

Леса России и хозяйство в них. 2025. № 2 (93). С. 35–44.

Forests of Russia and economy in them. 2025. № 2 (93). P. 35–44.

Научная статья

УДК 630*52:630*174.754

DOI: 10.51318/FRET.2025.93.2.004

МОДЕЛИ ДИАМЕТРА СТВОЛА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЫСОТЫ ДЕРЕВА И ДИАМЕТРА КРОН В ЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЛОСАХ СВЕРДЛОВСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Павел Николаевич Уразов¹, Владимир Андреевич Усольцев²,
Алина Флоритовна Уразова³

^{1–3} Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

² Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия

¹ gold-pashka@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4150-2555>

² Usoltsev50@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4587-8952>

³ urazovaaf@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2771-2334>

Аннотация. Лесные полосы в зоне отвода железных дорог играют важную защитную роль, предотвращая снежные заносы железнодорожных путей. Эта защитная роль во многом определяется структурой лесного полога. Современные технологии лидарного зондирования обеспечивают крупномасштабное картографирование лесов с получением трехмерной информации о структуре лесного полога, степени деградации лесов, надземной фитомассе, первичной продукции и биоразнообразию. Лидарная технология непосредственно не дает информацию о надземной фитомассе деревьев, и она оценивается косвенно по дистанционно измеряемым показателям, важнейшими из которых являются высота деревьев и диаметр кроны. Имеются многочисленные модели и таблицы для оценки фитомассы деревьев как по диаметру ствола, так и по двум переменным – высоте дерева и диаметру ствола. Для их совмещения с данными лидарного зондирования необходима разработка моделей зависимости диаметра ствола от высоты дерева и диаметра кроны. Цель нашего исследования – по фактическим данным морфометрии 280 деревьев пяти древесных пород, произрастающих в путезащитных лесных полосах Свердловской железной дороги, построить двухфакторные модели зависимости диаметра ствола от высоты дерева и диаметра кроны и сравнить полученные модели с всеобщими моделями, рассчитанными для лесов Евразии (Усольцев, 2016). Полученные модели объясняют 71–91 % изменчивости диаметра ствола. Согласно моделям диаметр ствола у всех пород положительно связан как с высотой дерева, так и с диаметром кроны. Вклады высоты дерева и диаметра кроны в объяснение изменчивости диаметра ствола составили соответственно 44 и 56 %. Сравнение полученных моделей с всеобщими для лесов Евразии показало при прочих равных условиях наличие существенных различий в диаметрах ствола от 64 до –13 %, по-видимому, вследствие специфичной морфоструктуры насаждений в защитных лесных полосах.

Ключевые слова: сосна, береза, ель, тополь, лиственница, защитные лесные полосы, диаметр ствола, регрессионные модели

Для цитирования: Уразов П. Н., Усольцев В. А., Уразова А. Ф. Модели диаметра ствола в зависимости от высоты дерева и диаметра кроны в защитных лесных полосах Свердловской железной дороги // Леса России и хозяйство в них. 2025. № 2 (93). С. 35–44.

Original article

STEM DIAMETER MODELS DEPENDING ON TREE HEIGHT AND CROWN DIAMETER IN PROTECTIVE FOREST BELTS OF THE SVERDLOVSK RAILWAY

Pavel N. Urazov¹, Vladimir A. Usoltsev², Alina F. Urazova³

¹⁻³ Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

² Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia

¹ gold-pashka@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4150-2555>

² Usoltsev50@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4587-8952>

³ urazovaaf@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2771-2334>

Abstract. Forest belts in the railway protectional zone play an important role, preventing snow drifts of railway tracks. This protective role is largely determined by the structure of the forest canopy. Modern lidar sounding technologies provide large-scale mapping of forests to obtain three-dimensional information about the structure of the forest canopy, the degree of forest degradation, aboveground phytomass, primary production and biodiversity. Lidar technology does not directly provide information about the aboveground phytomass of trees, and it is estimated indirectly by remotely measured indicators, the most important of which are the tree height and the crown diameter. There are numerous models and tables for estimating the tree phytomass both by stem diameter and by two variables – tree height and stem diameter. To combine them with lidar sounding data, it is necessary to develop models of the dependence of the stem diameter on the tree height and the crown diameter. The purpose of our research: based on the actual data of the morphometry of 280 trees of five tree species growing in the forest shelterbelts of the Sverdlovsk Railway, to construct two-factor models of the dependence of the stem diameter on the tree height and the crown diameter and compare the obtained models with generic models calculated for the forests of Eurasia (Usoltsev, 2016). The obtained models explain 71–91 % of the variability of the stem diameter. According to the models, the diameter of the stem in all species is positively related to both the tree height and the crown diameter. The contributions of tree height and crown diameter to explain the variability of stem diameter were 44 and 56 %, respectively. Comparison of the obtained models with those universal for the forests of Eurasia showed, all other parameters being equal, the presence of significant differences in stem diameters from 64 to –13 %, apparently due to the specific morphostructure of forests in protective forest belts.

Keywords: pine, birch, spruce, poplar, larch, protective forest belts, stem diameter, regression models

For citation: Urazov P. N., Usoltsev V. A., Urazova A. F. Stem diameter models depending on tree height and crown diameter in protective forest belts of the Sverdlovsk railway // Forests of Russia and economy in them. 2025. № 2 (93). P. 35–44.

Введение

Лесные полосы в зоне отвода железных дорог играют важную защитную роль, предотвращая снежные заносы железнодорожных путей (Оценка..., 2024). Эта защитная роль во многом определяется структурой лесного полога. Современные технологии лидарного зондирования обеспечивают крупномасштабное картографирование лесов

с получением трехмерной информации о структуре лесного полога, степени деградации лесов, надземной фитомассе, первичной продукции и биоразнообразию. Общемировой библиометрический анализ по данной теме на основе 412 публикаций, проиндексированных в базе данных Scopus за период 2004–2022 гг., показал, что за последние пять лет количество публикаций нарастало

в геометрической прогрессии (Forestry..., 2024). Использование данных дистанционного зондирования с применением методов нейронных сетей показало обнадеживающие результаты по идентификации породного состава лесного полога (Data..., 2023).

Лидарная технология непосредственно не дает информацию о надземной фитомассе деревьев, и она оценивается косвенно по дистанционно измеряемым показателям, важнейшими из которых являются высота деревьев и диаметр кроны (Estimation..., 2010; Allometric..., 2017; Reduced..., 2023). На основе базы данных о фитомассе деревьев лесообразующих пород Евразии были разработаны модели зависимости как фракций надземной фитомассы (Усольцев, 2016; Усольцев, Цепордей, 2021; Усольцев и др., 2023; Уразова и др., 2024), так и фитомассы корней (Усольцев и др., 2022а) от высоты дерева и диаметра кроны, объясняющие изменчивость фитомассы в диапазонах соответственно 73–98 и 78–96 %.

Кроме того, лидарная технология помогает отслеживать реакцию экосистем на изменения климата, деградацию лесов и изменения в землепользовании (A universal..., 2012). Совмещение данных наземного и воздушного лазерного сканирования позволяет повысить точность оценок диаметра кроны и высоты дерева (Non-destructive..., 2022). Последние пять лет лидарные технологии показывают способность напрямую предоставлять точную информацию о вертикальных структурах растительности в глобальном масштабе (Evaluation..., 2024).

Для экологических исследований на основе лидарных технологий в связи с изменением климата необходима информация о наземном распределении деревьев не только по фитомассе, но и по диаметру стволов деревьев (Predicting..., 2018; Prediction..., 2019; An automated..., 2023). Известна довольно тесная связь диаметра ствола с диаметром кроны. На примере ели восточной в Турции был выполнен сравнительный анализ названной связи по семи разным моделям. Наименьшую объяснительную способность показала линейная зависимость ($R^2 = 0,834$), наибольшую – полином третьего порядка ($R^2 = 0,862$), и проме-

жуточное место по коэффициенту детерминации заняла аллометрическая (степенная) зависимость ($R^2 = 0,835$) (Sönmez, 2009). По материалам базы данных о фитомассе деревьев лесообразующих пород Евразии были рассчитаны двухфакторные аллометрические зависимости диаметра ствола от высоты дерева и диаметра кроны для 26 пород, показавшие коэффициенты детерминации в диапазоне от 0,802 для липы до 0,983 для ивы (Усольцев, 2016). Аналогичные результаты были получены на уровне дерева норвежскими и китайскими исследователями (Predicting..., 2018; Prediction..., 2019; An automated..., 2023) и на уровне древостоя – японскими учеными (Umemi, Inoue, 2024).

К настоящему времени имеются многочисленные модели и таблицы для оценки фитомассы деревьев как по диаметру ствола (Усольцев и др., 2022б), так и по двум переменным – высоте дерева и диаметру ствола (Усольцев, 2016). Для их совмещения с данными лидарного зондирования необходима разработка моделей зависимости диаметра ствола от высоты дерева и диаметра кроны.

Цель, методика и объекты исследования

Цель нашего исследования заключалась в том, чтобы:

- по фактическим данным морфометрии деревьев пяти древесных пород, произрастающих в путезащитных лесных полосах вдоль железной дороги в Свердловской области, построить двухфакторные модели зависимости диаметра ствола от высоты дерева и диаметра кроны;
- сравнить полученные модели с всеобщими моделями, рассчитанными для лесов Евразии (Усольцев, 2016).

Для реализации поставленных задач была заложена серия пробных площадей, таксационная характеристика которых была опубликована ранее (Оценка соответствия..., 2024). На каждой пробной площади были выполнены обмеры от 10 до 15 модельных деревьев, в том числе 44 – сосны обыкновенной, 164 – березы повислой, 40 – тополя бальзамического, 17 – ели сибирской и 15 – лиственницы сибирской. Методика обмеров изложена ранее (Оценка соответствия..., 2024).

Результаты и их обсуждение

По исходным данным модельных деревьев рассчитаны регрессионные модели

$$\ln(d) = a_0 + a_1 \ln(h) + a_2 \ln(D_k), \quad (1)$$

где d – диаметр ствола на высоте груди, см;

D_k – диаметр кроны, м;

h – высота дерева, м.

Значения полученных расчетом коэффициентов a_0 , a_1 и a_2 в модели (1) приведены в табл. 1. Коэффициенты a_0 , a_1 и a_2 в модели (1) значимы на уровнях от $p < 0,05$ до $p < 0,001$.

Соотношение фактических и расчетных значений $\ln(d)$ (рис. 1) свидетельствует о равномерности остаточной дисперсии и отсутствии корреляции остатков.

Результаты анализа вкладов диаметра кроны и высоты дерева в объяснение варьирования диаметра ствола показаны в табл. 2. Геометрическая 3D-интерпретация моделей (1) дана на рис. 2.

Представляет интерес сравнить полученные модели диаметра стволов в насаждениях защит-

ных полос с всеобщими моделями, рассчитанными по базе данных о фитомассе деревьев лесобразующих пород Евразии (табл. 3).

Сопоставление моделей, приведенных в табл. 1 и 3, показало, что при одних и тех же значениях высот деревьев и диаметров крон диаметр ствола в защитных полосах больше значений всеобщих моделей у сосен на 46 %, у берез на 64 %, у елей на 3 %, у тополей на 54 %, а у лиственниц, напротив, меньше на 13 %. Таким образом, различия диаметров ствола при прочих равных условиях в защитных лесных полосах и рассчитанных по всеобщим моделям варьируют от 64 до –13 %, что, по-видимому, обусловлено специфичной морфоструктурой насаждений в защитных полосах. Впрочем, в зарубежной литературе есть свидетельства практически совпадающих значений диаметра ствола как функции высоты дерева и диаметра кроны, рассчитываемых по локальным и внешним данным (Predicting..., 2018).

Таблица 1
Table 1

Характеристика моделей (1)
Characteristics of models (1)

Порода Species	Коэффициенты модели (1) The coefficients of the model (1)			adjR ^{2**}	SE***
	a_0^*	$a_1 \ln(h)$	$a_2 \ln(D_k)$		
Сосна Pine	0,7367	0,6229	0,5611	0,910	0,075
Береза Birch	0,3695	0,7641	0,4367	0,705	0,175
Ель Spruce	–0,1079	0,9620	0,3595	0,760	0,143
Тополь Poplar	1,0762	0,3585	0,6916	0,770	0,128
Лиственница Larch	–0,9393	1,2232	0,3156	0,747	0,088

* В свободный член введена поправка на логарифмирование (Baskerville, 1972);

** adjR² – коэффициент детерминации, скорректированный на число переменных;

*** SE – стандартная ошибка уравнения.

* Logarithm correction (Baskerville, 1972) was introduced into the free term;

** adjR² is the coefficient of determination adjusted for the number of variables;

*** SE is the standard error of the equation.

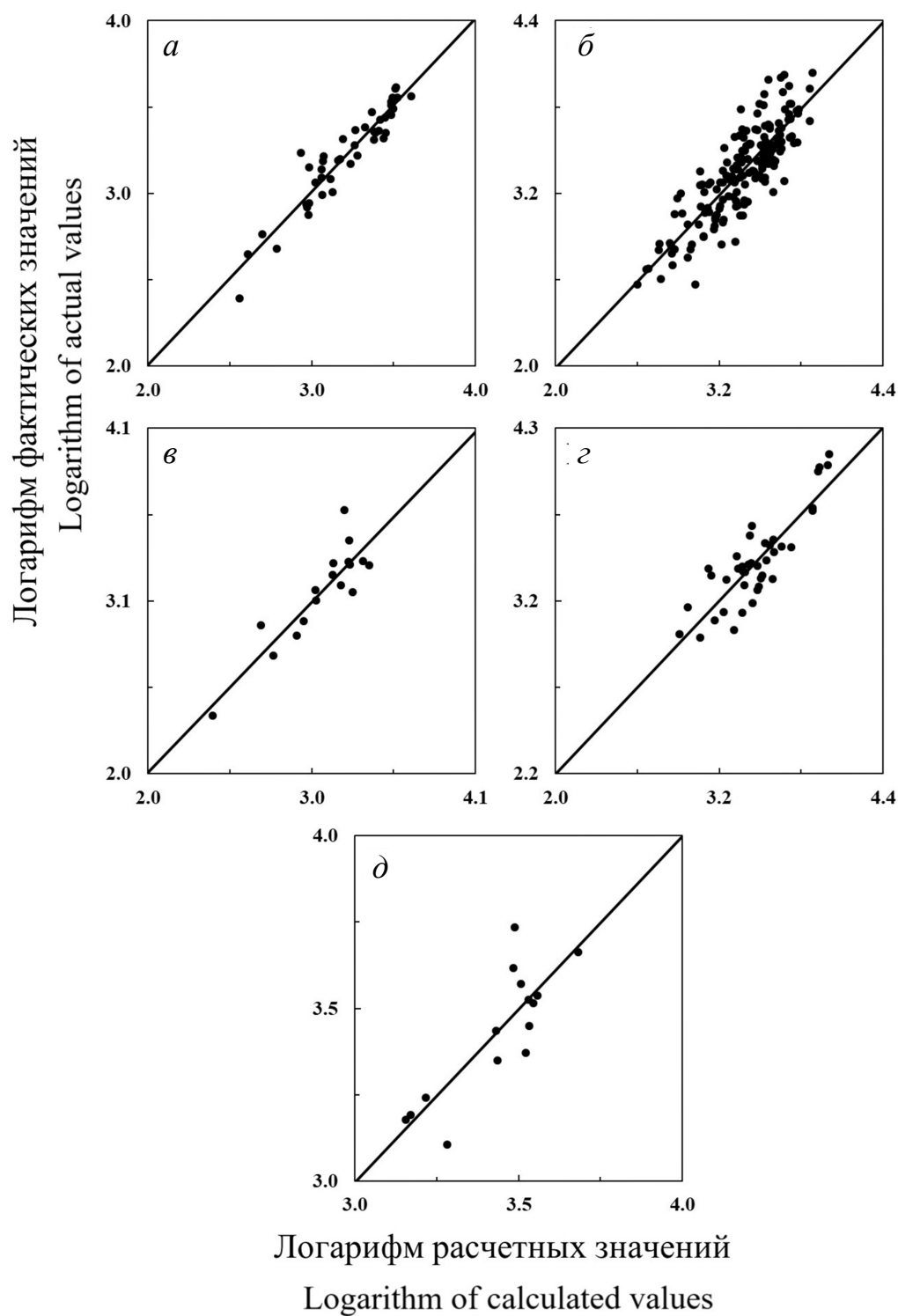


Рис. 1. Соотношение фактических и расчетных по модели (1) значений зависимой переменной для сосны (*a*), березы (*б*), ели (*в*), тополя (*г*) и лиственницы (*д*)

Fig. 1. The ratio of the actual and calculated values of the dependent variable according to the model (1) for pine (*a*), birch (*б*), spruce (*в*), poplar (*г*) and larch (*д*)

Таблица 2

Table 2

Вклад независимых переменных модели (1) в объяснение
изменчивости зависимых переменных, %
Contribution of the independent variables of the model (1) to the explanation
of the variability of dependent variables, %

Порода Species	Зависимая переменная Dependent variable	
	$\ln(h)$	$\ln(D_k)$
Сосна Pine	35	65
Береза Birch	60	40
Ель Spruce	26	74
Тополь Poplar	36	64
Лиственница Larch	65	35
В среднем по породам Average by breed	$44,4 \pm 17,1$	$55,6 \pm 17,1$

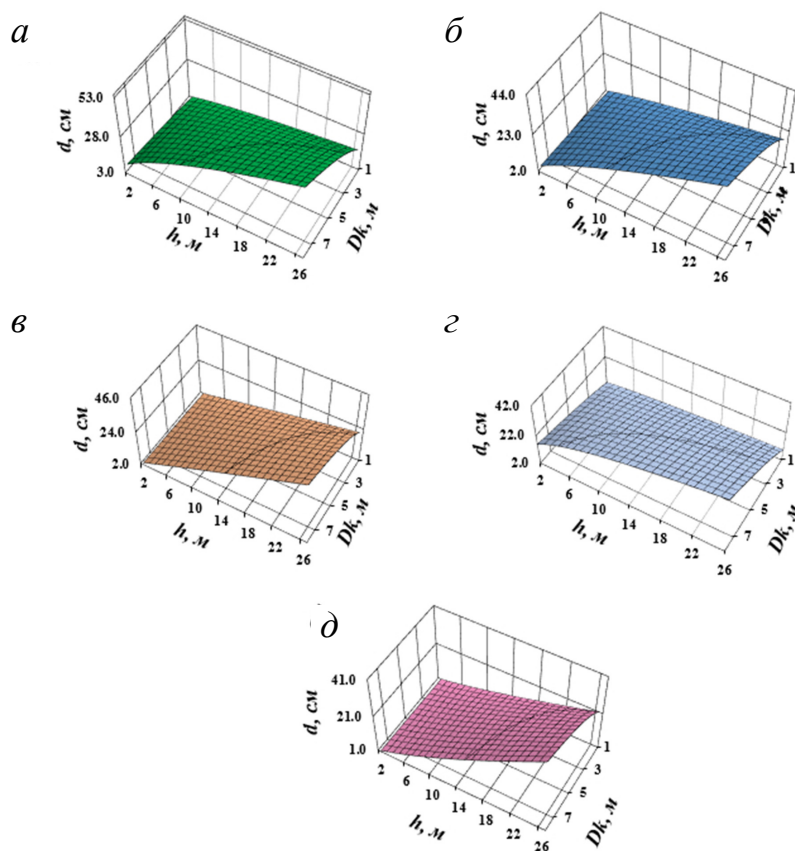


Рис. 2. Зависимость диаметра ствола от высоты дерева и диаметра кроны согласно модели (1):
для сосны (а), березы (б), ели (в), тополя (г) и лиственницы (д)

Fig. 2. Dependence of stem diameter upon tree height and crown diameter according to model (1):
for pine (a), birch (б), spruce (в), poplar (г) and larch (д)

Таблица 3
Table 3

Характеристика моделей (1), рассчитанных по материалам базы данных о фитомассе деревьев
лесообразующих пород Евразии (Усольцев, 2016)
Characteristics of models (1) calculated from the materials of the database on phytomass of trees
of forest-forming species of Eurasia (Usoltsev, 2016)

Порода Species	Коэффициенты модели (1) The coefficients of the model (1)			adjR ₂ **	SE***
	a_0^*	$a_1 \ln(h)$	$a_2 \ln(D_k)$		
Сосна Pine	–0,1306	0,9550	0,2897	0,951	0,28
Береза Birch	–0,7187	1,0228	0,3889	0,924	0,20
Ель Spruce	–0,2564	1,0080	0,3336	0,956	0,20
Тополь Poplar	0,0151	0,5301	0,8411	0,905	0,15
Лиственница Larch	–0,3209	0,9703	0,4407	0,926	0,22

Выводы

Таким образом, по данным 280 модельных деревьев, полученным для пяти древесных пород в защитных лесных полосах Свердловской железной дороги, рассчитаны аллометрические модели зависимости диаметра ствола на высоте груди от высоты дерева и диаметра кроны, объясняющие 71–91 % изменчивости диаметра ствола. Согласно моделям диаметр ствола у всех пород положительно связан как с высотой дерева, так и с диа-

метром кроны. Вклады высоты дерева и диаметра кроны в объяснение изменчивости диаметра ствола составили соответственно 44 и 56 %. Сравнение полученных моделей с всеобщими для лесов Евразии показало при прочих равных условиях наличие существенных различий в диаметрах ствола от 64 до –13 %, по-видимому, вследствие специфичной морфоструктуры насаждений в защитных лесных полосах.

Список источников

Оценка соответствия конструктивных характеристик защитных лесных полос объемам снегоприноса на участках Свердловской железной дороги / П. Н. Уразов, З. Я. Нагимов, Э. Ф. Герц [и др.] // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2024. № 1. С. 19–27.

Уразова А. Ф., Нагимов З. Я., Уразов П. Н. Таксационная характеристика защитных лесных полос вдоль железной дороги Екатеринбург – Каменск-Уральский // Леса России и хозяйство в них. 2024. № 1 (88). С. 101–111.

Усольцев В. А. Фитомасса модельных деревьев лесообразующих пород Евразии: база данных, климатически обусловленная география, таксационные нормативы. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2016. 336 с.

Усольцев В. А., Цепордей И. С. Обновленные аллометрические модели биомассы 19 древесных видов и родов Евразии для бортового лазерного зондирования // Хвойные бореальной зоны. 2021. Т. XXXIX, № 6. С. 469–479.

- Усольцев В. А., Цепордей И. С., Норицин Д. В. Аллометрические модели для оценки биомассы корней лесообразующих пород Евразии дистанционными методами с учетом глобального потепления // Хвойные бореальной зоны. 2022а. Т. 40, № 1. С. 65–75.
- Усольцев В. А., Цепордей И. С., Норицин Д. В. Аллометрические модели биомассы деревьев лесообразующих пород Урала // Леса России и хозяйство в них. 2022б. № 1. С. 4–14. DOI: 10.51318/FRET.2022.85.72.001
- Усольцев В. А., Цепордей И. С., Часовских В. П. Модели для оценки биомассы деревьев лесообразующих видов по диаметру кроны в связи с использованием дронов // Хвойные бореальной зоны. 2023. Т. 41, № 4. С. 300–305.
- A universal airborne LiDAR approach for tropical forest carbon mapping / G. P. Asner, J. Mascaro, H. C. Muller-Landau [et al.] // *Oecologia*. 2012. Vol. 168. P. 1147–1160.
- Allometric equations for integrating remote sensing imagery into forest monitoring programmes / T. Jucker, J. Caspersen, J. Chave [et al.] // *Global Change Biology*. 2017. Vol. 23. P. 177–190.
- An automated pipeline for extracting forest structural parameters by integrating UAV and ground-based LiDAR point clouds / D. Xu, G. Chen, S. Zhang [et al.] // *Forests*. 2023. Vol. 14. Article 2179. DOI: 10.3390/f14112179
- Baskerville G. L. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass // *Canadian Journal of Forest Research*. 1972. Vol. 2, № 1. P. 49–53.
- Data science competition for cross-site individual tree species identification from airborne remote sensing data / S. J. Graves, S. Marconi, D. Stewart [et al.] // *PeerJ*. 2023. Vol. 11. Article e16578. DOI: 10.7717/peerj.16578
- Estimation of tropical forest height and biomass dynamics using lidar remote sensing at la Selva, Costa Rica / R. O. Dubayah, S. L. Sheldon, D. B. Clark [et al.] // *Journal of Geophysical Research-Biogeosciences*. 2010. Vol. 115. Article G00E09. DOI: 10.1029/2009JG000933
- Evaluation of height metrics and above-ground biomass density from GEDI and ICESat-2 over Indian tropical dry forests using airborne LiDAR data / S. R. Rodda, R. R. Nidamanuri, R. Fararoda [et al.] // *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 2024. Vol. 52. P. 841–856.
- Forestry applications of space-borne LiDAR sensors: A worldwide bibliometric analysis / F. J. Aguilar, F. A. Rodríguez, M. A. Aguilar [et al.] // *Sensors*. 2024. Vol. 24. Article 1106. DOI: 10.3390/s24041106
- Non-destructive estimation of individual tree biomass: Allometric models, terrestrial and UAV laser scanning / B. Brede, L. Terryn, N. Barbier [et al.] // *Remote Sensing of Environment*. 2022. Vol. 280. Article 113180. URL: <https://www.researchgate.net/publication/362515464> (accessed 17.06.2024).
- Predicting stem diameters and aboveground biomass of individual trees using remote sensing data / M. Dalponte, L. Frizzera, H.O. Yorka [et al.] // *Ecological Indicators*. 2018. Vol. 85. P. 367–376.
- Prediction of stem diameter and biomass at individual tree crown level with advanced machine learning techniques / S. Malek, F. Miglietta, T. Gobakken [et al.] // *iForest*. 2019. Vol. 12. P. 323–329. DOI: 10.3832/for2980-012
- Reduced model complexity for efficient characterisation of savanna woodland structure using terrestrial laser scanning / L. Luck, M. Kaestli, L. B. Hutley [et al.] // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2023. Vol. 118. Article 103255. DOI: 10.1016/j.jag.2023.103255
- Sönmez T. Diameter at breast height – crown diameter prediction models for *Picea orientalis* // *African Journal of Agricultural Research*. 2009. Vol. 4 (3). P. 215–219.
- Umeki K., Inoue A. A model for predicting mean diameter at breast height from mean tree height and stand density // *Journal of Forest Research*. 2024. Vol. 29. № 3. P. 186–195. DOI: 10.1080/13416979.2024.2311946

References

- A universal airborne LiDAR approach for tropical forest carbon mapping / *G. P. Asner, J. Mascaro, H. C. Muller-Landau* [et al.] // *Oecologia*. 2012. Vol. 168. P. 1147–1160.
- Allometric equations for integrating remote sensing imagery into forest monitoring programmes / *T. Jucker, J. Caspersen, J. Chave* [et al.] // *Global Change Biology*. 2017. Vol. 23. P. 177–190.
- An automated pipeline for extracting forest structural parameters by integrating UAV and ground-based LiDAR point clouds / *D. Xu, G. Chen, S. Zhang* [et al.] // *Forests*. 2023. Vol. 14. Article 2179. DOI: 10.3390/f14112179
- Assessment of the compliance of the design characteristics of protective forest belts with the snowfall volumes on the Sverdlovsk railway sections / *P. N. Urazov, Z. Ya. Nagimov, E. F. Hertz* [et al.] // *Proceedings of the St. Petersburg Scientific Research Institute of Forestry*. 2024. № 1. P. 19–27. (In Russ.)
- Baskerville G. L.* Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass // *Canadian Journal of Forest Research*. 1972. Vol. 2, № 1. P. 49–53.
- Data science competition for cross-site individual tree species identification from airborne remote sensing data / *S. J. Graves, S. Marconi, D. Stewart* [et al.] // *PeerJ*. 2023. Vol. 11. Article e16578. DOI: 10.7717/peerj.16578
- Estimation of tropical forest height and biomass dynamics using lidar remote sensing at la Selva, Costa Rica / *R. O. Dubayah, S. L. Sheldon, D. B. Clark* [et al.] // *Journal of Geophysical Research-Biogeosciences*. 2010. Vol. 115. Article G00E09. DOI: 10.1029/2009JG000933
- Evaluation of height metrics and above-ground biomass density from GEDI and ICESat-2 over Indian tropical dry forests using airborne LiDAR data / *S. R. Rodda, R. R. Nidamanuri, R. Fararoda* [et al.] // *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 2024. Vol. 52. P. 841–856.
- Forestry applications of space-borne LiDAR sensors: A worldwide bibliometric analysis / *F. J. Aguilar, F. A. Rodríguez, M. A. Aguilar* [et al.] // *Sensors*. 2024. Vol. 24. Article 1106. DOI: 10.3390/s24041106
- Non-destructive estimation of individual tree biomass: Allometric models, terrestrial and UAV laser scanning / *B. Brede, L. Terryn, N. Barbier* [et al.] // *Remote Sensing of Environment*. 2022. Vol. 280. Article 113180. URL: <https://www.researchgate.net/publication/362515464> (accessed 17.06.2024).
- Predicting stem diameters and aboveground biomass of individual trees using remote sensing data / *M. Dalponte, L. Frizzera, H.O. Yorka* [et al.] // *Ecological Indicators*. 2018. Vol. 85. P. 367–376.
- Prediction of stem diameter and biomass at individual tree crown level with advanced machine learning techniques / *S. Malek, F. Miglietta, T. Gobakken* [et al.] // *iForest*. 2019. Vol. 12. P. 323–329. DOI: 10.3832/ifor2980-012
- Reduced model complexity for efficient characterisation of savanna woodland structure using terrestrial laser scanning / *L. Luck, M. Kaestli, L. B. Hutley* [et al.] // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2023. Vol. 118. Article 103255. DOI: 10.1016/j.jag.2023.103255
- Sönmez T.* Diameter at breast height – crown diameter prediction models for *Picea orientalis* // *African Journal of Agricultural Research*. 2009. Vol. 4 (3). P. 215–219.
- Umeki K., Inoue A.* A model for predicting mean diameter at breast height from mean tree height and stand density // *Journal of Forest Research*. 2024. Vol. 29. № 3. P. 186–195. DOI: 10.1080/13416979.2024.2311946
- Urazova A. F., Nagimov V. Z., Urazov P. N.* Taxation characteristics of protective forest belts along the railroad Yekaterinburg – Kamensk-Uralsky // *Forests of Russia and economy in them*. 2024. № 1 (88). P. 101–111. (In Russ.)
- Usoltsev V. A.* Single-tree biomass of forest-forming species in Eurasia: database, climate-related geography, weight tables. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2016. 336 p.

- Usoltsev V. A., Tsepordey I. S. Updated biomass models of 19 Eurasian wood species and genera intended for airborne LiDAR sensing // Conifers of the boreal area. 2021. Vol. XXXIX, № 6. P. 469–479. (In Russ.)
- Usoltsev V. A., Tsepordey I. S., Chasovskikh V. P. Models for estimating biomass of forest-forming species by crown diameter as related to drone involving // Conifers of the boreal area. 2023. Vol. 41, № 4. P. 300–305. (In Russ.)
- Usoltsev V. A., Tsepordey I. S., Noritsin D. V. Allometric models for estimating the root biomass of Eurasian forest-forming genera by remote sensing as related to global warming // Conifers of the boreal area. 2022a. Vol. 40, № 1. P. 65–75. (In Russ.)
- Usoltsev V. A., Tsepordey I. S., Noritsin D. V. Allometric models of single-tree biomass for forest-forming species of the Urals // Forests of Russia and economy in them. 2022b. № 1. P. 4–14. DOI: 10.51318/FRET.2022.85.72.001 (In Russ.)

Информация об авторах

П. Н. Уразов – аспирант;

В. А. Усольцев – доктор сельскохозяйственных наук, профессор;

А. Ф. Уразова – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент.

Information about the authors

P. N. Urazov – postgraduate student;

V. A. Usoltsev – Doctor of Agricultural Sciences, Professor;

A. F. Urazova – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor.

Статья поступила в редакцию 12.07.2024; принята к публикации 10.01.2025.

The article was submitted 12.07.2024; accepted for publication 10.01.2025.
