

Оригинальная статья

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.3/6>

УДК 630.524.1



## Методы определения объема стволов маломерных деревьев (*Pinus sylvestris* L.) в южнотаежной подзоне Свердловской области

Мария В. Ермакова ✉ [M58\\_07E@mail.ru](mailto:M58_07E@mail.ru)  <https://orcid.org/0000-0002-9894-6587>

ФГБУН Ботанический сад Уральского отделения Российской Академии Наук, ул. 8 Марта, 202а, Екатеринбург, 620144, Российская Федерация

Точность и эффективность определения объемов древесины и содержания коры в стволах сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) определяют центр проблемы прогнозирования динамики биомассы и последующей переработки тонкомерной древесины. Оценивали биометрические параметры маломерных деревьев (N = 400) в возрасте 8-15 лет, отобранных по 200 стволов в каждом из вариантов произрастания – подросте и лесных культурах. Объемы стволов и коры рассчитывались для трёх типов формул: 1) секционной; 2) формуле срединного сечения и 3) формулы с использованием старого видового числа и площади сечения на высоте груди. Согласно непараметрическому критерию Sign test, различия между биометрическими параметрами объема стволов и объема коры *P. sylvestris* в каждом из вариантов произрастания, подсчитанные по формулам первого и второго типов, статистически незначимы ( $Z = 0,205-1,430$  при  $p = 0,153-0,758$ ). Объемы стволов и коры, рассчитанные с использованием старого видового числа, согласно Sign test ( $z = 6,011-16,670$  при  $p = 0,001$ ), имели значительное расхождение с определенными по секционной формуле и формуле срединного сечения. В соответствии с рассчитанной величиной истинного видового числа ( $\lambda_{0,1}$ ) стволы деревьев сосны в подросте, могут быть оценены как средне-полнодревесные -  $\lambda_{0,1}$  в коре = 0,512-0,566 и  $\lambda_{0,1}$  без коры = 0,491-0,561, а стволы деревьев в лесных культурах как полнодревесные -  $\lambda_{0,1}$  в коре = 0,816-0,919 и  $\lambda_{0,1}$  без коры = 0,707-0,778. Биометрические параметры объемов стволов деревьев в коре и без коры, рассчитанные по формуле второго типа с интерполяцией через  $D_{0,1H}$ , хорошо согласуются с параметрами, полученными по формулам первого и второго типов ( $z = 0,104-1,812$  при  $p = 0,100-0,916$ ). Установлено, что содержание коры у деревьев в подросте и лесных культурах *P. sylvestris* закономерно увеличивается со снижением густоты древостоя – в очень густом около 10 %, в густом около 13 %, средней густоты около 16 % и в редком – 19 % и более. Для проведения научных исследований и практических лесотаксационных работ как в подросте, так и в лесных культурах *P. sylvestris*, наиболее соответствующих реальному запасу, необходимо рекомендовать формулу второго типа, интерполируемую на модельном дереве с учетом диаметра ствола на одной десятой его высоты.

**Ключевые слова:** сосна обыкновенная, *Pinus sylvestris* L., подрост, лесные культуры, формулы определения объема ствола, кора

**Финансирование:** Работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБУН Ботанический сад УрО РАН (регистрационный номер 1022040300042-6-1.6.19;1.6.14;4.1.2).

**Благодарности:** автор благодарит рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.

**Конфликт интересов:** автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Ермакова М. В. Методы определения объема стволов маломерных деревьев (*Pinus sylvestris* L.) в южнотаежной подзоне Свердловской области / М. В. Ермакова // Лесотехнический журнал. – 2024. – Т. 14. – № 3 (55). – С. 89–107. – Библиогр.: с. 104–107 (22 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.3/6>.

Поступила 03.09.2024. Пересмотрена 18.09.2024. Принята 24.09.2024. Опубликована онлайн 11.11.2024.

Article

## Methods for determining the volume of stems of small trees (*Pinus sylvestris* L.) in the southern taiga subzone of the Sverdlovsk region

Maria V. Ermakova ✉, M58\_07E@mail.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-9894-6587>

Russian Academy of Sciences, Ural Branch: Institute Botanic Garden, 8-March street, Ekaterinburg, 620144, Russian Federation

### Abstract

The accuracy and efficiency of determining the volume of wood and bark content in the stems of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) determine the focus of the problem of predicting the dynamics of biomass and subsequent processing of small-sized wood. The biometric parameters of small trees (N = 400) aged 8–15 years were assessed, with 200 trunks selected in each growth variant – forest young growth and forest plantations. The volumes of stems and bark were calculated for three types of formulas: 1) sectional; 2) median section formula and 3) formula using the old species number and cross-sectional area at breast height. According to the nonparametric Sign test, the differences between the biometric parameters of stem volume and bark volume of *P. sylvestris* in each of the growth variants, calculated using the formulas of the first and second types, are statistically insignificant ( $Z = 0.205-1.430$  at  $p = 0.153-0.758$ ). The volumes of stems and bark calculated using the old species number, according to the Sign test ( $Z = 6.011-16.670$  at  $p = 0.001$ ), had a significant discrepancy with those determined using the sectional formula and the median section formula. In accordance with the calculated value of the true species number ( $\lambda 0.1$ ), the stems of pine trees in the forest young growth can be assessed as medium-full-boled -  $\lambda 0.1$  in the bark = 0.512-0.566 and  $\lambda 0.1$  without bark = 0.491-0.561, and the stems of trees in forest plantations as full-boled -  $\lambda 0.1$  in the bark = 0.816-0.919 and  $\lambda 0.1$  without bark = 0.707-0.778. The biometric parameters of tree stem volumes with and without bark, calculated using the second type formula with interpolation through D0.1H, are in good agreement with the parameters obtained using the first and second type formulas ( $Z = 0.104-1.812$  at  $p = 0.100-0.916$ ). It has been established that the bark content of trees in the forest young growth and forest plantations of *P. sylvestris* increases consistently with a decrease in the density of the forest stand - in very dense stands about 10%, in dense stands about 13%, in average density about 16% and in sparse stands - 19% or more. To conduct scientific research and practical forest inventory work both in the forest young growth and in forest plantations of *P. sylvestris*, which most closely correspond to the actual stock, it is necessary to recommend a formula of the second type, interpolated on a model tree taking into account the trunk diameter at one tenth of its height.

**Keywords:** Scots pine, *Pinus sylvestris* L., forest young growth, forest crops, formulas for determining stem volume, bark

**Funding:** The work was carried out within the framework of the State task of the FGBUN Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (registration number 1022040300042-6-1.6.19;1.6.14;4.1.2)

**Acknowledgments:** author thanks the reviewers for their contribution to the peer review.

**Conflict of interest:** the author declares no conflict of interest.

**For citation:** Ermakova M. V. (2024). Methods for determining the volume of stems of small trees (*Pinus sylvestris* L.) in the southern taiga subzone of the Sverdlovsk region. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering journal], Vol. 14, No. 3 (55), pp. 89-107 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.3/6>.

*Received* 03.09.2024. *Revised* 18.09.2024. *Accepted* 24.09.2024. *Published online* 11.11.2024.

## Введение

Современная проблематика, связанная с вопросами изменения климата и решением задач восстановления нарушенных лесных фитоценозов, как указывают Солдатов, Ильинцев (2020) [1], Дубенко и др. (2021) [2], Онучин и др. (2022) [3] требует развития новых, перспективных, комплексных направлений исследования динамики формирования лесной растительности.

В этой связи, одной из наиболее актуальных задач, в настоящее время, как отмечают Trouillier et al. (2022) [4], Пристова и др., (2023) [5], является изучение вопросов, связанных с формированием запасов древесины хозяйственно-ценных лесных насаждений на ранних этапах лесовосстановления и последующее создание соответствующей базы научных данных.

Длительное время, основным способом изучения динамики восстановления лесной растительности, том числе сосновых лесов, служила, как показано Пшеничниковой и др. (2022) [6] преимущественно, текущая оценка количественных и биометрических параметров естественного и искусственного лесовозобновления. При этом, до последнего времени, вопросам оценки формирования фитомассы лесной древесной растительности, в том числе сосны обыкновенной, на начальных этапах возобновления, в различных почвенно-климатических условиях, уделялось очень незначительное внимание. Одна из причин этого, заключается, прежде всего, в отсутствии единых подходов, в т.ч. региональных, к изучению запасов малоразмерных деревьев сосны, как естественного, так и искусственного происхождения.

Однако, к настоящему времени, жизненно важный, в том числе и в экономическом плане, мониторинг изменений окружающей среды как отмечено Astrat et al (2020) [7], Собачкиным и др., (2022) [8], настоятельно требует разработки методических подходов к изучению динамики формирования биомассы и ее отдельных компонентов начиная с

начальных этапов лесовосстановления. Это касается, как отмечают Плюха и др. (2024) [9], и вопросов определения запасов коры в зависимости от условий произрастания деревьев, восстанавливаемых лесных насаждений.

Помимо этого, к настоящему времени, как отмечают Большаков и др. (2019) [10], Хакимова и др. (2024) [11], все большую значимость представляют вопросы, связанные с эффективностью переработки тонкомерной древесины, в том числе, полученной при рубках ухода в естественных и искусственных молодняках сосны.

Решение этих вопросов весьма значимо и актуально для Свердловской области, где сосна является наиболее важной хвойной древесной породой и занимает 33,8 % по площади и 36,5 % по запасу все покрытой лесом площади. При этом, ее молодняки I класса возраста занимают 11,1 % площади от всей площади сосняков<sup>1</sup>.

Цель исследований – Для маломерных деревьев подроста и лесных культур сосны южной тайги Среднего Урала оценить возможность применения формул для расчета объемов стволов и их коры и определить наиболее оптимальные из них для целей научных исследований и практической деятельности

## Материалы и методы

Район проведения исследований как отмечено Fomin V. et al [12] относится к южнотаежной подзоне зоне Средне-Уральского таежного лесорастительного района<sup>2</sup>.

Объекты исследований - модельные деревья сосны в возрасте 8-15 лет подроста и лесных культур (рис. 1). Тип леса – сосняк ягодниковый.

Предметом исследований являлась статистическая значимость различий между объемами стволов деревьев сосны, рассчитанными по разным методикам.

---

<sup>1</sup>Лесной план Свердловской области на 2019-2028 годы. Утвержден указом губернатора Свердловской области от 18.09.2019 № 450-УГ.

<sup>2</sup>Перечень лесорастительных зон Российской Федерации и Перечень лесных районов Российской Федерации (с изменениями на 2 августа 2023 года) от 18 августа 2014 года. Приказ № 367.

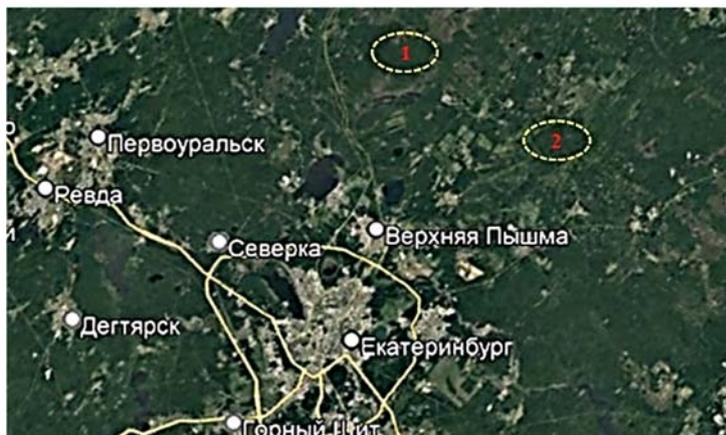


Рисунок 1. Схема размещения участков для отбора модельных деревьев: 1 – подрост сосны; 2 – лесные культуры сосны  
 Figure 1. Layout scheme of plots for selection of model trees: 1 – forest young growth of pine; 2 – forest plantation of pine

Источник: карта Google Earth Pro и собственная композиция автора  
 Source: Google Earth Pro map and author's own composition

### Сбор данных

Методом случайной выборки, отобрано по 200 деревьев как в подросте, так и в лесных культурах сосны. Для изучения параметров содержания коры, в зависимости от густоты древостоя, для каждого дерева в подросте сосны отмечалась характеристика густоты отдельных участков древостоя, где производился отбор, соответствии с указаниями Методики полевых работ по таксации леса..., 2023 [13]. Для лесных культур, после их обследования, градации по густоте были сделаны по уровню сохранности деревьев от общего количества высаженных: 1. очень густой – сохранность от 95 до 100 %; 2. густой – сохранность от 75 до 80%; 3. средней густоты – сохранность от 50 до 65 %; 4. редкий – сохранность не более 40 %.

После отбора, у каждого дерева, с помощью рулетки Карго 510-8М определялась высота ствола (Н ств.). Для измерения толщины ствола использовался электронный штангенциркуль ADA Mechanic 150 Pro [A00380]. Каждый ствол разделялся на 10 см секции. На середине каждой секции измерялся диаметр ствола. У каждого ствола измерялись диаметры на 1/10 высоты ствола (0,1Н | 0.1Н, на середине высоты Н), ствола (0,5Н | D0.5Н) и на высоте груди

(Д 1,3м | D1.3m). После удаления коры, также с помощью электронного штангенциркуля, измерялись диаметры на тех же отметках. Выбор инструментов определялся необходимостью тщательного измерения небольших по размерам деревьев.

### Анализ данных

Объем ствола определялся тремя математическими способами по формуле<sup>1</sup>:

I) секционной ( $\sum$  объемов секций + объем верхушечной части)

II) срединного сечения ( $G_{0,5H} * L$ )

III) приближенной ( $G_{1,3M} * L * f$ ),

где:  $\sum$  - сумма;  $G_{0,5H}$  – площадь сечения на 1/2 высоты;  $G_{1,3M}$  – площадь сечения на высоте груди;  $f$  – старое видовое число.

Объем ствола, рассчитанные по секционной методике, а также объем коры, в данном случае, рассматриваются как контрольные, максимально приближенные к фактическим объемам.

Истинное видовое число –  $\lambda_{0,1}$  и старое видовое число для стволов рассчитывалось по соответствующей таксационной методике.

Статистическая обработка полученных данных проводилась в соответствии с рекомендациями

<sup>1</sup>Захаров В.К. Лесная таксация, 1961; Анучин Н.П. Лесная таксация, 1982.

Усманова, 2020 [14] с привлечением программ Excel и STATISTICA 10.0.1011 Enterprise.

При сравнении объемов стволов деревьев, полученных разными способами, использовался непараметрический Sign test (Z), основанный на подсчете положительных разностей между значениями переменных и оценке уровня достоверности.

## Результаты

Отобранные модельные деревья, как в подросте, так и лесных культурах сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.), отличались значительным диапазоном размеров стволов деревьев, что вероятнее всего, от-

ражает сложную текущую структуру данных молодых насаждений (рис. 2). Такая вариабельность биометрических показателей обуславливает, и значительную вариабельность по объемам стволов и коры (рис. 2).

В свою очередь, при анализе рис. 3, хорошо заметно, что параметры объемов ствола, рассчитанные по секционной и срединной формуле, заметно отличаются от рассчитанных по приближенной. Это визуально отмечаемое различие в свою очередь, достоверно подтверждается непараметрическим Sign test (табл. 1) для всех модельных деревьев.

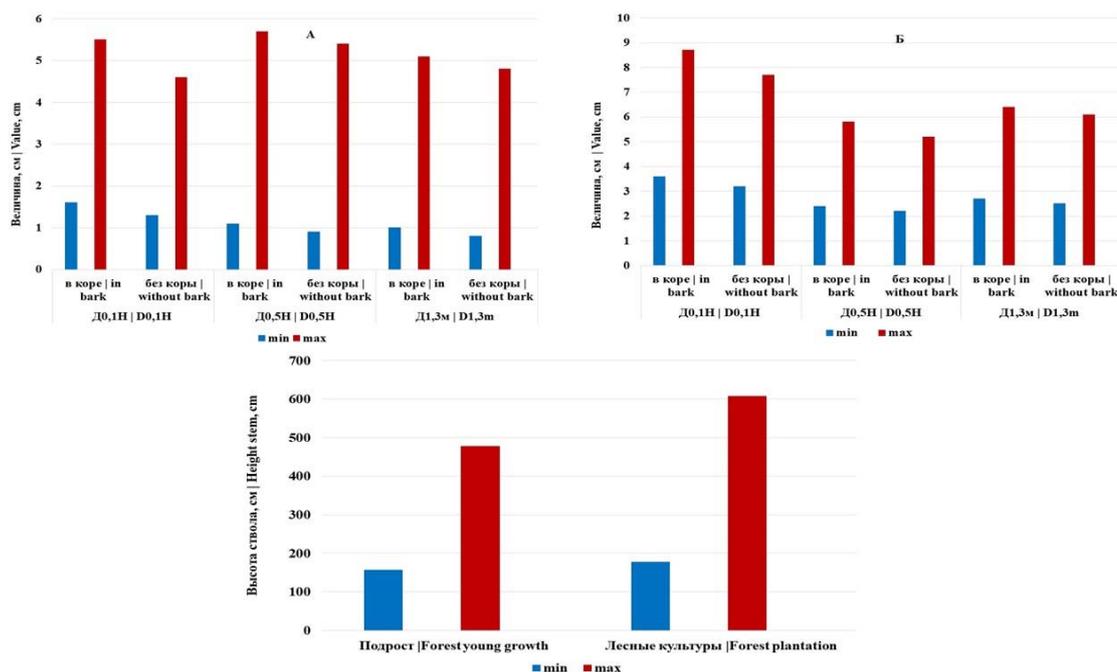


Рисунок 2. Размах параметров модельных деревьев сосны (А – подрост; Б – лесные культуры)  
Figure 2. Range of parameters of model pine trees (A – forest young growth; B – forest plantation)

Источник: собственная композиция автора  
Source: author's composition

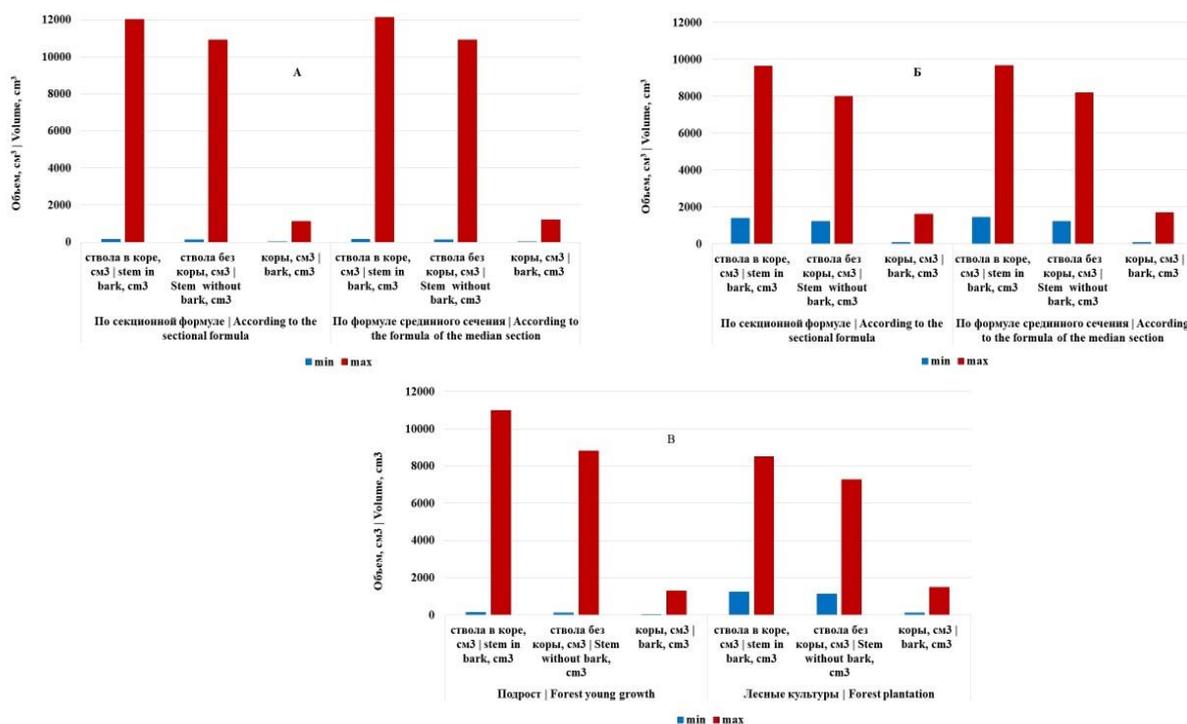


Рисунок 3. Размах объемов деревьев сосны (А – подрост; Б – лесные культуры; В – рассчитанные по упрощенной формуле)

Figure 3. Range of volumes of model pine trees

(A – forest young growth; Б – forest plantation; В - calculated according to the simplified formula)

Источник: собственная композиция автора

Source: author' own composition

Как следует из табл. 1, как в подросте, так и в лесных культурах сосны, объемы стволов, рассчитанные как, по секционной, так и по срединной, достоверно отличаются от рассчитанных по приближенной формуле.

Это свидетельствует о том, что применение приближенной метода определения объемов для маломерных стволов сосны в результате может привести к значительным ошибкам (при  $p \leq 0,05$ ). Данный способ определения объема стволов сосны, вероятно, должен применяться только для деревьев более старшего возраста.

В тоже время, как для подроста, так и для культур сосны, объемы стволов, полученные по секционной и срединной формуле, существенно ( $p < 0,05$ )

$\leq 0,05$ ) между собой не отличаются. Следовательно, использование простой формулы (срединного сечения) обеспечивает вполне соответствующую точность определения объемов стволов как деревьев подроста, так и лесных культур сосны.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что деревья сосны в подросте и лесных культурах сосны представляют собой, своего рода подготовительный этап к формированию полноценных деревьев и, соответственно, к формированию полноценных стволов. Соответственно, этот этап имеет важное значение для всего дальнейшего формирования древостоя.

Результаты анализа Sign test (Z) при сравнении объемов модельных деревьев сосны, рассчитанных по разным методикам

Results of Sign test (Z) analysis when comparing the volumes model pine trees calculated using different methods

Сравниваемые варианты расчетов по методикам   Comparable calculation options according to methods	Z	p
Подрост   Forest young growth		
Объем ствола в коре, см <sup>3</sup> (Volume of stem in bark, cm <sup>3</sup> )		
По секционной (According to sectional) : срединного сечения (according to median section)	0,323	0,746
По секционной (According to sectional) : по упрощенной формуле (according to the simplified)	6,219	0,001
По срединного сечения (According to median section) : по упрощенной (according to the simplified)	16,670	0,001
Объем ствола без коры, см <sup>3</sup> (Volume of stem without bark, cm <sup>3</sup> )		
По секционной (According to sectional) : срединного сечения (according to median section)	1,401	0,161
По секционной (According to sectional formula) : по упрощенной формуле (according to the simplified)	6,100	0,001
По срединного сечения (According to median section) : по упрощенной (according to the simplified)	6,011	0,001
Объем коры, см <sup>3</sup>   Volume of bark, cm <sup>3</sup>		
По секционной (According to sectional formula): срединного сечения (according to median section)	0,752	0,159
Лесные культуры   Forest plantation		
Объем ствола в коре, см <sup>3</sup> (Volume of stem in bark, cm <sup>3</sup> )		
По секционной (According to sectional) : срединного сечения (according to median section)	1,430	0,153
По секционной (According to sectional) : по упрощенной формуле (according to the simplified)	9,590	0,001
По срединного сечения (According to median section) : по упрощенной (according to the simplified)	10,320	0,001
Объем ствола без коры, см <sup>3</sup> (Volume of stem without bark, cm <sup>3</sup> )		
По секционной (According to sectional) : срединного сечения (according to median section)	0,858	0,391
По секционной (According to sectional) : по упрощенной формуле (according to the simplified)	9,000	0,001
По срединного сечения (According to median section) : по упрощенной (according to the simplified)	11,000	0,001
Объем коры, см <sup>3</sup>   Volume of bark, cm <sup>3</sup>		
По секционной (According to sectional): срединного сечения (according to median section)	0,205	0,758

Источник: собственные вычисления автора

Source: own calculation

Объемные показатели дерева определяются сочетанием двух основных биометрических компонент – толщиной и высотой ствола. Анализ полученных данных (рис. 4-5, табл. 2) показал, что принцип

взаимосвязи объема ствола деревьев с высотой ствола и его толщиной в подросте и лесных культурах довольно заметно различается.

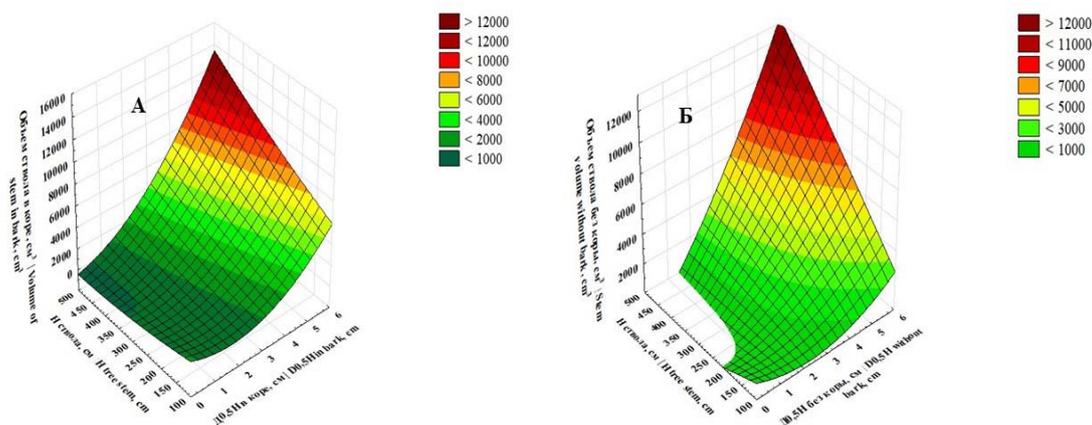


Рисунок 4. XYZ-диаграммы рассеяния взаимосвязи объемов стволов с высотой ствола (H ств.) – диаметром на середине высоты (D0,5H) для модельных деревьев подроста сосны (А – в коре; Б – без коры)  
 Figure 4. XYZ scatter diagrams of the relationship between stem volumes and stem height (H st.) – diameter at mid-height (D0.5H) for model pine trees of forest young growth (A – in bark; B – without bark)

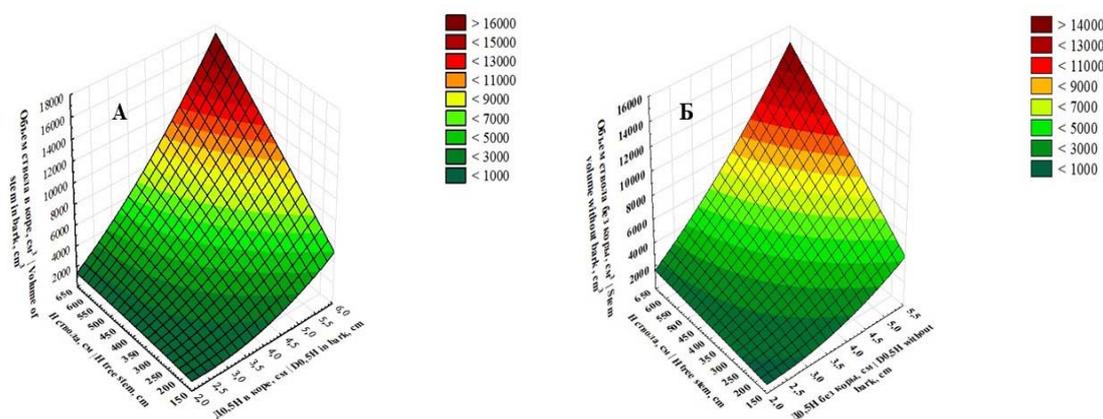


Рисунок 5. XYZ-диаграммы рассеяния взаимосвязи объемов стволов с высотой ствола (H ств.) – диаметром на середине высоты (D0,5H) для модельных деревьев лесных культур сосны (А – в коре; Б – без коры)  
 Figure 5. XYZ scatter diagrams of the relationship between stem volumes and stem height (H st.) – diameter at mid-height (D0.5H) for model pine trees of forest plantation (A – in bark; B – without bark)

Источник: собственная композиция автора  
 Source: author's own composition

Подрост сосны отличается сложной возрастной структурой (рис. 6), подобно тому, как было ранее показано Ермаковой, 2021 [15] для сосняков в

других экотопах и типах леса. Процесс возобновления протекает в них в течение ряда лет и формируется молодой древостой, состоящий из деревьев разного возраста.

Кроме того, значительно более высокая густота подросте по сравнению, с лесными культурами, у такой светолюбивой породы, как сосны обыкновенная (*P. sylvestris* L.) обуславливает процессы ускоренного роста деревьев в высоту, даже в ущерб приростов по диаметру. Исключения, по всей

вероятности, составляют только деревья подросте на участках средней и редкой густоты, на которых кстати, и были отобраны наиболее крупные по толщине деревья подросте.

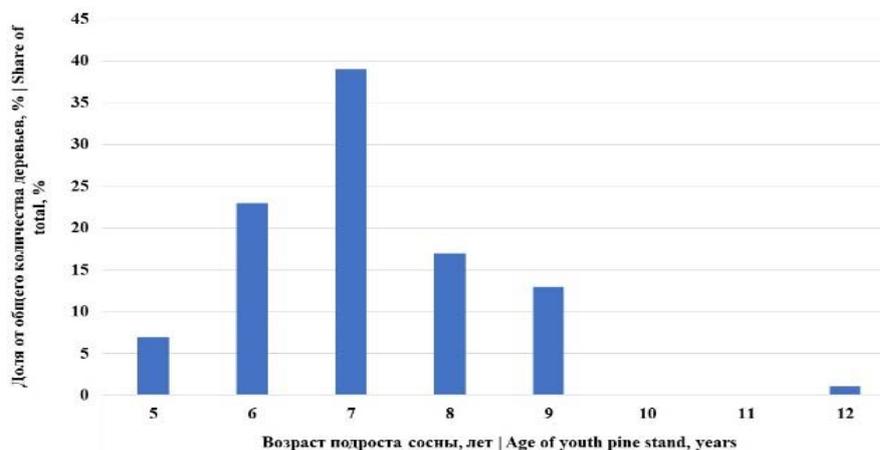


Рисунок 6. Возрастная структура подросте сосны  
Figure 6. Age structure of forest young growth of pine

Источник: собственная композиция автора  
Source: author's own composition

Таблица 2

Модели XYZ-диаграммы рассеяния взаимосвязи объемов стволов модельных деревьев сосны от высоты ствола-диаметра на середине высоты (при  $p \leq 0,05$ )

Table 2

XYZ scatterplots of the relationship between stem volumes of model pine trees from stem height-diameter at middle-height (at  $p \leq 0.05$ )

Объем   Volume	Модель   Model
Подрост   Forest young growth	
Ствол в коре, см <sup>3</sup> (Stem in bark, cm <sup>3</sup> )	$Zxy=2133,6669-1378,2157x-9,3520y+291,8572x^2+3,8888xy+0,0084y^2$
Ствол без коры, см <sup>3</sup> (Stem without bark, cm <sup>3</sup> )	$Zxy=1999,0566-1355,3308x-8,8255y+164,0831x^2+6,1669xy+0,0019y^2$
Лесные культуры   Forest plantation	
Ствол в коре, см <sup>3</sup> (Stem in bark, cm <sup>3</sup> )	$Zxy=4129,6212-2358,0097x-9,4782y+308,2879x^2+5,9281xy+0,0019y^2$
Ствол без коры, см <sup>3</sup> (Stem without bark, cm <sup>3</sup> )	$Zxy=3409,9341-2067,7347x-8,8585y+296,5930x^2+5,4892xy+0,0005y^2$

Источник: собственные вычисления автора  
Source: own calculation

Лесные культуры сосны, напротив, как правило, абсолютно одновозрастные и, хотя процессы, усиленного роста в высоту деревьев у них также вы-

ражены, но как отмечалось Михайловой, Чернышевым (2021) [16], Mostarin et al. (2021) [17], Ермаковой (2023) [18] и Карасевой и др. (2023) [19], при

этом наблюдается соразмерный рост ствола по диаметру.

Данное предположение подтверждается, в свою очередь, различиями в величине видового числа ( $\lambda_{0,1}$ ) для деревьев сосны естественного и искусственного происхождения (рис. 7). Как видно из рис. 7, стволы деревьев подроста сосны, независимо от густоты, можно оценить в среднем как средне-полнодревесные. Стволы деревьев лесных культур сосны, напротив, оцениваются в среднем, как полнодревесные, независимо от густоты. Безусловно, использование в качестве основного, диаметра на середине высоты ствола у молодняков сосны I класса возраста сопряжено с определенными трудностями, а зачастую, даже невозможностью измерить его непосредственно в полевых условиях. Как выход – использование интерполяции с измерением дополнительно других диаметров, например диаметра на 1/10 высоты ствола.

Как ранее сказано, нами, одновременно с измерением диаметра на середине высоты, измерялись и диаметры на 1/10 высоты ствола. Между этими показателями установлен с высокий уровень корреляции (коэффициент корреляции – R) и рассчитаны модели их линейной связи (табл. 3).

По этим формулам были заново рассчитаны объемы ствола и объемы коры (рис. 8).

При сравнительном анализе рис. 3 и 8, хорошо заметно, что объемы, рассчитанные по секционной и срединного сечения и, определенные по формуле срединного сечения с интерполяцией диаметра на середине высоты ствола через линейную модель на основе диаметра на 1/10 высоты, различаются незначительно (при  $p \leq 0,05$ ). Это в свою очередь, достоверно подтверждается сравнением с помощью непараметрического Sign test (табл. 4-5).

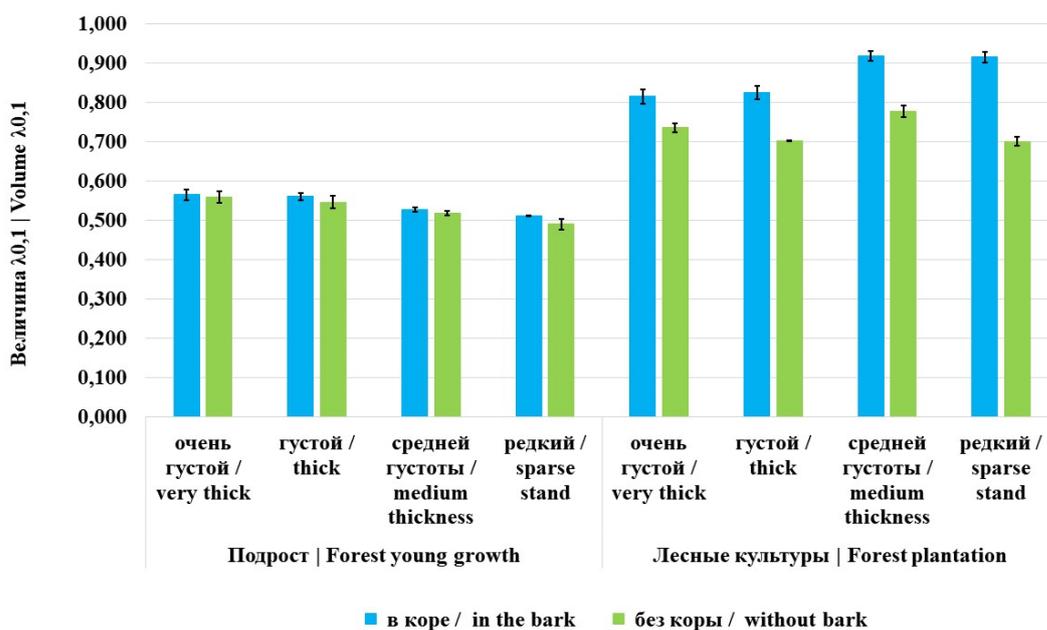


Рисунок 7. Средние величины истинного видового числа ( $\lambda_{0,1}$ )

Figure 7. Average values of true species number ( $\lambda_{0,1}$ )

Источник: собственная композиция автора

Source: author's own composition

Таблица 3

Линейная модель взаимосвязи диаметра на середине высоты и диаметра на 1/10 высоты ствола  
(при  $p \leq 0,05$ ) для модельных деревьев сосны

Table 3

Linear model of relationship of diameter at the middle stem and diameter at 1/10 of the height  
(for  $p \leq 0.05$ ) for model pine trees

Объект   Object	Модель   Equation	R
Подрост сосны   Forest young growth of pine		
Для ствола в коре   For the stem in the bark	$D_{0,5H} = 0,0286 + 0,6820 * D_{0,1H}$	0,985
Для ствола без коры   For a stem without bark	$D_{0,5H} = 0,0294 + 0,6963 * D_{0,1H}$	0,988
Лесные культуры сосны   Forest plantation of pine		
Для ствола в коре   For the stem in the bark	$D_{0,5H} = 0,3266 + 0,6095 * D_{0,1H}$	0,995
Для ствола без коры   For a stem without bark	$D_{0,5H} = 0,2461 + 0,6276 * D_{0,1H}$	0,946

Источник: собственные вычисления автора

Source: own calculation

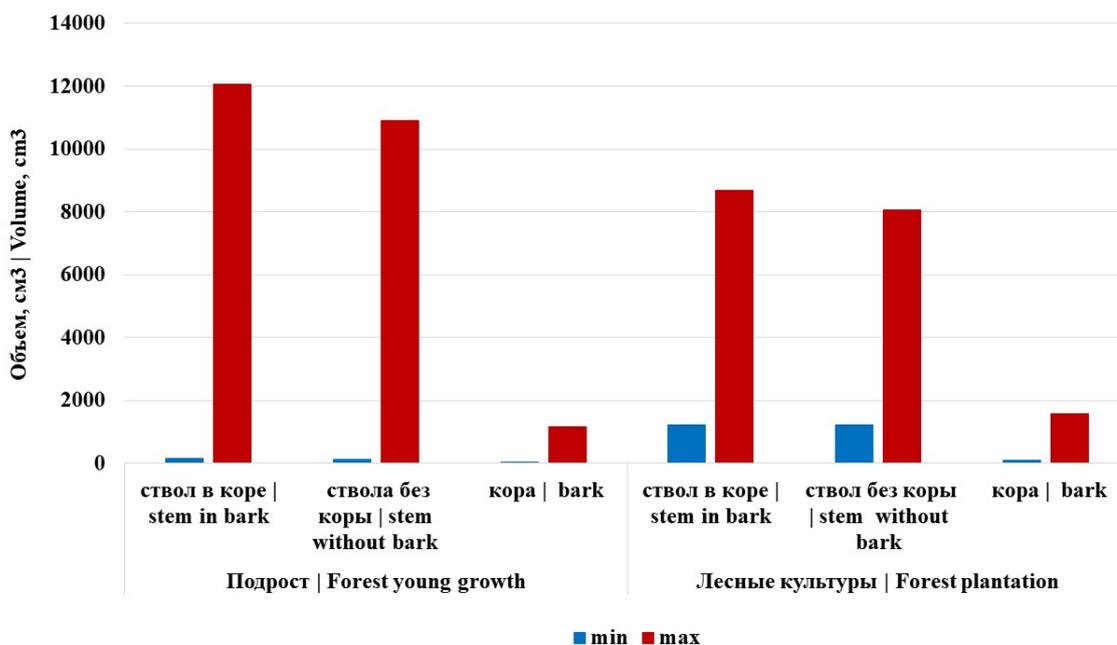


Рисунок 8. Минимальные и максимальные объемы стволов и коры модельных деревьев сосны, рассчитанные через линейную модель зависимости

Figure 8. Minimum and maximum volumes of stems and bark of model pine trees calculated using a linear dependence model

Источник: собственная композиция автора

Source: author's own composition

Результаты анализа Sign test (Z) при сравнении объемов ствола модельных деревьев сосны

Table 4

Results of Sign test (Z) analysis when comparing stem and bark for model pine trees

Сравнение   Comparison	Z	p
Подрост сосны   Forest young growth of pine		
Объем ствола в коре, см <sup>3</sup> (Volume of stem in bark, cm <sup>3</sup> )		
По секционной формуле (According to sectional formula) : по формуле срединного сечения с пересчетом диаметра на середине высоты по линейной модели (according to the formula of the median section with recalculation of the diameter at middle-height according to the linear model)	1,812	0,100
По формуле срединного сечения (According to median section formula): по формуле срединного сечения с пересчетом диаметра на середине высоты по линейной модели (according to the formula of the median section with recalculation of the diameter at middle-height according to the linear model)	0,219	0,151
Объем ствола без коры, см <sup>3</sup> (Volume of stem without bark, cm <sup>3</sup> )		
По секционной формуле (According to sectional formula) : по формуле срединного сечения с пересчетом диаметра на середине высоты по линейной модели (according to the formula of the median section with recalculation of the diameter at middle-height according to the linear model)	1,401	0,161
По формуле срединного сечения (According to median section formula): по формуле срединного сечения с пересчетом диаметра на середине высоты по линейной модели (according to the formula of the median section with recalculation of the diameter at middle-height according to the linear model)	0,847	0,396
Лесные культуры сосны   Forest plantation of pine		
Объем ствола в коре, см <sup>3</sup> (Volume of stem in bark, cm <sup>3</sup> )		
По секционной формуле (According to sectional formula) : по формуле срединного сечения с пересчетом диаметра на середине высоты по линейной модели (according to the formula of the median section with recalculation of the diameter at middle-height according to the linear model)	1,635	0,102
По формуле срединного сечения (According to median section formula): по формуле срединного сечения с пересчетом диаметра на середине высоты по линейной модели (according to the formula of the median section with recalculation of the diameter at middle-height according to the linear model)	0,858	0,390
Объем ствола без коры, см <sup>3</sup> (Volume of stem without bark, cm <sup>3</sup> )		
По секционной формуле (According to sectional formula) : по формуле срединного сечения с пересчетом диаметра на середине высоты по линейной модели (according to the formula of the median section with recalculation of the diameter at middle-height according to the linear model)	0,701	0,161
По формуле срединного сечения (According to median section formula): по формуле срединного сечения с пересчетом диаметра на середине высоты по линейной модели (according to the formula of the median section with recalculation of the diameter at middle-height according to the linear model)	0,104	0,282

Источник: собственные вычисления автора

Source: own calculation

Результаты анализа Sign test (Z) при сравнении объемов коры модельных деревьев сосны, см<sup>3</sup>

Таблица 5

Table 5

Results of Sign test (Z) analysis when comparing bark of model pine trees, cm<sup>3</sup>

Сравнение   Comparison	Z	p
Подрост сосны   Forest young growth of pine		
По секционной формуле (According to sectional formula) : по формуле срединного сечения с пересчетом диаметра на середине высоты по линейной модели (according to the formula of the median section with recalculation of the diameter at middle-height according to the linear model)	0,548	0,859
По формуле срединного сечения (According to median section formula): по формуле срединного сечения с пересчетом диаметра на середине высоты по линейной модели (according to the formula of the median section with recalculation of the diameter at middle-height according to the linear model)	0,105	0,916
Лесные культуры сосны   Forest plantation of pine		
По секционной формуле (According to sectional formula) : по формуле срединного сечения с пересчетом диаметра на середине высоты по линейной модели (according to the formula of the median section with recalculation of the diameter at middle-height according to the linear model)	0,254	0,902
По формуле срединного сечения (According to median section formula): по формуле срединного сечения с пересчетом диаметра на середине высоты по линейной модели (according to the formula of the median section with recalculation of the diameter at middle-height according to the linear model)	0,192	0,848

Источник: собственные вычисления автора

Source: own calculation

Анализ содержания коры (в процентах) от объема ствола, показал, что диапазон этого показателя в подросте и лесных культурах сосны примерно одинаков и колеблется в пределах 7-24 %.

При взятии модельных деревьев, отмечалась густота древостоя, где производился их отбор. Это позволило установить, что содержание коры у деревьев в подросте и лесных культурах закономерно увеличивается со снижением густоты древостоя (рис. 9).

Установленная закономерность имеет важное значение при определении объемов стволов без коры, т.е. чистой древесины. При определении запасов древесины молодняках сосны I класса возраста

игнорирование параметра густоты стояния может занижать объемы стволов без коры в густых древостоях и, напротив завышать в редких. Использование среднего показателя содержания коры в определенной степени нивелирую различия в этом показателе между участками с высокой густотой и участками с редкой густотой. Однако, на наш взгляд, это нивелирование будет зависеть от того, какую долю в древостое занимают участки с очень высокой густотой стояния, а какие с высокой, средней и редкой. Для подроста и лесных культур сосны I класса возраста, особенно при изучении запасов фитомассы деревьев, этот аспект необходимо учитывать.

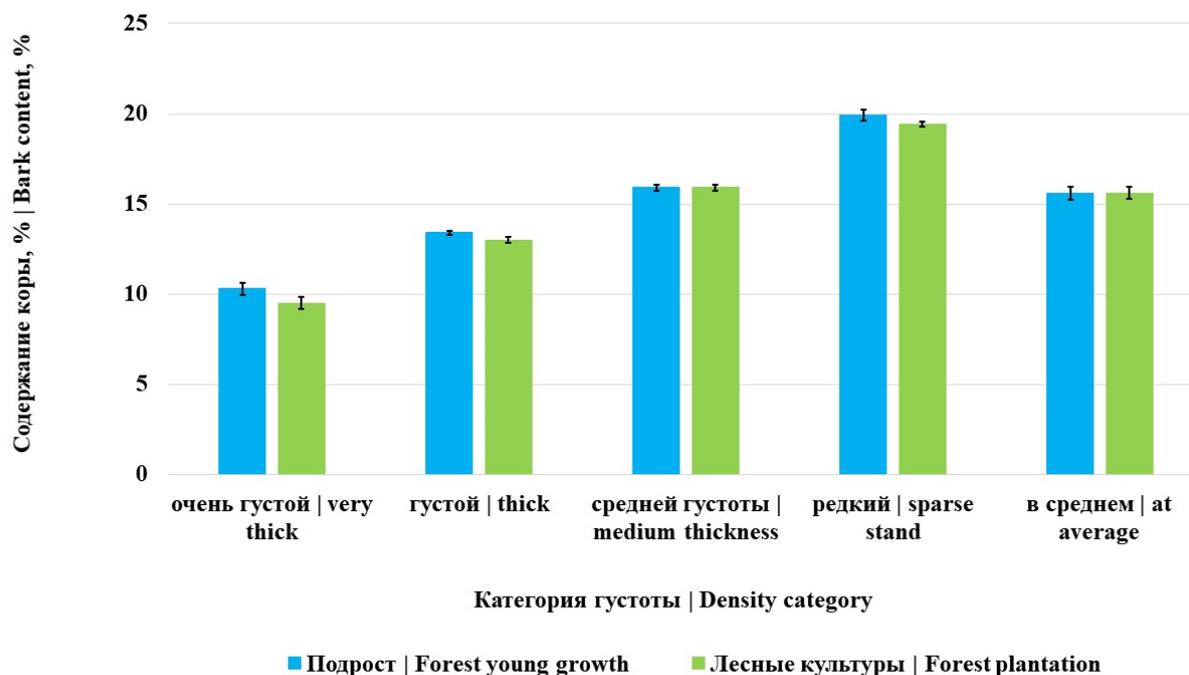


Рисунок 9. Содержание коры у стволов деревьев сосны в зависимости от густоты древостоя  
Figure 9. The content of bark of pine tree stems depending on the density of the stand

Источник: собственная композиция автора  
Source: author's composition

## Обсуждение

Проведенные нами исследования запасов древесины и содержания коры показывают, что определение этих показателей в естественных и искусственных молодняках сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) сопровождается рядом трудностей, в числе, и чисто технического плана.

Прежде всего, как показали наши исследования, при работе в молодняках, необходимо использовать более точный, чем обычно, таксационный инструмент. В частности, это касается применения электронного штангенциркуля при измерении диаметров деревьев. Использование мерной вилки может привести к грубым ошибкам при измерениях толщины ствола.

Деревья в подросте и лесных культурах сосны сильно варьируют по биометрическим показателям, и, особенно сильно, по объему ствола и содержанию коры. Связано это, на наш взгляд и как показано Собошкиным и др. (2022) [8], Чиркуновой и Брициным

(2022) [20], с несформировавшейся окончательно структурно-функциональной организацией древостоя в силу продолжающихся процессов дифференциации деревьев по толщине и высоте. Именно с этим связаны сложности определения запасов древесины в молодых насаждениях.

Одним из решений этой проблемы, как было показано Ермаковой (2023) [18], является предварительное изучение биометрической структуры конкретного молодняка сосны с последующим разделением деревьев в древостое по классам или ступеням – условным или естественным, высоты или диаметра.

Соответственно, необходимо признать, что традиционные таксационные подходы к определению продуктивности молодняков как естественного, так и искусственного происхождения, не обеспечивают получения объективных данных. Об этом

также свидетельствуют результаты текущего исследования, которые показали, что определение запасов древесины как в коре, так и без коры по классической формуле с использованием площади сечения на высоте груди и старого видового числа значительно отличаются от фактического полученного как при максимально точных расчетах по секционной формуле, так и при расчетах по формуле срединного сечения.

Определение объемов стволов как в естественных, так и в искусственных молодняках сосны, должно ориентироваться, в основном на диаметр на середине высоты. Безусловно, это вызывает дополнительные сложности и дополнительный объем работ, но без этого невозможно получить достаточно точную оценку запасов деревьев как в коре, так и без коры в молодняках сосны I класса возраста.

Кроме того, как показали наши исследования, есть определенные различия между формированием деревьев в естественных и искусственных молодняках сосны. В естественных молодняках сосны, в силу более высокой густоты стояния деревьев, наблюдается усиленный рост в высоту в силу световой конкуренции. Это, как показали Ng'andwe et al. (2019) [21], Vebre, Annighöfer, 2022 [22], приводит к определенной несоразмерности роста по толщине и высоте ствола в силу изменения физиологических процессов. В результате, искусственных молодняках сосны формируются более полндревесные стволы деревьев, чем в естественных молодняках.

### Выводы

1. Как в подросте, так и в лесных культурах сосны обыкновенной I класса возраста, объемы стволов модельных деревьев сосны, полученные по секционной формуле и формуле срединного сечения, существенно не различаются. Применение формулы срединного сечения обеспечивает необходимую точность определения объемов стволов деревьев как в подросте, так и в лесных культурах сосны I класса возраста для района исследований.

2. Объемы стволов деревьев, рассчитанные по секционной формуле и формуле срединного сечения между собой, как в подросте, так и в лесных культурах сосны, значительно отличаются от соответствующих показателей, полученных с помощью формулы с использованием старого видового числа. Использование для определения объемов стволов деревьев подросте и лесных культурах сосны расчетов по формуле с использованием старых видовых чисел, приводит к недостоверным оценкам объемов стволов и, ее применение возможно не ранее чем, со II класса возраста.

3. Подрост и лесные культуры сосны существенно различаются по характеру модели зависимости изменения объема ствола деревьев с изменением высоты ствола и диаметра. Независимо от густоты древостоя, в подросте сосны I класса возраста, формируются среднеполндревесные стволы деревьев. В лесных культурах сосны I класса возраста, независимо от густоты, формируются, преимущественно, полндревесные стволы деревьев.

4. Для подросте и лесных культур I класса возраста необходимо при определении объемов стволов, использование в качестве основного, диаметр на середине высоты ствола. При невозможности его непосредственного измерения в полевых условиях необходимо использовать интерполяцию. Необходимо, дополнительно, на модельных деревьях, определять уравнение связи диаметра на середине высота и диаметра на 1/10 высоты ствола с последующим перерасчетом для остальных деревьев в насаждении.

5. Содержания коры от объема ствола, в подросте и лесных культурах сосны I класса возраста колеблется в пределах 7-24 %. Содержание коры у деревьев в подросте и лесных культурах существенно увеличивается со снижением густоты древостоя.

## Список литературы

1. Солдатова Д.Н., Ильинцев А.С. Рост и продуктивность лесных культур сосны С.В. Алексеева на Европейском Севере России. ИВУЗ Лесной журнал. 2020; 1: 99-112. – Библиогр.: с. 109-111 (22 назв.). DOI: <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2020-1-99-112>.
2. Дубенок Н.Н., Кузьмичев В.В., Лебедев А.В. Рост и продуктивность сосново-липовых культур в Лесной опытной даче Тимирязевской академии. Лесохозяйственная информация. 2021; 1: 40-48. – Библиогр.: с. 46-47 (17 назв.). DOI: 10.24419/LNI.2304-3083.2021.1.03.
3. Онучин А.А., Петренко А.Е., Собачкин Д.С., Собачкин Р.С. Реакция сосновых молодняков Красноярской лесостепи на изреживание и внесение азотных удобрений. Сибирский лесной журнал. 2022; 3: 6-14. Библиогр. С. 13-14 (22 назв.). DOI: 10.15372/SJF20220301.
4. Trouillier M., van der Maten-Theunissen M., Scharnweber T., Wilmking M. A unifying concept for growth trends of trees and forests the "Potential natural forest" // Frontiers in Forests and Global Change 3. September 2020, 3, Article 581333: 12. DOI: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.581334>.
5. Пристова Т.А., Федорков А.Л., Новаковский А.Б. Наземная фитомасса древостоя в экспериментальных культурах сосны скрученной в Сыктывкарском лесничестве республики Коми. Известия вузов. Лесной журнал. 2023; 6: 31-43. Библ. 41-43 (28 назв.) DOI: <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-6-31-43>.
6. Пшеничникова Л.С., Онучин А.А., Собачкин Р.С., Петренко А.Е. Особенности роста сосновых культур разной густоты в условиях южной тайги Сибири. Сибирский лесной журнал. 2022; 3: 24-33. Библиогр. С. 31-32 (23 назв.). DOI: 10.15372/SJF20220303.
7. Astrat Z., Eid T., Gobbaken T., Negas M. Modelling and quantifying tree biometric prosperities of dry Afromontane forests of south-central Ethiopia. Trees. 2020; 34: 1411-1426. DOI: <http://doi.org/10.1007/s00468-020-02012-8>.
8. Собачкин Д.С., Собачкин Р.С., Петренко А.Е. Особенности роста и продуктивности сосновых молодняков, сформированных из деревьев различного ценотического статуса. Сибирский лесной журнал. 2022; 3: С. 34-39. Библиогр. С. 39 (8 назв.). DOI: 10.15372/SJF20220304.
9. Плюха Н.И., Усольцев В.А., Цепордей И.С. Моделирование доли коры в фитомассе ветвей сосны обыкновенной в степной зоне. Вестник ПГТУ. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2024; 1(61): 44-54. Библиогр. 49-51 (41 назв.). DOI: <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.1.44>.
10. Большаков Б.М., Андрияшин М.И., Дороничева Е.В. Развитие технологий и машин при рубках ухода за лесом в Финляндии и Швеции. [Электронный ресурс] DOI: 10.24419/LNI.2304-3083.2019.2.11.
11. Хакимова Ф.Х., Носкова О.А., Хакимов Р.Р., Фонарев И.И. Эффективный вариант ресурсосбережения в сфере заготовки древесины и переработки ее в целлюлозно-бумажной промышленности. Химия растительного сырья. 2024; 1: 320-328. Библ. 327-328 (21 источ.). DOI: 10.14258/jcprm.20240113014.
12. Fomin V., Mikhailovich A., Zalesov S., Terehov G. Development of ideas within the framework of the genetic approach to the classification of forest types // Baltic Forestry. 2021; 27(1): 466. DOI: <http://doi.org/10.46490/BF466>.
13. Методика полевых работ по таксации леса на постоянных пробных площадях в рамках реализации инновационного проекта государственного значения «Углерод в экосистемах: мониторинг». Консорциум № 4. Версия 1.0. М.: 2023; 32. Режим доступа: [ritm-c.ru/wp-content/uploads/2023/07/metodika-](http://ritm-c.ru/wp-content/uploads/2023/07/metodika-)
14. Усманов Р.Р. Статистическая обработка данных агрономических исследований в программе «STATISTICA»: учеб.-метод. пособие; РГАУ-МСХА. Москва, 2020; 177. Библиогр.: 175-176 (17 назв.). DOI: 10/34677/2020.004.
15. Ермакова М.В. Структура подроста сосны в различных экотопах Среднего Урала. Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2021; 234: 53-64. Библиогр. 60-62 (17 назв.). DOI: 10.21266/2079-4304.2021.234.53-64.

16. Михайлова М.И., Чернышов М.П. Особенности строения географических лесных культур сосны обыкновенной по диаметру. Лесотехнический журнал. 2021; 1(41): 46-55. Библиогр. 53-55 (18 назв.). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.1/4>.
17. Mostarin A., Barbeito I., Christer R., Nilsson U. Regeneration failure of Scots pine changes the species composition of young forests. Scandinavian Journal Of forest research. 2021;37(1):14-22. DOI: <https://doi.org/10.1080/02827581.2021.2005133>.
18. Ермакова М.В. Формирование структурно-функциональной организации молодняков сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) смешанного естественно-искусственного происхождения в условиях сосняков ягодникового и разнотравного Среднего Урала. Лесотехнический журнал. 2023; 2(50): 43-58. Библиогр.: 56-58 (21 назв.). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.2/3>
19. Карасева М.В., Мухортов Д.И., Лежнин К.Т. Изменчивость показателей роста семенного потомства сосны кедровой сибирской местной репродукции в Марийском Заволжье. Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия «Лес. Экология. Природопользование». 2023; 1(57): 73-87. Библиогр.: 83-84 (23 назв.). DOI: 10.25686/2306-2827.2023.1.73
20. Чиркунова Е.А., Брицин И.В. Эффективность искусственного восстановления сосновых лесов в Нижегородской области. Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. 2022; 3(35): 69-82. Библиогр. 76-81 (79 назв.). Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49562400>
21. Ng'andwe Ph., Chungu D., Yambaumba A.M., Chilamambe A. Modeling the height-diameter relationship of planed *Pinus Kesia* in Zambia. Forest Ecology and Management. 2019; 447: 1-11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.051>
22. Berbe I., Annighöfer P. Seedling growth and biomass production under different light availability levels and competition types. Forests. 2022; 12(10): 1376. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12101376>

## References

1. Soldatova D.I., Ilintsev A.S. *Rost i produktivnost' lesnykh kul'tur sosny S.V. Alekseeva na Evropeyskom Severe Rossii* [Growth and productivity of pine forest crops named after C.V. Alekseev in the European North of Russia]. Rossiyskiy zhurnal «IVUZ Lesnoy zhurnal» = The Russian journal «Forest journal». 2020; 2:99-112. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2020-1-99-112>. (In Russ.).
2. Dubenok N.N., Kuz'michev V.V., Lebedev A.V. *Rost i produktivnost' sosново-lipovykh kul'tur v Lesnoy opytnoy dache Timiryazevskoy akademii* [Growth and productivity of pine-linden crops in the Forest Experimental Dacha of the Timiryazev Academy]. Rossiyskiy zhurnal «Lesokhozyaystvennaya informatsiya» = The Russian journal «Forestry information». 2021; 1:40-48. DOI: 10.24419/LHL.2304-3083.2021.1.03 (In Russ.).
3. Onuchin A.A., Petrenko A.E., Sobachkin D.S., Sobachkin R.S. *Reaktsiya sosnovykh molodnyakov Krasnoyarskoj lesostepi na izrezhivanie i vnesenie azotnykh udobrenij* [Reaction of young pine stands in Krasnoyarsk forest-stepp in thinning and application of nitrogen fertilizers]. Rossiyskiy zhurnal «Sibirskij lesnoj zhurnal» = The Russian journal «Siberian Forest Journal». 2022; 3:34-39. DOI: 10.15372/2/SJFS20220301 (In Russ.).
4. Trouillier M., van der Maten-Theunissen M., Scharnweber T., Wilmking M. A unifying concept for growth trends of trees and forests the "Potential natural forest". *Frontiers in Forests and Global Change* 3. September 2020; 3, Article 581333: 12. DOI: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.581334>.
5. Pshenichnikova L.S., Onuchin A.A., Sobachkin R.S., Petrenko A.E. *Osobennosti rosta sosnovykh kul'tur raznoj gustoty v usloviyah yuzhnoj tajgi Sibiri* [The growth specifics of pine crops of various density in the Siberian southern taiga]. Rossiyskiy zhurnal «Sibirskij lesnoj zhurnal» = The Russian journal «Siberian Forest Journal». 2022; 3:34-39. DOI: 10.15372/2/SJFS20220303 (In Russ.).
6. Pristova T.A., Fedorkov A.L., Novakovskiy A.B. *Nazemnaya fitomassa drevostoya v eksperimental'nykh kul'turah sosny skruchennoj v Syktyvkarском lesnichestve respubliki Komi*. [Aboveground stand phytomass in experimental cultures of Lodgepole pine in Syktyvkar forestry of the Komi Republic]. Rossiyskiy zhurnal «IVUZ Lesnoy

zhurnal» = The Russian journal «Forest journal». 2023; 6:31-43. DOI: [https:// doi.org/10.37482/0536-1036-2023-6-31-43](https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-6-31-43) (In Russ.).

7. Astrat Z., Eid T., Gobbaken T., Negas M. Modelling and quantifying tree biometric prosperities of dry Afromontane forests of south-central Ethiopia. *Trees*. 2020; 34: 1411-1426. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00468-020-02012-8>.

8. Sobachkin D.S., Sobachkin R.S., Petrenko A.E. *Osobennosti rosta i produktivnosti sosnovykh molodnyakov, sformirovannykh iz derev'ev raznogo cenoticheskogo statusa* [The specifics of growth and productivity of young pine stands, formed of the trees of different cenotic position]. *Rossiyskiy zhurnal «Sibirskiy lesnoj zhurnal» = The Russian journal «Siberian Forest Journal»*. 2022; 3:34-39. DOI: 10.15372/2/SJFS202203045 (In Russ.).

9. Plyukha N.I., Uwsoltsev V.A., Tsepordey I.S. *Modelirovanie doli kory v fitomasse vetvej sosny obyknovnoy v stepnoj zone* [Modeling the share of the bark in the phytomass of branches of Scots pine in the steppe zone]. *Rossiyskiy zhurnal «Vestnik PGTU. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie»*. 2024;1(61):54-64. DOI: <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.1.44> (In Russ.).

10. Bolshakov B., Andrushin M., Doronicheva E. *Razvitie tekhnologiy i mashin prirubkah uhoda za lesom v Finlyandii i Shvecii* [The development of technology and machines when thinning the forest in Finlandia and Sweden. [Electronic resource] DOI: 10.24419//LHI.2304-3083.2019.2.11 (In Russ.).

11. Khakimova F.Kh., Noskova O.A., Khakimov R.R., Fonarev I.I. *Effektivnyy variant resursosberezheniya v sfere zagotovki drevesiny i pererabotki ee v cellyulozno-bumazhnoj promyshlennosti* [An effective resource-saving option in the sphere of wood processing and its processing in the pulp and paper industry]. *Rossiyskiy zhurnal «Khimia rastitel'nogo syr'ya» = Russian journal «Russian journal of bioorganic chemistry»*. 2024;1:320-328. DOI: 10.14258/jcprm.20240113014 (In Russ.).

12. Fomin V., Mikhailovich A., Zalesov S., Terehov G. Development of ideas within the framework of the genetic approach to the classification of forest types // *Baltic Forestry*. 2021; 27(1): 466. DOI: 10.46490/BF466.

13. *Metodika polevykh rabot po taksacii lesa na postoyannykh probnykh ploshchadyah v ramkah realizacii innovacionnogo proekta gosudarstvennogo znacheniya «Uglerod v ekosistemah: monitoring»*. Konsorcium № 4. Versiya 1.0. [Methodology for field work on forest taxation on permanent trial plots as part of the implementation of an innovative project of national importance “Carbon in ecosystems: monitoring.” Consortium No. 4. Version 1.0.] Moscow. 2023; 32 p. Access mode: [ritm-c.ru/wp-content/uploads/2023/07/metodika-](http://ritm-c.ru/wp-content/uploads/2023/07/metodika-) (In Russ.).

14. Usmanov R.R. *Statisticheskaya obrabotka dannykh agronomicheskikh issledovaniy v programme «STATISTICA» : uchebno-metodicheskoe posobie* [Statistical processing of agronomic research data in the program «STATISTICA» : Teaching aid] RGAU-MSHA. Moscow, 2020:177. DOI: 10/34677/2020.004 (In Russ.).

15. Ermakova M.V. *Struktura podrosta sosny v razlichnykh ekotopakh Srednego Urala* [Structura of young growth of pine in various ecotopes of the Trans-Ural region]. *Izvestia Sankt-Peterburgskoy akademii [News of the Saint Petersburg Forestry Academy]*. 2021; 234:53-64. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.234.53-64 (In Russ.).

16. Mihajlova M.I., Chernyshov M.P. *Osobennosti stroeniya geograficheskikh lesnykh kul'tur sos-ny obyknovnoy po diametru* [Structural features of provenance trial plantations of pine in terms of diameter]. *Rossiyskiy zhurnal «Lesotekhnicheskij zhurnal»*. 2021;1(41):46-55. DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.1/4> (In Russ.).

17. Mostarin A., Barbeito I., Christer R., Nilsson U. Regeneration failure of Scots pine changes the species composition of young forests. *Scandinavian Journal of forest research*, 2021; 37(1): 14-22. DOI: <https://doi.org/10.1080/02827581.2021.2005133>.

18. Ermakova M.V. *Formirovanie strukturno-funktional'noj organizacii molodnyakov sosny obyknovnoy (Pinus sylvestris L.) smeshannogo estestvenno-iskusstvennogo proiskhozhdeniya v usloviyah sosnyakov yagodnikovogo i raznotravnogo Srednego Urala* [Formation of the structural and functional organization of young stands of Scots pine (Pinus sylvestris L.) of mixed artificial and natural origin in the conditions of berry forests and forbs pine forests of the Middle Urals]. *Rossiyskiy zhurnal «Lesotekhnicheskij zhurnal»*. 2023;2(50):43-58. DOI: <https://doi.org/10/34220/issn.2222-7962/2023.2/3> (In Russ.).

19. Karaseva M.V., Muhortov D.I., Lezhnin K.T. *Izmenchivost' pokazatelej rosta semennogo potomstva sosny kedrovoj sibirskoj mestnoj reprodukcii v Marijskom Zavolzh'e* [Variability of growth indices of Siberian pine seed progeny of local reproduction in Mari-Trans-Volga region]. Rossiyskiy zhurnal «Vestnik PGTU. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie». 2023;1(57):73-87. DOI: 10.25686/2306-2827.2023.1.73 (In Russ.).

20. Chirkunova E.A. E.A., Britsyn I.V. *Effektivnost' iskusstvennogo vosstanovleniya sosnovyh lesov v Nizhegorodskoj oblasti* [The effectiveness of artificial restoration of pine forest in the Nizhny Novgorod region]. Rossiyskiy zhurnal «Vestnik Nizhegorodskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii». 2022; 3(35): 69-82. Access mode: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49562400> (In Russ.).

21. Ng'andwe Ph., Chungu D., Yambaymba A.M., Chilamambe A. Modeling the height-diameter relationship of planed *Pinus Kesia* in Zambia // *Forest Ecology and Management*. 2019; 447: 1-11. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.051>.

22. Berbe I., Annighöfer P. Seedling growth and biomass production under different light availability levels and competition types. *Forests*. 2022; 12(10): 1376. DOI: <https://doi.org/10/3390/f12101376>.

### Сведения об авторе

✉ *Ермакова Мария Викторовна* – доктор с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБУН «Ботанический сад УрО РАН», ул. 8 Марта, 202а, г. Екатеринбург, 620144, Российская Федерация, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9894-6587>, e-mail: M58\_07E@mail.ru.

### Information about the author

✉ *Mariya V. Ermakova* – Dr. Sci. (Agric.), Leading researcher of Russian Academy of Sciences, Ural Branch: Institute Botanic Garden, Ekaterinburg, 620144, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9894-6587>, e-mail: M58\_07E@mail.ru.

✉ Для контактов | Corresponding author