. 36–40].
6. Ваганов Е.А., Шашкин А.В. Рост и структура годичных колец хвойных. Новосибирск: Наука, 2000. 232 с. [Vaganov E.A., Shashkin A.V. *Growth and Structure of Coniferous Annual Rings*. Novosibirsk, Nauka Publ., 2000. 232 p.].

7. Ивантер Э.В., Коросов А.В. Элементарная биометрия. Петрозаводск, Изд-во ПетрГУ, 2005. 104 с. [Ivanter E.V., Korosov A.V. *Elementary Biometrics*. Petrozavodsk. PetrGU Publ., 2005. 104 p.]

8. Мелехов В.И., Бабич Н.А., Корчагов С.А. Качество древесины сосны в культурах. Архангельск: АГТУ, 2003. 110 с. [Melekhov V.I., Babich N.A., Korchagov S.A. *Pine Wood Quality in Plantations*. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2003. 110 p.]

9. Полубояринов О.И. Плотность древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 160 с. [Poluboyarinov O.I. *Wood Density*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1976. 160 p.]

10. Полубояринов О.И. Современные тенденции изменения показателей плотности древесины, поступающей на лесоперерабатывающие предприятия // Строение, свойства и качество древесины: симп. Координационного совета по современным проблемам древесиноведения, Москва–Мытищи, 13–17 ноября 1990 г. М., 1990. С. 32–36. [Poluboyarinov O.I. Current Trends in Density Change of Wood Supplied to Wood Processing Enterprises. *Wood Structure, Properties and Quality: Symposium of the Coordinating Council on Current Issues of Wood Science, Moscow-Mytishchi, November 13–17, 1990*. Moscow, 1990 pp. 32–36].

11. Смирнов А.П., Пазухина Г.А. Сравнительная оценка качества древесины высокопродуктивных сосняков на осушенных торфяных почвах // Лесн. журн. 2003. № 1. С. 111–119. [Smirnov A.P., Pazukhina G.A. Comparative Analysis of Wood Quality from High-Productive Pine Stands on Drained Peat Soils. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2003, no. 1, pp. 111–119]. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/6b1/6b1f41fb910d46857c081c1d8aa685c9.pdf>

12. Федотов И.В., Третьяков С.В., Ильинцев А.С. Влияние гидротехнической мелиорации на качество древесины сосны // Изв. СПбЛТА. 2016. Вып. 214. С. 131–140. [Fedotov I.V., Tretjakov S.V., Ilintsev A.S. The Hydraulic Impact of Land Reclamation on the Quality of Pine Wood. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii* [News of the Saint Petersburg State Forest Technical Academy], 2016, iss. 214, pp. 131–140].

13. Чибисов Г.А., Москалева С.А. Влияние комплексных уходов на анатомические свойства древесины сосны // Лесоводственно-экономические вопросы воспроизводства лесных ресурсов Европейского Севера. Архангельск: СевНИИЛХ, 2000. С. 74–82. [Chibisov G.A., Moskaleva S.A. The Influence of Thinning on the Anatomical Properties of Spruce. *Silvicultural and Economic Issues of Reproduction of the Forest Resources of the European North*. Arkhangelsk, SevNIILKh Publ., 2000, pp. 74–82].

14. Шутов И.В., Маркова И.А., Омеляненко А.Я., Постников М.В., Товкач Л.Н., Власов Р.В., Подшиваев Е.Е., Сергиенко В.Г. Плантационное лесоводство / под общ. ред. И.В. Шутова. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. 366 с. [Shutov I.V., Markova I.A., Omel'yanenko A.Ya., Postnikov M.V., Tovkach L.N., Vlasov R.V., Podchivaev E.E., Sergienko V.G. *Plantation Forestry*. Ed. by I.V. Shutov. Saint Petersburg, Polytech Publ., 2007. 366 p.]

15. Lindkvist A., Kardell Ö., Nordlund C. Intensive Forestry as Progress or Decay? An Analysis of the Debate about Forest Fertilization in Sweden, 1960–2010. *Forests*, 2011, vol. 2, iss. 1, pp. 112–146. DOI: [10.3390/f2010112](https://doi.org/10.3390/f2010112)

16. Mäkinen H. Effect of Stand Density on Radial Growth of Branches of Scots Pine in Southern and Central Finland. *Canadian Journal of Forest Research*, 1999, vol. 29, no. 8, pp. 1216–1224. DOI: [10.1139/x99-060](https://doi.org/10.1139/x99-060)

17. Mäkinen H., Hynynen J. Wood Density and Tracheid Properties of Scots Pine: Responses to Repeated Fertilization and Timing of the First Commercial Thinning. *Forestry*, 2014, vol. 87, iss. 3, pp. 437–447. DOI: [10.1093/forestry/cpu004](https://doi.org/10.1093/forestry/cpu004)

18. Mäkinen H., Hynynen J., Penttilä T. Effect of Thinning on Wood Density and Tracheid Properties of Scots Pine on Drained Peatland Stands. *Forestry*, 2015, vol. 88, iss. 3, pp. 359–367. DOI: [10.1093/forestry/cpv006](https://doi.org/10.1093/forestry/cpv006)

19. Neippola J. Long-Term Vegetation Changes in Stands of *Pinus sylvestris* in Southern Finland. *Journal of Vegetation Science*, 1992, vol. 3, iss. 4, pp. 475–484. DOI: [10.2307/3235804](https://doi.org/10.2307/3235804)

20. Saarsalmi A., Tamminen P., Kukkola M. Effects of Long-Term Fertilisation on Soil Properties in Scots Pine and Norway Spruce Stands. *Silva Fennica*, 2014, vol. 48, no. 1, art. 989. DOI: [10.14214/sf.989](https://doi.org/10.14214/sf.989)

21. Zeide B. Optimal Stand Density: A Solution. *Canadian Journal of Forest Research*, 2004, vol. 34, no. 4, pp. 846–854. DOI: [10.1139/x03-258](https://doi.org/10.1139/x03-258)

WOOD MICROSTRUCTURE OF PINE PLANTATIONS WITH DIFFERENT INITIAL STOCKING RATE ON DRAINED PEAT SOIL UPON FERTILIZATION AND HERBICIDE TREATMENTS

Ya.A. Neronova, Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3703-0898>

Forest Research Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, ul. Pushkinskaya, 11, Petrozavodsk, Republic of Karelia, 185910, Russian Federation; e-mail: neronovaya@mail.ru

To secure a steady operation of large wood processing enterprises in north-west of the Taiga zone, accelerated coniferous forest cultivation appears to be the most promising. Treatments with mineral fertilizers and herbicides create optimal conditions for stand growth and thus result in wood increment. Trunk wood qualities and, hence, the output of the most valuable trunk sections are contingent on the volume and anatomical structure of radial increment. This paper shows the effect of fertilization and herbicide treatments on the anatomical structure of wood in pine plantations of different stocking rates in drained peat soils. Variations of late wood share and density are directly associated with the changes in anatomical structure of wood. Fertilization of pine plantations with density of 4000 and 2000 trees/ha increased the number of early tracheid rows in the process of their growth. The application of fertilizers and herbicides in pine plantations stocked at 1000 trees/ha induced a gradual reduction in the number of early tracheid rows. A combined mineral fertilizer plus herbicide treatment enlarged the number of late tracheid rows in wood of the plantations stocked at various rates. The total number of tracheid rows per annual ring increased in the plantations stocked at a rate of 4000 and 2000 trees/ha. The reduction in total number of tracheid rows of plantations with 1000 trees/ha stocking rate is down to mineral fertilization combined with herbicide treatments. Fertilizer and herbicide treatment of the plantations with the initial density of 4000 trees/ha leads to the formation of thick-walled early and late tracheids. Application of fertilizers in pine plantations with 1000 and 2000 trees/ha stocking rates promote the formation of early and late tracheids of a larger diameter. Tracheids of a smaller diameter were formed in the plantations stocked at 4000 trees/ha. The overall impact of fertilizers and herbicides caused an increase of late tracheid size in the plantations with different stocking rates. Comparing the obtained data with the regulatory requirements of GOST 968–68 and the Laboratory of Raw Materials of the All-Union Scientific Research Institute of Pulp and Paper Industry, we have found that cultivation of pine plantations with various stocking rates on dried peat soils using fertilizers and herbicides can be aimed at producing pulpwood (1st and 2nd categories) and high-quality sawlogs.

For citation: Neronova Ya.A. Wood Microstructure of Pine Plantations with Different Initial Stocking Rate on Drained Peat Soil upon Fertilization and Herbicide Treatments. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 4, pp. 68–76. DOI: [10.37482/0536-1036-20204-68-76](https://doi.org/10.37482/0536-1036-20204-68-76)

Funding: The research was financially supported by the Federal Budget within the fulfillment of the state assignment of the KarRC RAS (Forest Research Institute of the KarRC RAS).

Keywords: pine plantations, wood microstructure, fertilizers, herbicides, number of tracheid rows, tracheid wall thickness, tracheid lumen diameter.

Поступила 04.03.19 / Received on March 4, 2019