

Научная статья
УДК 630.284
EDN MUPH10
DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2024.3.03

Динамика прироста и плотность древесины сосны после подсочки в брусничном типе леса в Ленинградской области

Сергей Николаевич Штрахов¹

Дмитрий Александрович Данилов²
доктор сельскохозяйственных наук

Дмитрий Андреевич Зайцев³
кандидат сельскохозяйственных наук

Аннотация. В статье рассмотрено восстановление ширины годичного слоя и формирование базисной плотности древесины сосны обыкновенной в насаждении, пройденном подсочкой. По образцам древесины определяли её базисную плотность и изучали динамику радиального прироста с его последующей индексацией. Полученные количественные данные обрабатывали методами вариационной статистики. Установлено влияние ширины зоны поздней ксилемы на плотность древесины, показано снижение вариации показателей прироста за 40-летний период после подсочки по сравнению с 20-летним периодом. У наиболее крупных деревьев после подсочки прирост относительно модельных значений кривой хода роста восстановился быстрее, чем у деревьев более мелких ступеней толщины.

Ключевые слова: подсочка, древостои сосны, карры, стандартизация прироста древесины, ширина годичного слоя.

Для цитирования: Штрахов С.Н., Данилов Д.А., Зайцев Д.А. Динамика прироста и плотность древесины сосны после подсочки в брусничном типе леса в Ленинградской области. – Текст : электронный // Лесохозяйственная информация. 2024. № 3. С. 47–56. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2024.3.03. <https://elibrary.ru/muph10>.

¹ Департамент лесного хозяйства по Северо-Западному федеральному округу, начальник департамента (Санкт-Петербург, Российская Федерация), info@szfo.rosleshoz.gov.ru

² Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, профессор (Санкт-Петербург, Российская Федерация), stow200@mail.ru

³ Ленинградский НИИСХ «Белогорка» – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля им. А.Г. Лорха», старший научный сотрудник (д. Белогорка, Ленинградская область, Российская Федерация), disoks@gmail.com

Original article

EDN MUPHUO

DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2024.3.03

Growth Dynamics and Density of Pine Wood after Resin Harvesting in the Lingonberry Forest Type in the Leningrad region

Sergey N. Shtrahov¹

Dmitriy A. Danilov²

Doctor of Agricultural Sciences

Dmitriy A. Zaytcev³

Candidate of Agricultural Sciences

Abstract. The article considers the recovery of annual growth width after resin harvesting and the formation of basic wood density of a plantation of common pine passed by felling. Its basic density was determined for the samples of wood and the dynamics of wood growth was studied with its indexation. The obtained quantitative data were processed by methods of variation statistics. The influence of the width of the late xylem zone on wood density was established, and a decrease in the variation of growth indices for the period of 40 years after resin harvesting relative to the period of 20 years was shown. For the largest tree thickness classes, growth relative to model values of the growth progress curve recovered faster after resin harvesting than for trees of smaller thickness stages.

Key words: resin harvesting, pine stands, carrs, standardisation of wood growth, annual layer width.

For citation: Shtrahov S., Danilov D., Zaytcev D. Growth Dynamics and Density of Pine Wood after Resin Harvesting in the Lingonberry Forest Type in the Leningrad region. – Text : electronic // Forestry Information. 2024. № 3. P. 47–56. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2024.3.03. <https://elibrary.ru/muphuo>.

¹ Department of Forestry for the Northwestern Federal District, Head of the Department (Saint-Petersburg, Russian Federation), info@szfo.rosleshoz.gov.ru

² St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, Professor (Saint-Petersburg, Russian Federation), stovn200@mail.ru

³ Leningrad Research Agriculture Institute Branch of Russian Potato Research Centre, Senior Researcher (Belogorka village, Leningrad region, Russian Federation), disoks@gmail.com

Введение

При организации добычи живицы одним из важнейших вопросов является влияние подсочки на состояние деревьев сосны в насаждении в последующем. При подсочке сосны обычно происходит неравномерный прирост древесины по окружности ствола, что, особенно при длительных сроках подсочки, вызывает его деформацию [1]. Физико-механические свойства древесины связаны с соотношением ширины зон ранней и поздней ксилемы годовичного прироста деревьев по диаметру, поэтому необходимость всестороннего изучения качества древесины после подсочки достаточно актуальна [2, 3]. Исследования показали, что под воздействием подсочки соотношение поздней и ранней древесины изменяется в пользу поздней древесины, а на участках ствола, лежащих выше карр, соотношение либо не изменяется, либо процент поздней древесины уменьшается [1]. Ряд исследователей отмечают влияние подсочки сосны на технические качества древесины, что связано с деформацией ствола над надрезами и уменьшением ширины заболони: наблюдается увеличение ядрообразования, повышение смолистости древесины в области карр [1, 4], а также плотности древесины, снижается предел прочности при сжатии вдоль волокон в области карр. По мнению большинства авторов, влияние подсочки на качество древесины выражается в появлении неоднородных по механическим свойствам участков ствола. Как правило, плотность древесины под зеркалом карр больше, чем на межкарровых ремнях [2, 4]. Однако в целом древесина не теряет своих качеств и может быть использована без ограничения.

Цель исследования – выявление особенностей восстановления прироста и изучение формирования плотности древесины сосны после проведения подсочки в спелом насаждении.

Материалы и методы исследования

Исследования проведены в Куйбышевском участковом лесничестве Приозерского лесничества Ленинградской обл. Территория

относится к Балтийско-Белозерскому таежному району. Объект исследования – условно чистое сосновое насаждение (средний возраст 140 лет), пройденное подсочкой по достижении возраста спелости в 1960-х гг. Период подсочки составлял 5 лет. Климат региона исследования – неустойчивый, переходный от морского к континентальному с довольно мягкой зимой и прохладным летом. Почвы обследованного участка – грубоподзолистые супесчаные, тип леса – сосняк брусничный.

В конце 2023 г. был проведен отбор кернов деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) по 4-сантиметровым ступеням толщины на высоте 1,3 м с охватом всех ступеней, представленных в насаждении (28–52 см). Образцы древесины отбирали с боковой относительно карры стороны, средняя длина карры составляла 75 см. С каждого модельного дерева (по 2 модельных дерева для ступени толщины) отбирали по 2 керна – один над другим – для изучения плотности древесины и макроструктурных показателей соответственно.

Базисную плотность древесины керна вычисляли методом максимальной влагоемкости [3]. Ширина годовичного слоя (ШГС) изучена на сканере высокого разрешения – 1200 точек на дюйм наклеенного на держатель образца древесины (рис. 1). В последующем проводилась обработка в геоинформационном программном обеспечении с выделением и учетом ширины зон поздней и ранней ксилемы. Некорректно измеренные приросты выявляли по общепринятым дендрохронологическим методикам, данные объединяли в общую модель [5, 6].

Ввиду разновозрастности древостоя (в основном в пределах двух классов возраста) для минимизации влияния тренда возраста дерева на прирост после подсочки также была проведена стандартизация приростов древесины по общепринятым методикам [6]. Сглаживание проводилось индивидуально подобранной для каждого образца кривой хода роста. Применялась кривая Хугерсхофа (Hugershoff), которая включает в себя функции полинома и отрицательной экспоненты или же кривая негативной экспоненты (при необходимости). Перевод значений прироста

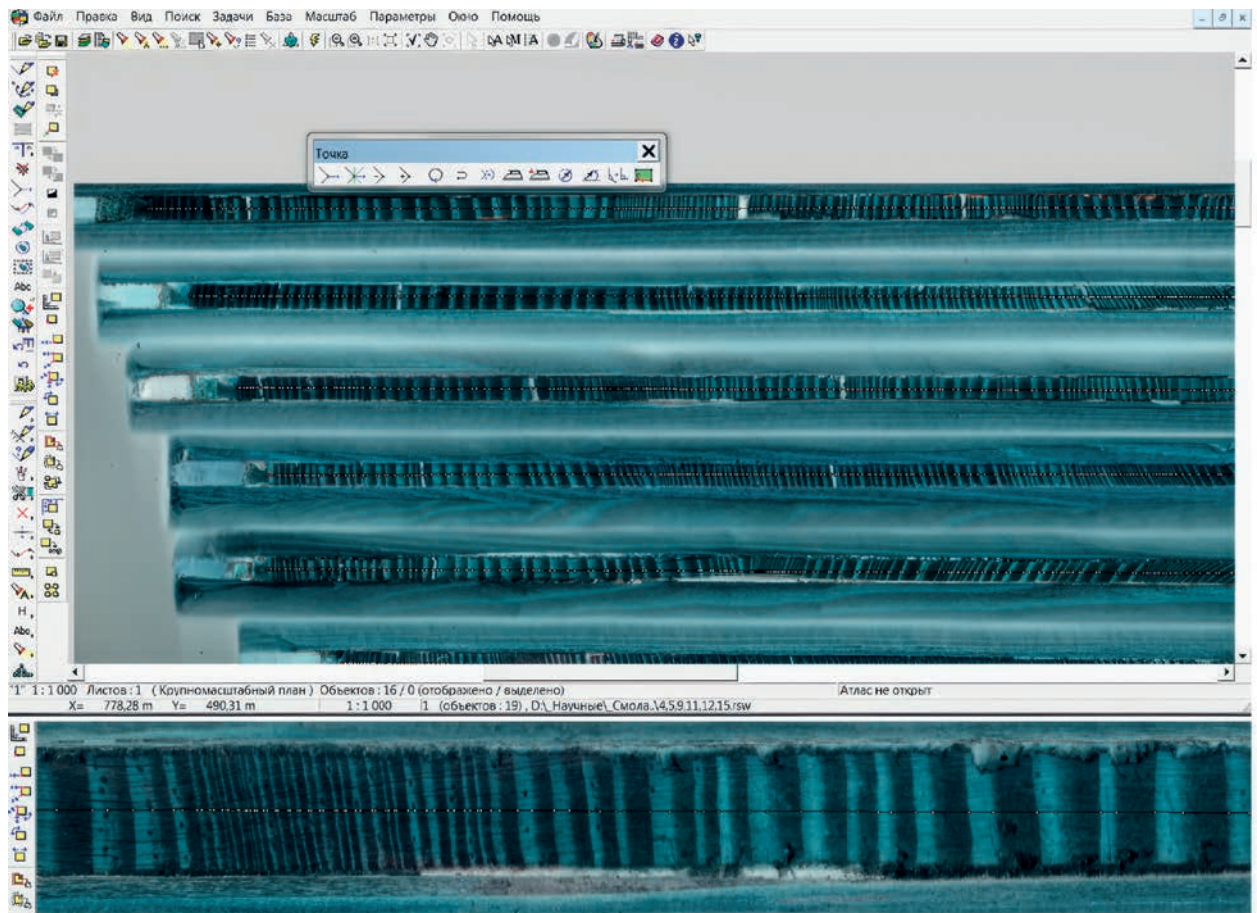


Рис. 1. Измерение ШГС, ранней и поздней зон образцов древесины деревьев, пройденных подсочкой, на объекте исследования

в индексы осуществляли путем деления значения прироста (в мм) на сглаженное значение нормы прироста модели [6, 7].

Дальнейшая статистическая обработка осуществлялась в программном пакете «Statistica 11», проводился корреляционный и вариационный анализ показателей плотности и макроструктуры древесины. Для стандартизированных приростов применяли непараметрические методы статистики. Критерий Краскела-Уоллиса использовался как обобщенный U-критерий Манна-Уитни для сравнений медианы нескольких выборок [8].

Результаты и обсуждение

Годичный радиальный прирост древесины сосны на объекте варьирует по ступеням толщины древостоя. Деревья более крупных

ступеней толщины закономерно имели больший средний прирост и большие абсолютные показатели ширины зон ранней и поздней ксилемы. Измерение базисной плотности древесины сосны за весь период роста насаждения показало, что у деревьев средних ступеней толщины (36–44 см) сформировалась менее плотная древесина относительно крупных и мелких ступеней (рис. 2).

Достоверной корреляции между показателями средней ширины годичного слоя с базисной плотностью древесины не наблюдалось. Выявлена достоверная значимая корреляция ширины зоны поздней ксилемы и базисной плотности древесины (корреляционная связь слабая, $R = 0,35$). Зона поздней ксилемы обеспечивает большой вклад в формирование плотности древесины по сравнению с зоной ранней ксилемы, что отмечено многими авторами [3, 5, 6].

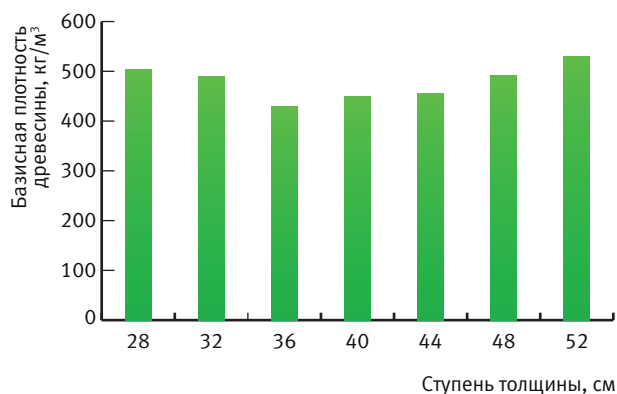
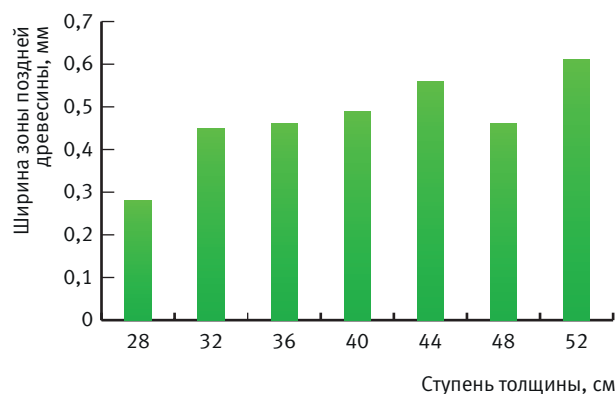


Рис. 2. Ширина зоны поздней ксилемы и базисная плотность древесины на объекте исследования

Ширина годовичного слоя варьировала во время роста дерева и после проведения подсочки. Ход роста для всей хронологии по ступеням толщины представлен на рис. 3. Прослеживается резкое снижение годовичного радиального прироста после подсочки в 1960-х гг. с последующим плавным восстановлением.

Было проведено изучение коэффициентов вариации показателей прироста древесины по ступеням толщины за периоды до проведения подсочки, в течение 20 лет и в течение 40 лет после подсочки. Результаты приведены в табл. 1.

Полученные данные показали, что в течение 20 лет после проведения подсочки абсолютные значения показателей прироста, хотя и являются более низкими по сравнению с периодом до подсочки, но варьируют практически так же. Если принять за расчетный период 40 лет после подсочки, то вариация показателей значительно снижается, что свидетельствует о том, что подсочка за такой период снижает амплитуду колебаний годовых максимумов прироста и значения выравниваются. Исключением стала ступень толщины древостоя 36 см, что может быть связано с индивидуальными особенностями отобранных модельных деревьев.

Для дальнейших расчетов использованы средние индексы приростов по ступеням толщины (табл. 2). Так как насаждение представляет собой совокупность деревьев разных ступеней толщины и возраста, использование индексов позволяет провести обоснованный сравнительный анализ.

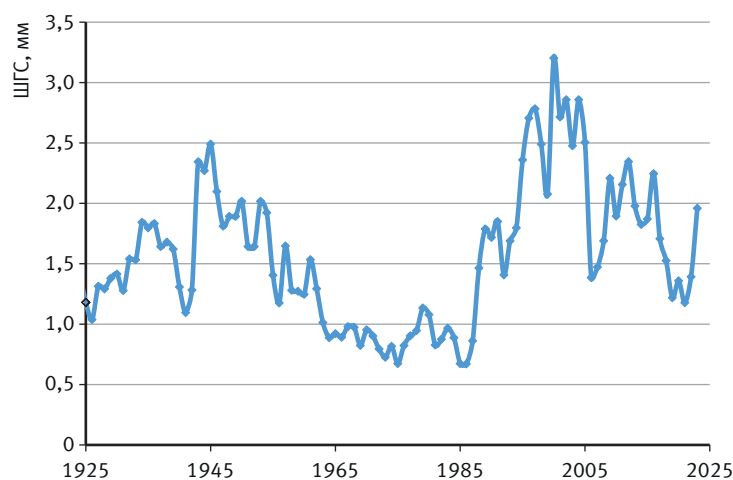


Рис. 3. Средняя ширина годовичного слоя за последние 100 лет на объекте исследования (подсочка проведена в 1960-е гг.)

Из данных табл. 2 следует, что до подсочки значения среднего индекса составляли 1 или незначительно превышали 1 в связи с тем, что сглаженные значения модели хода роста для этого периода не имели значительных расхождений с истинными значениями приростов. Однако значение индекса для самой мелкой ступени толщины (28 см), равное 1,13, свидетельствует о том, что предложенные кривые хода роста для данной ступени недостаточно достоверно осуществляли детрендинг влияния возраста в период до подсочки. Подбор различных кривых сглаживания не дал результатов, что свидетельствует о влиянии каких-либо неучтенных факторов на прирост самых мелких ступеней толщины в изучаемом древостое.

Таблица 1. Коэффициенты вариации (С) для показателей макроструктуры древесины по периодам

Степень толщины, см	Поздняя ксилема	Ранняя ксилема	ШГС
<i>С_v до подсочки</i>			
28	0,75	0,76	0,72
32	0,68	0,67	0,65
36	0,65	0,62	0,59
40	0,59	0,60	0,55
44	0,54	0,50	0,48
48	0,66	0,64	0,62
52	0,68	0,59	0,58
<i>С_v за 20-летний период после подсочки</i>			
28	0,80	0,84	0,80
32	0,58	0,63	0,59
36	0,61	0,60	0,56
40	0,55	0,56	0,50
44	0,55	0,51	0,49
48	0,56	0,57	0,54
52	0,64	0,58	0,55
<i>С_v за 40-летний период после подсочки</i>			
28	0,37	0,29	0,28
32	0,45	0,33	0,34
36	0,85	0,56	0,62
40	0,48	0,36	0,33
44	0,44	0,32	0,34
48	0,37	0,45	0,39
52	0,45	0,27	0,30

Таблица 2. Средний индекс прироста деревьев по ступеням толщины по учетным периодам

Степень толщины древостоя, см	Период учета			
	До подсочки	20 лет после подсочки	40 лет после подсочки	21–40 лет после подсочки
28	1,13	0,77	0,68	0,60
32	1,00	0,75	0,82	0,89
36	1,03	0,89	0,83	0,77
40	1,03	0,70	0,84	0,97
44	1,02	0,88	0,94	1,01
48	1,04	0,85	0,85	0,84
52	1,04	0,81	0,94	1,06

В течение 20-летнего периода после подсочки наблюдается понижение индексов для всех ступеней толщины, причем для более мелких

незначительно сильнее, чем для более крупных. В интервале 40 лет после проведения подсочки у мелких ступеней толщины индексы прироста

в среднем ниже, чем у более крупных. В долгосрочной перспективе на тонкие ступени толщины подсочка оказала большее влияние в сторону уменьшения прироста относительно примененных моделей сглаживания.

В период 21–40 лет после проведения подсочки индексы у крупных ступеней толщины ближе к параметрам модели сглаживания, чем у тонких, а у ступеней толщины 44 и 52 см даже превышают её. Это означает, что деревья данных ступеней уже через 20 лет восстановились от последствий подсочки и даже увеличили прирост относительно сглаживающей модели.

Выполненный ранговый дисперсионный анализ Краскела-Уоллиса закономерно показал однородность показателей индексов прироста по ступеням толщины насаждения до проведенной подсочки. Однако в течение периода 20 лет после подсочки уже были выявлены достоверные различия по ступеням, уровень значимости $p < 0,05$ (табл. 3). Группирующей (независимой) переменной при анализе являлась ступень толщины древостоя, зависимой – индекс прироста.

В связи с наличием достоверных различий в целом по критерию и исходя из средних значений рангов, было предложено разбить данные на подгруппы, внутри которых показатели достоверно не различаются между собой: крупные ступени толщины (44–52 см) и более мелкие ступени (28–40 см). Дальнейшая проверка по критерию Краскела-Уоллиса подтвердила

отсутствие достоверных различий внутри этих подгрупп. В целом можно обобщить, что деревья крупных ступеней толщины значимо отличаются от мелких, но между собой по показателям не различаются. Аналогичные расчеты были проведены за периоды 40 лет и 21–40 лет после подсочки. Результаты первичного анализа приведены в табл. 4 и 5.

Медианные значения для подгрупп приведены в табл. 6. Как отмечалось выше, для деревьев ступени толщины 28 см подобрать сглаживающую кривую роста по общепринятым методикам не удалось, поэтому данные, приведенные в табл. 6 для этой ступени, нельзя признать статистически достоверными. Различия медианных значений в целом отражают приведенные выше положения.

Выводы

На основании проведенного исследования в сосновом древостое, пройденном подсочкой в 1960-х гг., можно сделать следующие выводы:

1. У деревьев средних для насаждения ступеней толщины (36–44 см) в целом сформировалась древесина меньшей плотности, чем у деревьев более мелких и более крупных ступеней.
2. Ширина сформировавшейся зоны поздней ксилемы значимо повлияла на базисную плотность древесины.

Таблица 3. Данные рангового дисперсионного анализа Краскела-Уоллиса для индекса прироста за 20-летний период после подсочки

Ступень толщины, см	Количество наблюдений в группе	Сумма рангов	Среднее значение рангов
28	20	1 295,0	64,75
32	20	1 194,5	59,73
36	20	1 552,0	77,60
40	20	970,0	48,50
44	20	1 705,5	85,28
48	20	1 661,0	83,05
52	20	1 492,0	74,60

Примечание. Общее количество наблюдений в объединенной выборке – 140. Критерий Краскела-Уоллиса: $H_{расч} = 13,08$ при $p = 0,042$.

Таблица 4. Данные рангового дисперсионного анализа Краскела-Уоллиса для индекса прироста за 40-летний период после подсочки

Степень толщины, см	Количество наблюдений в группе	Сумма рангов	Среднее значение рангов
28	40	4 025,5	100,64
32	40	5 130,0	128,25
36	40	5 221,5	130,54
40	40	5 443,0	136,08
44	40	7 192,5	179,81
48	40	5 636,5	140,91
52	40	6 691,0	167,28

Примечание. Общее количество наблюдений в объединенной выборке – 280. Критерий Краскела-Уоллиса: $H_{расч} = 25,13$ при $p = 0,0003$.

Таблица 5. Данные рангового дисперсионного анализа Краскела-Уоллиса для индекса прироста за период 21–40 лет после подсочки

Степень толщины, см	Количество наблюдений в группе	Сумма рангов	Среднее значение рангов
28	20	749,0	37,45
32	20	1 408,0	70,40
36	20	1 138,5	56,93
40	20	1 650,0	82,50
44	20	1 809,0	90,45
48	20	1 283,5	64,18
52	20	1 832,0	91,60

Примечание. Общее количество наблюдений в объединенной выборке – 140. Критерий Краскела-Уоллиса: $H_{расч} = 28,01$ при $p = 0,001$.

Таблица 6. Медианные значения индексов прироста деревьев разных ступеней толщины по учетным периодам

Степень толщины, см	Период учета			
	До подсочки	20 лет после подсочки	40 лет после подсочки	21–40 лет после подсочки
28	0,92	0,78	0,65	0,49
32	0,94	0,72	0,72	0,74
36	0,91	0,81	0,76	0,66
40	0,97	0,69	0,76	0,86
44	1,00	0,91	0,97	1,01
48	1,01	0,81	0,81	0,73
52	1,00	0,80	0,94	1,09

Примечание. Жирным шрифтом обозначены подгруппы однородных данных по учетным периодам

3. До подсочки развитие деревьев в целом соответствовало моделям хода роста, после подсочки абсолютные значения прироста значительно снизились, но степень варьирования показателей прироста в течение 20 лет после подсочки не уменьшилась.

4. В течение 20 лет после подсочки деревья мелких ступеней толщины в среднем показывали меньший прирост относительно модели хода

роста, чем крупные, на них подсочка оказала более угнетающее воздействие.

5. Для периода 40 лет после подсочки в целом наблюдается аналогичная тенденция, но со смещением ближе к крупным ступеням толщины.

6. В период 21–40 лет после подсочки у деревьев крупных ступеней толщины прирост восстанавливается и в ряде случаев превышает модельные сглаженные значения кривых хода роста.

Список источников

1. Высоцкий, А.А. Влияние подсочки на жизнедеятельность сосны / А.А. Высоцкий. – Москва : Наука, 1970. – 65 с.
2. Фролов, Ю.А. Лесоводственно-биологические и технологические основы подсочки сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) / Ю.А. Фролов. – Санкт-Петербург : СПбНИИЛХ, 2001. – 448 с.
3. Полубояринов, О.И. Плотность древесины / О.И. Полубояринов. – Москва : Лесная промышленность, 1976. – 160 с.
4. Карпов, Н.А. Влияние подсочки на рост дерева и на технические свойства древесины / Н.А. Карпов. – Москва-Ленинград : КОИЗ, 1938. – 16 с.
5. Ловелиус, Н.В. Дендроиндикация. Dendroindication / Н.В. Ловелиус. – Санкт-Петербург : Петровская академия наук и искусств, 2000. – 313 с.
6. Vaganov, E.A. Growth dynamics of conifer Tree Rings: Images of Past and Future Environments. Ecological Studies / E.A. Vaganov, M.K. Hughes, A.V. Shashkin. – Berlin-Heidelberg : Springer, 2006. – 358 p.
7. Schweingruber, F.H. Tree-rings and Environment: Dendroecology / F.H. Schweingruber. – Bern : Paul Haupt, 1996. – 609 p.
8. Бондаренко, А.С. Статистическая обработка материалов лесоводственных исследований : учебное пособие / А.С. Бондаренко, А.В. Жигунов. – Санкт-Петербург : изд-во Политехнического университета, 2016. – 125 с.

References

1. Vysockij, A.A. Vliyanie podsochki na zhiznedeyatel'nost' sosny / A.A. Vysockij. – Moskva : Nauka, 1970. – 65 s.
2. Frolov, Yu.A. Lesovodstvenno-biologicheskie i tekhnologicheskie osnovy podsochki sosny obyknovenoj (*Pinus sylvestris* L.) / Yu.A. Frolov. – Sankt-Peterburg : SPbNIILH, 2001. – 448 s.
3. Poluboyarinov, O.I. Plotnost' drevesiny / O.I. Poluboyarinov. Moskva : Lesnaya promyshlennost', 1976. – 160 s.
4. Karpov, N.A. Vliyanie podsochki na rost dereva i na tekhnicheskie svojstva drevesiny / N.A. Karpov. – Moskva-Leningrad : KOIZ, 1938. – 16 s.
5. Lovelius, N.V. Dendroindikaciya. Dendroindication / N.V. Lovelius. – Sankt-Peterburg : Petrovskaya akademiya nauk i iskusstv, 2000. – 313 s.
6. Vaganov, E.A. Growth dynamics of conifer Tree Rings: Images of Past and Future Environments. Ecological Studies / E.A. Vaganov, M.K. Hughes, A.V. Shashkin. – Berlin-Heidelberg : Springer, 2006. – 358 p.
7. Schweingruber, F.H. Tree-rings and Environment: Dendroecology / F.H. Schweingruber. – Bern : Paul Haupt, 1996. – 609 p.
8. Bondarenko, A.S. Statisticheskaya obrabotka materialov lesovodstvennyh issledovanij : uchebnoe posobie / A.S. Bondarenko, A.V. Zhigunov. – Sankt-Peterburg : izd-vo Politekhnikheskogo universiteta, 2016. – 125 s.