

ЛЕСОВЕДЕНИЕ, ЛЕСОВОДСТВО, ЛЕСНЫЕ КУЛЬТУРЫ, АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИЯ, ОЗЕЛЕНЕНИЕ,
ЛЕСНАЯ ПИРОЛОГИЯ И ТАКСАЦИЯ / FORESTRY, FORESTRY, FOREST CROPS, AGROFORESTRY,
LANDSCAPING, FOREST PYROLOGY AND TAXATION

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.94>

ОПТИМАЛЬНАЯ ФОРМУЛА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМА РАСТУЩИХ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ В УСЛОВИЯХ
БАЙКАЛЬСКОГО ГОРНОГО ЛЕСНОГО РАЙОНА

Научная статья

Козлов Н.В.^{1,*}, Вайс А.А.², Вараксин Г.С.³, Ануев Е.А.⁴

²ORCID : 0000-0003-4965-3670;

⁴ORCID : 0000-0002-1822-0795;

^{1,2} Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева, Красноярск,
Российская Федерация

³ Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, Красноярск, Российская Федерация

⁴ Сибирский Федеральный Университет, Красноярск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (nikitos.kozloff2015[at]gmail.com)

Аннотация

Цель исследования – определение оптимальной универсальной формулы для оценки объема растущих деревьев сосны в условиях Байкальского горного лесного района. В условиях Улан-Удэнского лесничества выполнены измерения высот и диаметров растущих деревьев на 4-х лесных участках. Сравнение широко известных формул по определению объема отдельных деревьев выполнялось с уравнениями, составленными С.И. Цаем с соавторами. Результаты расчетов объемов показали, что с учетом разнообразия условий произрастания растущих деревьев для исходного района оптимальной, помимо формулы С.И. Цая, является уравнение Ли-Чан-Гена, близка по точности к этой оценке формула Денцина, далее Н.В. Третьякова, Н.Н. Дементьева и стандартная формула. Оптимизация способов определения объемов растущих деревьев позволяет решать комплекс как хозяйственных, так и эколого-оценочных задач важных для рационального лесопользования.

Ключевые слова: сосна, оптимальная формула, объем дерева.

OPTIMAL FORMULA FOR DETERMINING THE VOLUME OF GROWING PINE TREES UNDER CONDITIONS
OF THE BAIKAL MOUNTAIN FOREST REGION

Research article

Kozlov N.V.^{1,*}, Vais A.A.², Varaksin G.S.³, Anuev Y.A.⁴

²ORCID : 0000-0003-4965-3670;

⁴ORCID : 0000-0002-1822-0795;

^{1,2} M.F. Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russian Federation

³ Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russian Federation

⁴ Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation

* Corresponding author (nikitos.kozloff2015[at]gmail.com)

Abstract

The aim of the study is to determine the optimal universal formula for evaluating the volume of growing pine trees in the conditions of the Baikal mountain forest region. Measurements of heights and diameters of growing trees in 4 forest plots were carried out in the conditions of Ulan-Ude forestry. Comparison of widely known formulas for determining the volume of individual trees was made with the equations developed by S.I. Tsai et al. The results of calculations of volumes have shown that taking into account the diversity of growing conditions of growing trees for the initial area the optimal, in addition to S.I. Tsai's formula, is the Lee-Chan-Gen equation, the Dentsin formula is close in accuracy to this estimation, then N.V. Tretyakov, N.N. Dementiev and the standard formula. Optimization of methods for determining the volumes of growing trees allows to solve a set of both economic and ecological-evaluation tasks important for rational forest management.

Keywords: pine, optimum formula, tree volume.

Введение

В 1981 г в Республике Бурятия издается очерк «Сосновые и лиственничные леса Бурятской АССР», составителем которого являлся С.И. Цай с соавторами [1]. Авторы подробно изучили природно-климатические условия Республики, условия произрастания и особенности роста сосновых и лиственничных насаждений. На основании данного исследования построены таблицы объема растущих деревьев для региона, хода роста, товарные таблицы. Эмпирические формулы и составленные нормативы отражают местные условия произрастания сосновых и лиственничных насаждений.

В настоящее время в оценке таксационных и морфологических показателей, как отдельных деревьев, так и насаждений в целом используются современные технологические и цифровые подходы, связанные с применением воздушных лазерных лидаров, наземных лазерных лидаров, нелинейных моделей при построении образующих стволов, нейронных сетей, оценка временных изменений [2], [3], [4], [5] и др. При этом необходимость в использовании универсальных эмпирических уравнений также не теряет свою актуальность, поскольку часто при

решении хозяйственных, экологических и таксационных задач требуется допустимая точность. Дифференциация широко применяемых в лесной таксации формул по определению объема растущих деревьев к местным условиям произрастания позволит без использования сложных математических и инструментальных подходов определять объем отдельных деревьев.

Несмотря на достаточно большое число научных исследований, посвященных проблеме изучения и определения формы, объемов стволов различных пород, вопрос об особенностях формирования и влияния различных факторов на объемобразующие признаки остается открытым.

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris L.*), имея широкий ареал произрастания, и способность расти в различных лесорастительных условиях, характеризуется многообразием формы и объемов стволов.

Сосна, являясь одной из основных целевых хвойных пород и постоянным объектом эксплуатации, формирует нестабильную среду произрастания. По этой причине необходима идентификация особенностей ростовых процессов в определенных лесорастительных условиях, с целью уточнения особенностей объемных параметров древостоев и дальнейшей детализации объемных, сортиментных таблиц.

Цель исследования – определить оптимальную универсальную формулу для оценки объема растущих деревьев сосны в условиях Байкальского горного лесного района.

Методы и принципы исследования

Исследования проводилось по результатам камеральной обработки лесных участков в условиях Верхне-Березовского участкового лесничества Улан-Удэнского лесничества. В соответствии с целью поставлены следующие программные задачи: выполнить измерительные работы учетных деревьев на лесных участках; представить таксационную характеристику лесных участков; установить соотношение высот и диаметров путем определения разряда высот; выполнить расчеты объемов растущих деревьев следующими способами: основная формула, уравнения Третьякова Н.В., Ли-Чан-Гена, Денцина, Дементьева Н.Н., Цая С.И. с соавторами; выявить оптимальную формулу для определения объема растущих деревьев.

Пробные площади подбирались с учетом разных таксационных показателей и условий произрастания насаждений. Перечет производился способом сплошного перечета. Значительное внимание уделялось таким показателям как составу насаждения, типу леса и экспозиции склона.

Для определения объемов деревьев в первую очередь необходимо установить разряд высоты и выявить соотношение диаметров и высоты деревьев на каждом участке. Для этого построены графики функций зависимости высоты и диаметра по каждому участку у деревьев по ступеням толщины в 3-х повторностях. Диаграммы соотношения высоты и диаметра выровнены параболическими уравнениями (таблица 1). Коэффициент детерминации указывает на достаточно высокую адекватность моделей. Минимальный коэффициент детерминации – 0,76 максимальный – 0,99.

Таблица 1 - Параметры полиномиальных уравнений второго порядка для соотношения высот и диаметров

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.94.1>

Номер участка	Уравнение	Коэффициент детерминации, R ²
1	$H = -0,0112d^2 + 1,0084d + 0,668$	0,99
	$H = -0,0033d^2 + 0,4473d + 9,9262$	0,92
	$H = -0,005d^2 + 0,485d + 11,345$	0,90
2	$H = -0,0056d^2 + 0,5045d + 11,25$	0,99
	$H = -0,0048d^2 + 0,4539d + 12,107$	0,82
	$H = -0,0175d^2 + 1,1533d + 3,3929$	0,90
3	$H = -0,0118d^2 + 0,758d + 7,2576$	0,94
	$H = -0,0137d^2 + 0,839d + 6,9303$	0,89
	$H = -0,0124d^2 + 0,7993d + 6,6598$	0,78
4	$H = -0,011d^2 + 0,8551d + 2,9578$	0,93
	$H = -0,0085d^2 + 0,7152d + 4,6175$	0,76
	$H = -0,0064d^2 + 0,5475d + 7,1955$	0,87

Примечание: H - высота, d - диаметр

С учётом близости линий и для минимизации ошибок использовалась средняя высота для каждой ступени толщины. Для дальнейшего установления разряда высот применялась местная объемная таблица, составленная применительно к сосновым насаждениям Бурятии [1]. На первом и втором участках разряд высот – V, на третьем и четвертом участках – VI.

Основные результаты

Для решения поставленной цели выполнен расчёт объёмов растущих деревьев по ряду эмпирических формул [13].
Стандартная формула.

Изучая связь видовых чисел и коэффициентов формы, М.Е. Ткаченко пришел к выводу, что независимо от древесной породы, при любых естественно-исторических условиях, равной высоте и коэффициенте формы q_2 деревья имеют близкие значения видовых чисел. Данная закономерность позволила построить таблицу всеобщих видовых чисел.

$$V = (\pi * d^2 * H_{cp} * f) / 40000 \quad (1)$$

где, d – диаметр на высоте 1,3 м, см;

H_{cp} – средняя высота, м;

f – видовое число.

Объем деревьев по каждому участку варьировал следующим образом. Участок №1 в пределах от 0,279 до 2,488 м³; участок № 2 от 0,178 до 1,422 м³; участок №3 от 0,033 до 1,372 м³; участок № 4 от 0,065 до 1,510 м³.

Формула Третьякова Н.В.

Ствол растущего дерева является качественно иным объектом таксации по сравнению с объемом срубленного дерева. Исходя из этого, вычислялся объем отдельных деревьев по формуле (2).

$$V = \left(\frac{d^2}{10000}\right) * (0.31 * H_{cp} + 1) \quad (2)$$

Данные показывают, что объем на всех четырех участках варьировал от 0,032 до 2,226 м³.

Формула Ли-Чан-Ген.

Чтобы найти объем растущего дерева на каждом участке и каждой ступени толщины использовалась формула (3):

$$V = \left(\frac{\pi * d^2}{40000}\right) * (H_{cp} + 3) * F_3 \quad (3)$$

где, F_3 – эмпирическое видовое число (0,40)

Данные указывают на значительную изменчивость объемов в пределах от 0,032 до 2,237 м³.

Формула Денцина.

Немецкий лесовод Денцин вывел упрощенную формулу для приближенного определения объема ствола:

$$V_{ств} = 0,001 * d^2 \quad (4)$$

Данные таблицы 4 указывают на имеющуюся вариацию объемов 0,064 - 2,704 м³.

Формула Дементьева Н.Н.

Способ Н. Н. Дементьева основан на том, что при среднем коэффициенте формы 0,65 видовое число принято равным 0,425. Если коэффициент формы больше среднего, тогда поправка вводится со знаком плюс, и наоборот. В этом случае формула имеет следующий вид:

$$V = \frac{(H_{cp} + K) * \frac{d^2}{10000}}{K} \quad (5)$$

где, K – поправочный коэффициент, (+3).

Так, для стволов, у которых $q_2=0,7$, поправка +3 м; при $q_2=0,75$ поправка +6 м, при $q_2=0,6$ поправка со знаком минус, т.е. -3 м.

Согласно расчётам, вариация объема 0,034 - 2,374 м³.

Уравнение Цая С.И.

Для определения объема древесных стволов по разрядам высот Цаем С.И. предложены следующие формулы:

$$V = 0,40603 * (0,909 * d_{1,3} + 0,924)^2 * H_{cp} * 10^{-4} \quad (6)$$

(для 5 разряда высот),

$$V = 0,40054 * (0,9125 * d_{1,3} + 1,000)^2 * H_{cp} * 10^{-4} \quad (7)$$

(для 6 разряда высот),

В таблице 2 приведены объемы отдельных деревьев согласно уравнениям 6,7.

Таблица 2 - Объем отдельных деревьев согласно уравнениям Цая С.И.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.94.2>

Ступень толщин ы, см	Номер участка			
	разряд высоты			
	1	2	3	4

	5		5		6		6	
	Н _{ср, м}	V, м ³	Н _{ср, м}	V, м ³	Н _{ср, м}	V, м ³	Н _{ср, м}	V, м ³
8	-	-	-	-	12,8	0,035	-	-
12	-	-	-	-	13,7	0,078	11,0	0,063
16	-	-	17,5	0,170	17,7	0,172	15,2	0,148
20	17,5	0,259	19,5	0,289	17,7	0,262	16,3	0,242
24	19,7	0,413	21,0	0,441	18,5	0,389	16,8	0,354
28	19,8	0,560	21,0	0,593	19,2	0,541	18,0	0,508
32	21,0	0,768	21,8	0,798	19,5	0,712	18,2	0,664
36	22,7	1,042	21,8	1,004	20,3	0,933	18,2	0,834
40	22,5	1,270	22,5	1,270	17,7	0,995	19,8	1,117
44	23,5	1,598	-	-	17,8	1,210	19,7	1,334
48	23,2	1,867	-	-	-	-	-	-
52	23,3	2,200	-	-	-	-	-	-

Данные таблицы показывают, что в зависимости от разряда высот объем варьирует в пределах от 0,035 м³ до 2,200 м³.

Наиболее адекватным местным условиям произрастания сосны являлись уравнения С.И. Цая, представленные в соответствии с разрядом высоты. Данные расхождений объемов по каждому лесному участку в процентах приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Погрешности определения объема разными способами в сравнении с методом Цая С.И.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.94.3>

Ступень толщины, см	Аналитический метод определения объема дерева				
	стандартная формула	формула Третьякова Н.В.	формула Ли-Чан-Гена	формула Денцина	формула Дементьева Н.Н.
	величина погрешности в сравнении с объёмом по формуле С.С. Цая, %				
1	2	3	4	5	6
Лесной участок №1					
20	7,5	-3,6	-0,9	-0,6*	5,4
24	8,8	-3,7	-1,0	-0,7*	5,4
28	10,1	-2,7	0,0*	0,4	6,5
32	10,6	-2,7	0,1*	0,5	6,7
36	11,2	-3,0	-0,2*	0,3	6,4
40	12,0	-2,4	0,5*	0,9	7,1
44	12,3	-2,5	0,4*	0,9	7,0
48	12,7	-1,9	0,9*	1,4	7,6
52	13,1	-1,7	1,2*	1,7	7,9
Лесной участок №2					
16	4,9	-5,9	-3,3	-3,0	2,9*
20	7,1	-5,2	-2,5	-2,1*	3,8
24	8,6	-4,6	-1,9	-1,5*	4,5
28	9,9	-3,5	-0,7	-0,3*	5,7
32	10,6	-3,2	-0,4	0,1*	6,2
36	11,4	-2,5	0,3*	0,8	6,9
40	12,0	-2,4	0,5*	0,9	7,1
Лесной участок №3					
8	-6,4	-12,3	-10,0	-10,1	-4,6*
12	1,3*	-6,1	-3,5	-3,5	2,3
16	4,4	-6,3	-3,7	-3,5	2,4*

20	7,1	-3,9	-1,2	-0,9*	5,1
24	9,0	-2,9	-0,2	0,1*	6,2
28	10,1	-2,2	0,6*	0,9	7,0
32	11,2	-1,5	1,3*	1,6	7,8
36	12,0	-1,4	1,4*	1,8	8,0
40	12,9	1,3*	4,1	4,4	10,8
44	13,5	1,6*	4,5	4,8	11,2
Лесной участок №4					
12	2,6	-1,6	0,9	0,7*	6,8
16	5,2	-3,9	-1,3	-1,2*	4,9
20	7,5	-2,7	0,0*	0,2	6,3
24	9,2	-1,4	1,3*	1,5	7,7
28	10,4	-1,3*	1,5	1,8	8,0
32	11,4	-0,5*	2,3	2,6	8,9
36	12,2	0,3*	3,1	3,4	9,7
40	12,7	-0,5*	2,4	2,8	9,0
44	13,2	0,1*	3,0	3,4	9,7

Примечание: минимальная величина погрешности - *

На всех лесных участках наблюдалась общая трендовая закономерность на увеличение величины погрешности с ростом размера ступени толщины (таблица 3, рисунок 1). При этом самая значительная погрешность в тонкомерной части и после 28 см. В среднемерных ступенях выявлена минимальная погрешность – 20-28 см. Диаграмма (на примере лесного участка №3) демонстрирует особенности динамики величины ошибок в сравнении с формулой Цая С.И (рисунок 1).

С учётом данных всех участков можно констатировать, что оптимальной формулой для расчёта объёма отдельных деревьев является формула Ли-Чан-Гена. Близка по значениям также формула Денцина.

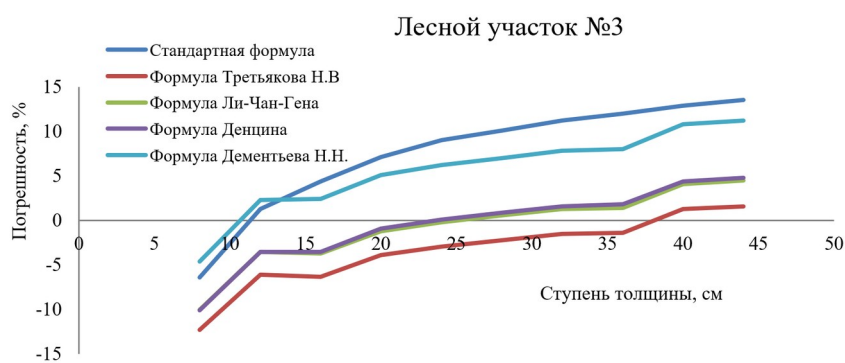


Рисунок 1 - Динамика трендовых линий погрешностей объёма по различным формулам с учётом ступеней толщины (на примере лесного участка №3)

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.94.4>

Заключение

В результате выполненных работ получены следующие итоги.

- Замеры диаметров и высот растущих деревьев показали, что для условий Улан-Удэнского лесничества соотношение показателей соответствует V и VI разряду высот.
- Объёмы растущих деревьев определялись по стандартной формуле, уравнениям Н.В. Третьякова, Ли-Чан-Гена, Денцина, и Н.Н. Дементьева.
- Сравнение объёмов выполнялось с местной формулой, полученной для районов Бурятии под руководством С.И. Цая.
- Максимальная положительная погрешность составила +13,5%, а минимальная -12,3%. Самые значительные различия характерны для тонкомерных и крупномерных ступеней толщины.

- Результаты расчётов объёмов показали, что с учётом разнообразия условий произрастания растущих деревьев для исходного района оптимальной, помимо формулы С.И. Цая является формула Ли-Чан-Гена, близка по точности к этой оценке уравнение Денцина, далее Н.В. Третьякова, Н.Н. Дементьева и стандартная формула.

Оптимизация способов определения объёмов растущих деревьев позволяет решать комплекс как хозяйственных, так и эколого-оценочных задач важных для рационального лесопользования.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Цай С.И. Сосновые и лиственничные леса Бурятской АССР (таксационный очерк) / С.И. Цай, А.Т. Пискун, М.В. Кузьменков. — Улан-Удэ: БКИ, 1981. — 160 с.
2. Hong Y. Combining Multisource Data and Machine Learning Approaches for Multiscale Estimation of Forest Biomass / Y. Hong, J. Xu, C. Pang [et al.] // *Forests*. — 2023. — 14. — 2248. — DOI: 10.3390/f14112248
3. Yu S. Research on the Estimation of Chinese Fir Stand Volume Based on UAV-LiDAR Technology / S.Yu, X. Chen, X. Huang [et al.] // *Forests*. — 2023. — 14. — 1252. — DOI: 10.3390/f14061252
4. Soininen V. Predicting Growth of Individual Trees Directly and Indirectly Using 20-Year Bitemporal Airborne Laser Scanning Point Cloud Data / V. Soninen, A. Kukko, X. Yu // *Forests*. — 2022. — 13. — 2040. — DOI: 10.3390/f13122040
5. Wang F. Development of Estimation Models for Individual Tree Aboveground Biomass Based on TLS-Derived Parameters / F. Wang, Y. Sun, W. Jia // *Forests*. — 2023. — 14. — 351. — DOI: 10.3390/f14020351
6. Pan X. Predicting the Stand Growth and Yield of Mixed Chinese Fir Forests Based on Their Site Quality, Stand Density, and Species Composition / X. Pan, S. Sun, W. Hua [et al.] // *Forests*. — 2023. — 14. — 2315. — DOI: 10.3390/f14122315
7. Rupšys P. Framework for Analyzing Individual-Tree and Whole-Stand Growth by Fusing Multilevel Data: Stochastic Differential Equation and Copula Network / P. Rupšys, G. Mozgeris, E. Petrauskas // *Forests*. — 2023. — 14. — 2037. — DOI: 10.3390/f14102037
8. Denih A. Developing a Model for Curve-Fitting a Tree Stem's Cross-Sectional Shape and Sapwood-Heartwood Transition in a Polar Diagram System Using Nonlinear Regression / A. Denih, G.R. Putra, Z. Kurniawan [et al.] // *Forests*. — 2023. — 14. — 1102. — DOI: 10.3390/f14061102
9. Sandoval S. Stem Taper Estimation Using Artificial Neural Networks for Nothofagus Trees in Natural Forest / S. Sandoval, E. Acuña // *Forests*. — 2022. — 13. — 2143. — DOI: 10.3390/f13122143
10. Gonzalez-Benecke C.A. Using Tree Height, Crown Area and Stand-Level Parameters to Estimate Tree Diameter, Volume, and Biomass of Pinus radiata, Eucalyptus globulus and Eucalyptus Nitens / C.A. Gonzalez-Benecke, M.P. Fernández, J. Gayoso [et al.] // *Forests*. — 2022. — 13. — 2043. — DOI: 10.3390/f13122043
11. Hong Y. Combining Multisource Data and Machine Learning Approaches for Multiscale Estimation of Forest Biomass / Y. Hong, J. Xu, C. Wu [et al.] // *Forests*. — 2023. — 14. — 2248. — DOI: 10.3390/f14112248
12. Linkevičius E. The Growing Dynamic of Pure Scots Pine Stands Using Different Thinning Regimes in Lithuania / E. Linkevičius, B. Šilinskas, L. Beniušienė // *Forests*. — 2023. — 14. — 1610. — DOI: 10.3390/f14081610
13. Шевелёв С.Л. Таксация леса: учебное пособие / С.Л. Шевелёв. — Красноярск: ФГБОУ ВО СибГАУ, 2016. — 265 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Tsai S.I. Sosnovye i listvennichnye lesa Buryatskoj ASSR (taksacionnyj ocherk) [Pine and Larch Forests of the Buryat ASSR (taxational essay)] / S.I. Tsaj, A.T. Piskun, M.V. Kuz'menkov. — Ulan-Ude: BKI, 1981. — 160 p. [in Russian]
2. Hong Y. Combining Multisource Data and Machine Learning Approaches for Multiscale Estimation of Forest Biomass / Y. Hong, J. Xu, C. Pang [et al.] // *Forests*. — 2023. — 14. — 2248. — DOI: 10.3390/f14112248
3. Yu S. Research on the Estimation of Chinese Fir Stand Volume Based on UAV-LiDAR Technology / S.Yu, X. Chen, X. Huang [et al.] // *Forests*. — 2023. — 14. — 1252. — DOI: 10.3390/f14061252
4. Soininen V. Predicting Growth of Individual Trees Directly and Indirectly Using 20-Year Bitemporal Airborne Laser Scanning Point Cloud Data / V. Soninen, A. Kukko, X. Yu // *Forests*. — 2022. — 13. — 2040. — DOI: 10.3390/f13122040
5. Wang F. Development of Estimation Models for Individual Tree Aboveground Biomass Based on TLS-Derived Parameters / F. Wang, Y. Sun, W. Jia // *Forests*. — 2023. — 14. — 351. — DOI: 10.3390/f14020351
6. Pan X. Predicting the Stand Growth and Yield of Mixed Chinese Fir Forests Based on Their Site Quality, Stand Density, and Species Composition / X. Pan, S. Sun, W. Hua [et al.] // *Forests*. — 2023. — 14. — 2315. — DOI: 10.3390/f14122315
7. Rupšys P. Framework for Analyzing Individual-Tree and Whole-Stand Growth by Fusing Multilevel Data: Stochastic Differential Equation and Copula Network / P. Rupšys, G. Mozgeris, E. Petrauskas // *Forests*. — 2023. — 14. — 2037. — DOI: 10.3390/f14102037

8. Denih A. Developing a Model for Curve-Fitting a Tree Stem's Cross-Sectional Shape and Sapwood–Heartwood Transition in a Polar Diagram System Using Nonlinear Regression / A. Denih, G.R. Putra, Z. Kurniawan [et al.] // *Forests*. — 2023. — 14. — 1102. — DOI: 10.3390/f14061102
9. Sandoval S. Stem Taper Estimation Using Artificial Neural Networks for Nothofagus Trees in Natural Forest / S. Sandoval, E. Acuña // *Forests*. — 2022. — 13. — 2143. — DOI: 10.3390/f13122143
10. Gonzalez-Benecke C.A. Using Tree Height, Crown Area and Stand-Level Parameters to Estimate Tree Diameter, Volume, and Biomass of *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus Nitens* / C.A. Gonzalez-Benecke, M.P. Fernández, J. Gayoso [et al.] // *Forests*. — 2022. — 13. — 2043. — DOI: 10.3390/f13122043
11. Hong Y. Combining Multisource Data and Machine Learning Approaches for Multiscale Estimation of Forest Biomass / Y. Hong, J.Xu, C. Wu [et al.] // *Forests*. — 2023. — 14. — 2248. — DOI: 10.3390/f14112248
12. Linkevičius E. The Growing Dynamic of Pure Scots Pine Stands Using Different Thinning Regimes in Lithuania / E. Linkevičius, B. Šilinskas, L. Beniušienė // *Forests*. — 2023. — 14. — 1610. — DOI: 10.3390/f14081610
13. Shevelev S.L. Taksaciya lesa: uchebnoe posobie [Forest Taxation: textbook] / S.L. Shevelev. — Krasnoyarsk: FSBEI HE SibSAU, 2016. — 265 p. [in Russian]