

А.Н. Пеккоев, Я.А. Неронова

**ВЛИЯНИЕ ВИДА ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА
И СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ НА СОХРАННОСТЬ, РОСТ
И СТРУКТУРУ ДРЕВЕСИНЫ 24-ЛЕТНИХ КУЛЬТУР ЕЛИ**

Введение. Восстановление хозяйственно ценных хвойных древостоев на Северо-Западе России, где сконцентрированы крупные лесоперерабатывающие предприятия, является одной из приоритетных задач лесного хозяйства. В условиях среднетаежной подзоны следует уделять особое внимание искусственному лесовосстановлению [Бабич и др., 2000; Мерзленко, 2017; Мочалов, Бобушкина, 2022; Thiffault et al., 2023]. В Карелии (Карельский таежный район) основным лесокультурным объектом являются злаковые вырубki [Соколов, 2006], которые обладают достаточно плодородными почвами, позволяющими выращивать в этих условиях продуктивные насаждения [Федорец, 2000; Смирнов и др., 2018]. Однако успешный рост и устойчивость лесных культур требуют строгого соблюдения агротехники их создания и учета почвенно-климатических и лесорастительных условий региона. Основное внимание следует уделять выбору вида посадочного материала, оказывающего значительное влияние на приживаемость, сохранность и рост искусственных насаждений [Жигунов, 2000; Бутенко, 2008; Фрейберг и др., 2013; Соколов, 2016; Grossnickle, MacDonald, 2018; Белова и др., 2022]. Исследования, проведенные в таежной зоне Карелии, Ленинградской и Архангельской областей, подтверждают преимущество в сохранности и росте культур сосны и ели, созданных саженцами [Соколов, 2006; Мочалов, Бобушкина, 2016]. Одним из факторов успешного роста лесных культур, особенно в первые годы, является обработка почвы [Sikström et al., 2020]. Она улучшает структуру почвы благодаря оптимизации воздушного, водного, теплового и питательного режимов, активизации микробиологических процессов, а также сдерживает развитие нежелательной травянистой растительности [Sutton, 1993; Nilsson et al., 2010; Маркова, 2012; Morsing et al., 2020]. Для научного обоснования эффективных технологий создания и выращивания искусственных насаждений важно определить степень и продолжительность влияния агротехнических приемов, используемых при создании культур, на количественные и качественные показатели прироста древесины выращиваемых пород.

Цель работы – оценить влияние вида посадочного материала и способов обработки почвы на сохранность, радиальный рост и качественные характеристики древесины культур ели в условиях веяниковой вырубке в Республике Карелия.

Объект и методика исследований. Объектами исследования являлись 24-летние культуры ели европейской (*Picea abies* (L.) Karst.), созданные сотрудниками Института леса КарНЦ РАН на свежей веяниковой вырубке смешанного елово-лиственного насаждения [Соколов, 2006]. Почва – бурозем супесчаный на моренных отложениях. Перед созданием культур на участке проведена обработка почвы. Схема эксперимента состояла из следующих вариантов: 1 – удаление подстилки полосами шириной 0,7–0,8 м; 2 – создание микроповышений из перемешанных органоминерального горизонтов почвы высотой 10–15 см; 3 – необработанная почва (целина). В условиях данного эксперимента работы по обработке почвы проводились вручную лопатой. Ширина междурядий 2,5–3,0 м, расстояние в ряду 0,6–0,9 м. При посадке использовались 3-летние сеянцы и 5-летние саженцы (3+2) ели с открытой корневой системой. Агротехнические уходы проводились путем отапывания травы вокруг посадочных мест. В первые два года выращивания культуры были повреждены большим сосновым долгоносиком, степень воздействия которого оценивалась по 3-балльной шкале: 1 – слабая степень повреждений, 2 – умеренная, 3 – сильная. В 8-летнем возрасте культур была проведена уборка поросли лиственных деревьев коридорным методом. Обследование опытных участков проведено нами в 24-летнем возрасте культур. При этом осуществлен комплекс лесотаксационных работ и отбор образцов древесины (спилы на высоте 0,2 м). Модельные деревья подбирались из 3 ранговых групп: крупные, средние, мелкие (по 3 модельных дерева в группе). Таким образом, в каждом варианте опыта было отобрано по 9 модельных деревьев. Измерение ширины ранней и поздней древесины проводилось в лабораторных условиях на приборе Э. Шпалте с точностью 0,01 мм. Анатомическое строение основных структурных элементов древесины изучалось на тех же образцах. Для этого на замораживающем микротоме Frigomobil 1205 (Reichert–Jung, Heidelberg, Germany) изготавливались поперечные срезы древесины толщиной 20 мкм, которые затем окрашивались в сафранине и помещались в глицерин [Ваганов, Шашкин, 2000; Prendin et al., 2017]. Измерение числа рядов клеток ксилемы, радиального диаметра люмена и толщины стенок ранних и поздних трахеид проводилось на снимках при помощи программы цифровой обработки компьютерных изображений ADF Image Capture.

Микрофотографии срезов получали с помощью микроскопа AxioImager A1 (Karl Zeiss, Германия), оснащенного фотокамерой ADF PRO03 и программного обеспечения ADF Image Capture (ADF Optics, Китай) при увеличении $\times 10$. При выполнении работ использовалось оборудование ЦКП «Аналитическая лаборатория» ИЛ КарНЦ РАН. При статистической обработке данных использовались методики, разработанные для биологических исследований, с использованием пакета анализа в Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение. В результате учетов культур на начальных этапах роста [Соколов, 2006] установлено, что в первые два года сеянцы и саженцы ели повреждались большим сосновым долгоносиком (*Hylobius abietis* L.). Сильную степень повреждений имели 6% саженцев, среднюю – 40%, а слабую – 49%. Сильная степень возникла, когда погрызы коры окольцовывали ствол. Это, как правило, приводило к гибели молодых растений. При меньшей степени повреждения у культур наблюдалось снижение прироста в высоту и по диаметру. В последующем на участке происходило интенсивное развитие травянистой растительности, главным образом вейника лесного (*Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth). Это послужило основной причиной отпада культур ели, созданных сеянцами [Харитонов и др., 2017]. Если приживаемость сеянцев второго года составляла 73%, то сохранность к 24-летнему возрасту была равна лишь 29% (табл. 1). Саженцы имели более высокую приживаемость (94–99%) в силу их устойчивости к отрицательному влиянию ряда экологических факторов. К 24-летнему возрасту их сохранность составляла 92%.

Таблица 1

Влияние посадочного материала и способа обработки почвы на приживаемость и сохранность культур ели на вырубке ельника черничного

Effects of the stocking material and soil treatment methods on the establishment and survival of spruce crops in a cut-over bilberry-type spruce forest site

| Посадочный материал | Способ обработки почвы | Приживаемость, % | | | |
|---------------------|------------------------|------------------|-------|--------|---------|
| | | 2 года | 5 лет | 10 лет | 24 года |
| Саженцы | микроповышения | 94 | 94 | 94 | 92 |
| | без обработки | 95 | 93 | 92 | 92 |
| | удаление подстилки | 99 | 95 | 95 | 92 |
| Сеянцы | удаление подстилки | 73 | 57 | 52 | 29 |

Как показывают результаты более ранних исследований, проведенных на данном опытном участке, рост саженцев по диаметру в 8-летнем возрасте культур превосходил рост сеянцев в 2 раза [Соколов, 2006]. В настоящее время, по среднему диаметру также отмечено значительное превосходство культур, созданных крупномерным посадочным материалом. В 24-летнем возрасте культуры, созданные саженцами, росли по I классу бонитета и превосходили культуры, созданные сеянцами, по высоте в 1,8–2,0, по диаметру – в 2,1–2,6, а по объему среднего дерева – в 5,1–8,6 раза (табл. 2).

Таблица 2

Таксационные показатели 24-летних культур ели, созданных сеянцами и саженцами с применением различных способов обработки почвы

Stand quality characteristics of 24-year-old spruce crops planted as seedlings and saplings using different soil pre-treatment methods

| Посадочный материал | Способ обработки почвы | Средние | | Объем среднего дерева, м ³ | Класс бонитета |
|---------------------|------------------------|-------------|-----------|---------------------------------------|----------------|
| | | диаметр, см | высота, м | | |
| Саженцы | микрорышение | 11,5 | 11,0 | 0,060 | I,а |
| Саженцы | целина | 11,4 | 9,9 | 0,054 | I,2 |
| Саженцы | удаление подстилки | 9,4 | 9,5 | 0,036 | I,4 |
| Сеянцы | удаление подстилки | 4,5 | 5,4 | 0,007 | III,9 |

При анализе радиального прироста культур, созданных разными видами посадочного материала, но с одинаковым способом обработки почвы (удаление подстилки) установлено, что в период с 10 до 17 лет средняя ширина годичного слоя у саженцев составляла 3,2 мм (рис. 1А), в то время как у сеянцев она была в 2 раза меньше (1,6 мм). В дальнейшем (18-24 года) произошло пропорциональное изменение данного показателя в сравниваемых вариантах до 2,4 (саженцы) и 1,8 мм (сеянцы). Известно, что ширина годичного слоя и содержание поздней древесины у хвойных пород находятся в довольно тесной связи [Полубояринов, 1976; Демина, Наквасина, 2013], поэтому колебания радиального прироста привели к соответствующим изменениям доли поздних зон в годичном слое (рис. 1Б). Если в период до 17-летнего возраста процент поздней древесины у сеянцев со-

ставлял в среднем 34%, а у саженцев 25%, то с 18 до 24 лет он в обоих вариантах был равен 29%. Несмотря на колебания процента поздних зон древесины культур, созданных сеянцами и саженцами, данный качественный показатель прироста не опускался ниже средних значений (16–23%), характерных для естественно произрастающих ельников европейской части России [Полубояринов, 1976].

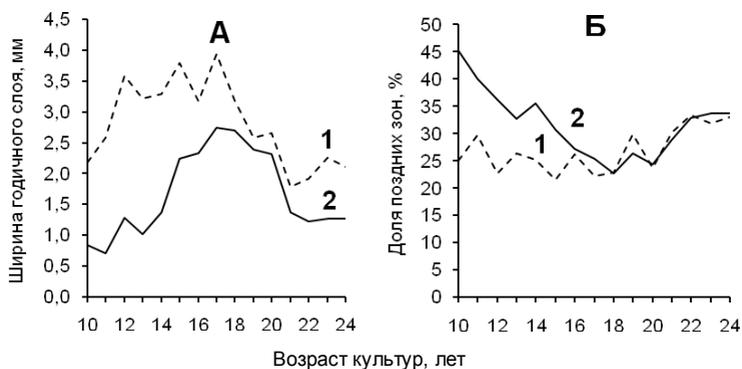


Рис. 1. Динамика ширины годичного слоя (А) и процента поздних зон (Б) 24-летних культур ели, созданных саженцами (1) и сеянцами (2) по полосам с удаленной подстилкой

Fig. 1. Dynamics of annual layer width (A) and latewood percentage (B) in 24-year-old spruce crops planted as saplings (1) and as seedlings (2) in strips with removed forest floor

Преимущество в росте у саженцев по сравнению с сеянцами сохранялось до конца второго десятилетия. Однако у культур, созданных саженцами, в силу того, что прирост откладывался на стволах большего диаметра, увеличение площади поперечного сечения за этот период было значительно выше, чем у сеянцев. Интенсивность роста сравниваемых вариантов обусловила различное количество годичных слоев в 1 см древесины (табл. 3). В целом, за анализируемый период (с 10 до 24 лет) средняя ширина годичного слоя у саженцев на 65% превосходила данный показатель у сеянцев. Увеличение прироста древесины у саженцев можно объяснить образованием большего числа рядов ранних трахеид (на 31%). Кроме того, у культур, созданных саженцами, статистически доказано формирование более толстостенных трахеид в ранней и поздней зоне на 30 и 9% соответственно.

Таблица 3

**Макро- и микроструктурные показатели древесины 24-летних культур ели
в зависимости от вида посадочного материала**

**Wood macro- and microstructural parameters in 24-year-old spruce crops
depending on the type of stocking material**

| Показатель | Вариант опыта | | T _{табл.} | T _{ст} |
|--|---------------|------------|--------------------|-----------------|
| | Сеянцы | Саженцы | | |
| Количество слоев в 1 см древесины, шт. | 5,8 | 3,6 | – | – |
| Ширина годичного слоя, мм | 1,7±0,18 | 2,8±0,18 | 1,97 | 4,51 |
| Содержание поздней древесины, % | 32±1,6 | 27±1,1 | 1,97 | 2,51 |
| Количество рядов, шт.: | | | | |
| ранних трахеид | 32±2,60 | 42±1,69 | 1,97 | 3,87 |
| поздних трахеид | 14±3,21 | 16±0,75 | 1,97 | 0,61 |
| Толщина стенки, мкм: | | | | |
| ранних трахеид | 4,00±0,01 | 5,19±0,39 | 1,96 | 3,05 |
| поздних трахеид | 8,06±0,12 | 8,81±0,28 | 1,96 | 2,46 |
| Диаметр люмена, мкм: | | | | |
| ранних трахеид | 42,89±2,86 | 40,04±3,84 | 1,96 | 0,60 |
| поздних трахеид | 9,44±0,47 | 13,59±1,12 | 1,96 | 3,42 |

Анализ влияния способов обработки почвы на рост культур, созданных разными видами посадочного материала, на основании имеющихся данных, к сожалению, не представляется возможным, так как лесные культуры, созданные сеянцами, высаживались только с удалением подстилки. Поэтому при изучении особенностей радиального прироста и структуры древесины культур ели при различных способах обработки почвы сравнение проводилось только между вариантами, созданными саженцами. Установлено, что для форсирования роста культур ели на дренированных почвах посадки саженцев по микроповышениям являются наиболее приемлемыми. Так, при данном варианте обработки почвы, первое десятилетие культуры имели среднюю ширину годичного слоя выше на 17 и 22% по сравнению с вариантами, где посадка велась по удаленной подстилке и по целине. С начала второго десятилетия, после наступления в культурах фазы смыкания крон и усиления внутривидовой конкуренции, ширина годичного слоя у деревьев, высаженных по микроповышениям, несколько снизилась и далее лимитировалась более высокой густотой древостоя, чем в варианте без обработки почвы (рис. 2). Это согласуется с данными И.А. Марковой [2012], где так же

показано, что в культурах хвойных пород плантационного типа обработка почвы путем создания гряд, пластов или холмиков с высотой 25–30 см отражалась на росте древостоя в течение первых 15–30 лет.

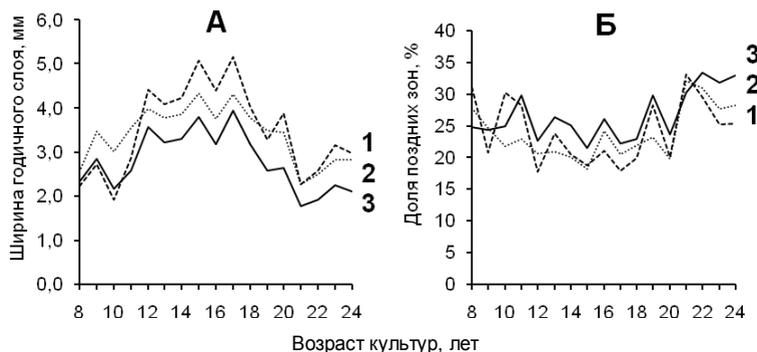


Рис. 2. Динамика ширины годичного слоя (А) и процента поздних зон (Б) 24-летних культур ели, созданных саженцами с применением различных способов обработки почвы: 1 – необработанная почва (целина); 2 – микроповышения; 3 – удаление подстилки

Fig. 2. Dynamics of annual layer width (A) and latewood percentage (B) in 24-year-old spruce crops planted as saplings using different soil pre-treatment methods: 1 – untreated (virgin) soil; 2 – mounding; 3 – forest floor removal

За весь наблюдаемый период, культуры, созданные саженцами по микроповышениям и по целине, имели схожие значения средней ширины годичного слоя (3,5–3,6 мм) и превосходили по данному показателю на 25–28% ель, высаженную по полосам с удаленной подстилкой (табл. 4).

Процент поздней древесины в годичном слое является довольно информативным показателем, функционально связанным с объемным весом и плотностью древесного сырья [Полубояринов, 1976; Мелехов и др., 2003]. Несмотря на более активный рост культур по микроповышениям в первом десятилетии, к 24 годам между вариантами с различными способами обработки почвы достоверных различий по содержанию поздней древесины не зафиксировано. У культур ели, созданных по полосам с удаленной подстилкой, процент поздней древесины составил 27%, что связано с достоверным увеличением диаметра люмена клеток поздней древесины на 42% и формированием более толстостенных поздних трахеид (+13%). Замедление роста и увеличение процента поздней древесины ели, кроме того, могло возникнуть из-за высокой конкуренции за почвенную влагу [Rozenberg et al., 2002], питание и свет, которая наблюдается при высокой густоте культур.

Таблица 4

Показатели макро- и микроструктуры древесины 24-летних культур ели, созданных саженцами при различных способах обработки почвы

Wood macro- and microstructural parameters in 24-year-old spruce crops planted depending on the soil pre-treatment method

| Показатель | Вариант опыта | | | | | |
|---|--------------------------------|-----------------|--------------------------|-----------------|--------------------------|-----------------|
| | Без обработки почвы (контроль) | T _{st} | Удаление подстилки | T _{st} | Создание микроповышений | T _{st} |
| Показатели макроструктуры древесины | | | | | | |
| Количество слоев в 1 см древесины, шт. | 2,8 | – | 3,6 | – | 2,9 | – |
| Ширина годичного слоя, мм | 3,6±0,26 | – | 2,8±0,18 | 2,53 | 3,5±0,16 | 0,33 |
| Содержание поздней древесины, % | 24±1,3 | – | 27±1,1 | 1,76 | 23±1,1 | 0,59 |
| Показатели микроструктуры древесины | | | | | | |
| Толщина клеточной стенки, мкм: ранних трахеид поздних трахеид | 4,39±0,11 7,81±0,12 | – – | 5,19±0,39 8,81±0,28 | 1,97 3,28 | 4,49±0,14 8,38±0,29 | 0,56 1,82 |
| Диаметр люмена, мкм: ранних трахеид поздних трахеид | 46,95±3,52 9,58±0,34 | – – | 40,04±3,84 13,59±1,12 | 1,33 3,43 | 46,84±3,76 10,39±0,74 | 0,02 0,99 |

Заключение. Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы:

1. При создании культур ели в условиях злаковых вырубок в качестве посадочного материала наиболее целесообразно использовать крупномерный посадочный материал (саженцы 3+2).

2. Использование саженцев значительно ускоряет рост молодняков по диаметру и в высоту, при этом качественные показатели прироста не опускаются ниже средних значений естественно произрастающих еловых насаждений европейской части России.

3. Обработка почвы при создании культур ели оказывает положительное влияние на радиальный рост насаждений преимущественно до начала второго десятилетия, а на рост в высоту – более длительное время. Выявлено, что клетки паренхимы в благоприятных условиях роста, увеличивая количество рядов ранних трахеид и оставляя без изменения количество ря-

дов поздних клеток, формируют более толстостенные оболочки трахеид ранней и поздней зон.

4. При ориентации на получение пиловочника высокого качества при дальнейшем выращивании культур следует вести регулирование густоты древостоев и проводить комплексный уход в сочетании с обрезкой сучьев до высоты первого комлевого бревна.

Сведения о финансировании исследования. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт леса КарНЦ РАН).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Бабич Н.А., Баранин А.И., Тутыгин Г.С. Состояние и проблемы лесовосстановления в Северной России // Лесовосстановление на Европейском Севере // Бюллетень НИИ леса Финляндии. 2000. № 772. С. 39–45.

Белова А.И., Хамитов Р.С., Хамитова С.М., Полякова Е.С. Рост лесных культур ели европейской созданных сеянцами с закрытой корневой системой // Хвойные бореальной зоны. 2022. Т. 40, № 2. С. 109–113. DOI: 10.53374/1993-0135-2022-2-109-113

Бутенко О.Ю. Влияние параметров посадочного материала на лесоводственную эффективность культур ели: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. СПб: СПбГЛТУ, 2008. 20 с.

Ваганов Е.А., Шашкин А.В. Рост и структура годичных колец хвойных. Новосибирск: Наука, 2000. 232 с.

Дёмина Н.А., Наквасина Е.Н. Географическая изменчивость качества древесины ели и ее значение в целевом лесовыращивании // Arctic Environmental Research. 2013. № 2. С. 67–74.

Жигунов А.В. Теория и практика выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой. СПб.: СПбНИИЛХ, 2000. 293 с.

Маркова И.А. Лесоводственная эффективность плантационного выращивания на Северо-Западе России // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2012. Вып. 198. С. 16–23.

Мелехов В.И., Бабич Н.А., Корчагов С.А. Качество древесины сосны в культурах. Архангельск: АГТУ, 2003. 110 с.

Мерзленко М.Д. Актуальные аспекты искусственного лесовосстановления // ИВУЗ. Лесной журнал. 2017. № 3. С. 22–30. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.22

Мочалов Б.А., Бобушкина С.В. Состояние и рост лесных культур сосны и ели, созданных из посадочного материала с открытыми и закрытыми корнями, в средней и северной подзонах тайги Архангельской области // Труды СПбНИИЛХ. 2016. № 1. С. 64–71.

Мочалов Б.А., Бобушкина С.В. Лесокультурное производство – основа непрерывности лесопользования // ИВУЗ. Лесной журнал. 2021. № 4. С. 80–96. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-4-80-96

Полубояринов О.И. Плотность древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 160 с.

Смирнов А.П., Смирнов А.А., Монгуш Б.Ай-Д. Продуктивность хвойных древостоев и естественное возобновление на вырубках в связи с плодородием лесной почвы // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018. Вып. 223. С. 28–46. DOI: 10.21266/2079-4304.2018.223.28-46

Соколов А.И. Лесовосстановление на вырубках Северо-Запада России. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. 215 с.

Соколов А.И. Повышение ресурсного потенциала таежных лесов лесокультурным методом. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2016. 178 с.

Федорец Н.Г., Морозова Р.М., Синькевич С.М., Загуральская Л.М. Оценка продуктивности лесных почв Карелии. Петрозаводск, 2000. 195 с.

Фрейберг И.А., Залесов С.В., Терин А.А. Совершенствование технологий восстановления хвойных насаждений // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 5. С. 686.

Харитонов В.А., Соколов А.И., Пеккоев А.Н. Влияние агротехники на сохранность и рост 24-летних культур ели на веяниковой вырубке // Бореальные леса: состояние, динамика, экосистемные услуги: тезисы докладов Всерос. науч. конф. с междунар. участием. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2017. С. 314–317.

Grossnickle S.C., MacDonald J.E. Seedlings quality: history, application, and plant attributes // Forests. 2018. No. 9(5). P. 1–23. DOI: 10.3390/f9050283

Morsing J., Kepfer-Rojas S., Baastrup-Spohr L., Rodriguez A.L., Raulund-Rasmussen K. Litter legacy after spruce plantation removal hampers initial vegetation establishment // Basic and applied ecology. 2020. No. 42. P. 4–14. DOI: 10.1016/j.baae.2019.11.006

Nilsson U., Luoranen J., Kolström T., Örlander G., Puttonen P. Reforestation with planting in northern Europe // Canadian Journal of Forest Research. 2010. No. 25(4). P. 283–294. DOI: 10.1080/02827581.2010.498384

Prendin A.L., Petit G., Carrer M., Fonti P., Björklund J., G. von Arx. New research perspectives from a novel approach to quantify tracheid wall thickness // Tree Physiology. 2017. No. 37. P. 976–983. DOI: 10.1093/treephys/tpx037

Rozenberg P., Van Loo J., Hannrup B., Grabner M. Clonal variation of wood density record of cambium reaction to water deficit in *Picea abies* (L.) Karst // Annals of Forest Science. 2002. No. 59. P. 533–540.

Sikström U., Hjelm K., Holt Hanssen K., Saksala T., Wallertz K. Influence of mechanical site preparation on regeneration success of planted conifers in clearcuts in Fennoscandia // Silva Fennica. 2020. No. 54(2). P. 1–35. DOI: 10.14214/sf.10172

Sutton R.F. Mounding site preparation: a review of European and North American experience // New Forests. 1993. No. 7. P. 151–192. DOI: /10.1007/BF00034198

Thiffault N., Lenz P.R.N., Hjelm K. Plantation Forestry, Tree Breeding, and Novel Tools to Support the Sustainable Management of Boreal Forests // *Boreal Forests in the Face of Climate Change: Sustainable Management*. Cham: Springer International Publishing, 2024. P. 383–401. DOI: 10.1007/978-3-031-15988-6_14

References

Babich N.A., Baranin A.I., Tutygin G.S. Status and problems of reforestation in Northern Russia // *Reforestation in the European North: Bulletin of the Forest Research Institute of Finland*. Helsinki: Forest Research Institute of Finland, 2000, no. 772, pp. 39–45. (In Russ.)

Belova A.I., Khamitov R.S., Khamitova S.M., Polyakova E.S., Growth of European Spruce Forest Crops Created by Seedlings With a Closed Root System. *Conifers of the Boreal Area*, 2022, no. 40 (2), pp. 109–113. DOI: 10.53374/1993-0135-2022-2-109-113. (In Russ.)

Butenko O.Yu. Influence of Planting Material Parameters on the Silvicultural Efficiency of Spruce Crops: abstract of the thesis. dis. cand. a.-c. Sciences. St. Petersburg: SPbGLTU, 2008. 20 p. (In Russ.)

Vaganov E.A., Shashkin A.B. Growth and Structure of Coniferous Annual Rings. Novosibirsk: Nauka Publ. 2000. 232 p. (In Russ.)

Demina N.A., Nakvasina E.N. Importance of Geographical Variability of Spruce Quality for Target Cultivation of Forests. *Arctic Environmental Research*, 2013, no. 2, pp. 67–74. (In Russ.)

Zhigunov A.V. Theory and practice of containerized planting material growing. St. Petersburg, 2000. 293 p. (In Russ.)

Markova I.A. Silvicultural Efficiency of Plantation Cultivation in the North-West of Russia. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotehnicheskoj akademii*, 2012, iss. 198, pp. 16–23. (In Russ.)

Melekhov V.I., Babich N.A., Korzhagov S.A. The Quality of Pine Wood in Crops. Arkhangelsk: AGTU, 2003. 110 p. (In Russ.)

Merzlenko M.D. Relevant Aspects of Artificial Reforestation. *IVUZ. Zhurnal*, 2017, no. 3, pp. 22–30. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.22. (In Russ.)

Mochalov B.A., Bobushkina S.V. Status and Growth of Forest Plantations of Pine and Spruce, Created From Planting Material With Open and Closed Roots in the Middle and Northern SubZones of the Taiga of the Arkhangelsk Region. *Trudy SPbNIILKh*. 2016, no. 1, pp. 64–71. (In Russ.)

Mochalov B.A., Bobushkina S.V. Silvicultural Production as a Basis for Continuity of Forest Management. *IVUZ. Lesnoy Zhurnal*, 2021, no. 4, pp. 80–96. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-4-80-96. (In Russ.)

Poluboyarinov O.I. Density of Wood. M.: Lesnaya promyshlennost, 1976. 160 p. (In Russ.)

Smirnov A.P., Smirnov A.A., Mongush B.Ay-D. Productivity of Coniferous Forest Stands and Natural Regeneration in Clearings Due to the Fertility of Forest Soil.

Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotehneskoj akademii, 2018, iss. 223, pp. 28–46. DOI: 10.21266/2079-4304.2018.223.28-46. (In Russ.)

Sokolov A.I. Reforestation in the Clearings of the North-West of Russia. Petrozavodsk: KarSC RAN, 2006. 215 p. (In Russ.)

Sokolov A.I. Increasing the Resource Potential of Taiga Forests by the Silvicultural Method. Petrozavodsk: KarSC RAN, 2016, 178 p. (In Russ.)

Fedorets N.G., Morozova R.M., Sinkevich S.M., Zagural'skaya L.M. Evaluation of the Productivity of Forest Soils in Karelia. Petrozavodsk, 2000. 195 p. (In Russ.)

Freiberg I.A., Zalesov S.V., Terin A.A. Improving technologies for the restoration of coniferous plantations. *Modern problems of science and education*, 2013, no. 5, p. 686. (In Russ.)

Kharitonov V.A., Sokolov A.I., Pekkoev A.N. Influence of agricultural technology on the safety and growth of 24-year-old spruce crops in the reedgrass clearing. *Boreal forests: state, dynamics, ecosystem services: abstracts of the All-Russian Scientific Conference with International Participation*. Petrozavodsk: Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2017, pp. 314–317. (In Russ.)

Grossnickle S.C., MacDonald J.E. Seedlings quality: history, application, and plant attributes. *Forests*. 2018. no. 9(5), pp. 1–23. DOI: 10.3390/f9050283

Morsing J., Kepfer-Rojas S., Baastrup-Spohr L., Rodriguez A.L., Raulund-Rasmussen K. Litter legacy after spruce plantation removal hampers initial vegetation establishment. *Basic and applied ecology*, 2020, no. 42, pp. 4–14. DOI: 10.1016/j.baae.2019.11.00

Nilsson U., Luoranen J., Kolström T., Örlander G., Puttonen P. Reforestation with planting in northern Europe. *Canadian Journal of Forest Research*, 2010, 25(4), pp. 283–294. DOI: 10.1080/02827581.2010.498384

Prendin A.L., Petit G., Carrer M., Fonti P., Björklund J., G. von Arx. New research perspectives from a novel approach to quantify tracheid wall thickness. *Tree Physiology*, 2017, no. 37, pp. 976–983. DOI: 10.1093/treephys/tpx037

Rozenberg P., Van Loo J., Hannrup B., Grabner M. Clonal variation of wood density record of cambium reaction to water deficit in *Picea abies* (L.) Karst. *Annals of Forest Science*, 2002, no. 59, pp. 533–540.

Sikström U., Hjelm K., Holt Hanssen K., Saksa T., Wallertz K. Influence of mechanical site preparation on regeneration success of planted conifers in clearcuts in Fennoscandia. *Silva Fennica*, 2020, no. 54(2), pp. 1–35. DOI: 10.14214/sf.10172

Sutton R.F. Mounding site preparation: a review of European and North American experience. *New Forests*, 1993, no. 7, pp. 151–192. DOI: /10.1007/BF00034198

Thiffault N., Lenz P.R.N., Hjelm K. Plantation Forestry, Tree Breeding, and Novel Tools to Support the Sustainable Management of Boreal Forests. *Boreal Forests in the Face of Climate Change: Sustainable Management*. Cham: Springer International Publishing, 2024, pp. 383–401. DOI: 10.1007/978-3-031-15988-6_14

Материал поступил в редакцию 02.05.2023

Пеккоев А.Н., Неронова Я.А. Влияние вида посадочного материала и способов обработки почвы на сохранность, рост и структуру древесины 24-летних культур ели // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. Вып. 247. С. 42–55. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.247.42-55*

Проведено исследование сохранности, роста и структуры древесины 24-летних культур ели, созданных сеянцами и саженцами с применением различных способов обработки почвы (удаление подстилки, создание микроповышений, без обработки почвы). Выявлено, что крупномерные саженцы благодаря устойчивости к отрицательному влиянию ряда экологических факторов к середине третьего десятилетия имели сохранность 92%, в то время как сохранность сеянцев в этом же возрасте была равна 29%. Культуры ели, созданные саженцами, росли по I классу бонитета и превосходили культуры, созданные сеянцами, по высоте и диаметру в 2–2,5 раза, а по объему среднего дерева – в 5–8 раз. Установлено, что способ обработки почвы влияет на радиальный прирост на протяжении первого десятилетия, а вид посадочного материала – до конца второго. Увеличение прироста древесины у саженцев связано с образованием большего числа рядов ранних трахеид и формированием более толстостенных трахеид в ранней и поздней зоне (на 30 и 9% соответственно). При этом, несмотря на колебания процента поздней древесины у саженцев, данный качественный показатель прироста не опускался ниже средних значений (16–23%), характерных для естественно произрастающих ельников европейской части России. Результаты исследований позволят в будущем обосновать режимы целевого лесовыращивания ели на основе выбора посадочного материала, способов обработки почвы и регулирования густоты культур для получения сортиментов с низким содержанием поздних трахеид и смолистых веществ, идущих на балансовое сырье ЦБК или сортиментов с плотной, однородной по строению древесиной – на производство высококачественного пиловочника.

Ключевые слова: лесовосстановление, агротехника создания культур, сохранность, ход роста, радиальный прирост, микроструктура древесины.

Pekkoiev A.N., Neronova Ya.A. The effects of the stocking material type and soil pre-treatment methods on survival, growth and wood structure in 24-year-old spruce crops. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicoskoj Akademii*, 2024, iss. 247, pp. 42–55 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2024.247.42-55

The survival, growth, and wood structure of 24-year-old spruce crops planted as seedlings and saplings using different soil pre-treatment methods (forest floor removal, mounding, without soil pre-treatment) were studied. The study showed that owing to higher resistance to some adverse environmental impacts the survival rate of large-sized saplings by the middle of the third decade was 92%, whereas the survival rate of seedlings at the same age was 29%. Spruce crops planted as saplings had the growth parameters of quality class I, with height and diameter 2-2.5-fold greater and average

tree volume 5-8-fold greater than in crops planted as seedlings. It has been established that the method of pre-treating soil influenced the radial increment during the first decade and the type of stocking material – until the end of the second decade. The greater wood increment in saplings is due to the formation of a larger number of earlywood tracheid rows and thicker-walled tracheids in early- and late wood (by 30 and 9%, respectively). Notwithstanding the variable percentage of latewood in saplings, this increment quality did not go below the average levels (16–23%) typically found in naturally growing spruce stands in European Russia. In the future, the results of the study can be used to substantiate the regimes for target-oriented cultivation of spruce through selection of the stocking material, soil pre-treatment methods and crop density regulation to get timber with low content of latewood tracheids and resinous substances for the pulp-and-paper industry or crops with dense, uniformly structured wood for high-grade saw timber.

Key words: reforestation, crop planting technology, survival, growth progress, radial increment, wood microstructure.

ПЕККОЕВ Алексей Николаевич – руководитель лаборатории динамики и продуктивности таежных лесов Института леса Карельского научного центра РАН, старший научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук. ORCID: 0000-0002-7881-1140.

186910, ул. Пушкинская, д. 11, г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия. E-mail: pek-aleksei@list.ru

ПЕККОЕВ Alexey N. – PhD (Agricultural), Head of the Laboratory for Boreal Forest Dynamics and Production of the Forest Research Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Senior Researcher, ORCID: 0000-0002-7881-1140.

185910. Pushkinskaya str. 11. Petrozavodsk. Republic of Karelia. Russia. E-mail: pek-aleksei@list.ru

НЕРОНОВА Яна Анатольевна – младший научный сотрудник лаборатории динамики и продуктивности таежных лесов Института леса Карельского научного центра РАН, кандидат сельскохозяйственных наук. ORCID: 0000-0003-3703-0898.

186910, ул. Пушкинская, д. 11, г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия. E-mail: neronovaya@yandex.ru

NERONOVA Yana A. – PhD (Agricultural), junior researcher of the Laboratory for Boreal Forest Dynamics and Production of the Forest Research Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences. ORCID: 0000-0003-3703-0898

185910. Pushkinskaya str. 11. Petrozavodsk. Republic of Karelia. Russia. E-mail: neronovaya@yandex.ru