

Леса России и хозяйство в них. 2023. № 1. С. 30–40

Forests of Russia and economy in them. 2023. № 1. P. 30–40

Научная статья

УДК 630*52

DOI 10.51318/FRET.2023.89.74.003

БИОМАССА ПОДЛЕСОЧНЫХ ВИДОВ УРАЛА И ЕЕ АЛЛОМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

Владимир Андреевич Усольцев¹, Иван Степанович Цепордей²,
Алина Флоритовна Уразова³, Александр Вячеславович Борников⁴

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

^{1,2} Ботанический сад Уральского отделения РАН, Екатеринбург, Россия

⁴ Оренбургский государственный аграрный университет, Оренбург, Россия

¹ Usoltsev50@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4587-8952>

² ivan.tsepordey@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-4747-5017>

³ ura-alina@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2771-2334>

⁴ bornikov87@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-6193-3889>

Аннотация. В связи с изменением климата существенно возросла актуальность оценки биомассы и углероддепонирующей способности лесов на континентальном и глобальном уровнях. Для этих целей формируются глобальные базы данных о биомассе и первичной продукции деревьев и древостоев как для основного, так и для нижнего яруса. Однако данные о биомассе растений подлесочных видов для лесов России представлены лишь в единичных работах. Целью наших исследований были получение фактических данных о структуре надземной биомассы подлесочных видов, произрастающих в условиях средней и южной тайги Урала, и разработка аллометрических моделей для фракций биомассы. В результате выполненных исследований впервые для лесов Урала получены фактические данные о биомассе и годовом приросте подлеска 9 видов в количестве 102 растений. Предложенные аллометрические модели для фракций надземной биомассы растений подлеска характеризуются высокими показателями адекватности исходным данным на уровне вероятности $p < 0,001$. Аллометрические модели биомассы и ее годового прироста дают возможность оперативной оценки биомассы и чистой первичной продукции подлесочных видов на единице площади лесов Урала, а также для оценки вклада нижних ярусов в их углероддепонирующую способность.

Ключевые слова: нижний ярус, подлесочные виды растений, надземная биомасса, годичный прирост биомассы, фракции биомассы, аллометрические модели

Финансирование: публикация подготовлена в рамках Государственного задания Ботанического сада УрО РАН.

Благодарности: авторы благодарят канд. с.-х. наук И. Е. Бергмана за ценные замечания при подготовке рукописи к изданию, а также его, А. С. Касаткина, А. С. Жанабаеву и П. Уразова за активное участие в получении экспериментальных данных на пробных площадях.

Scientific article

BIOMASS OF THE UNDERWOOD PLANTS IN THE URAL AND ITS ALLOMETRIC MODELS

Vladimir A. Usoltsev¹, Ivan S. Tsepordey², Alina F. Urazova³, Aleksandr V. Bornikov⁴

^{1,3} Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

^{1,2} Botanical Garden, Ural Branch of RAS, Yekaterinburg, Russia

⁴ Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russia, 460014

¹ Usoltsev50@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4587-8952>

² ivan.tsepordey@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-4747-5017>

³ ura-alina@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2771-2334>

⁴ bornikov87@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-6193-3889>

Abstract. Due to climate change, the relevance of assessing biomass and carbon depositing capacity of forests at the continental and global levels has significantly increased. For these purposes, global databases on biomass and primary production of trees and stands are being formed, both for the main canopy and for the underwood story. However, data on the biomass of underwood plants for Russian forests are presented only in seldom works. The purpose of our research was to obtain the empirical data on the structure of the aboveground biomass of underwood species growing in the conditions of the middle and southern taiga of the Urals, and to develop allometric models for biomass components. As a result of the performed studies, for the first time in the forests of the Urals, the empirical data on biomass and annual growth of underwood story in the amount of 102 plants of 9 species were obtained. The proposed allometric models for components of aboveground biomass of underwood plants are characterized by high indicators of adequacy of the initial data at the probability level $p < 0.001$. Allometric models of biomass and its annual increment make it possible to quickly assess the biomass and net primary production of underwood species per unit area of forests in the Urals, as well as to assess the contribution of the underwood story to their carbon depositing capacity.

Keywords: underwood story, underwood plant species, aboveground biomass, annual biomass growth, biomass components, allometric models

Funding: the publication was prepared as part of the State Assignment of the Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.

Acknowledgements: the authors thank the Candidate of Agricultural Sciences I.E. Bergman for valuable comments during the preparation of the manuscript for publication, as well as him, A. S. Kasatkin, A. S. Zhanabaeva and P. Urazov for their active participation in obtaining experimental data on trial areas.

Введение

В связи с изменением климата существенно возросла актуальность оценки биомассы и углероддепонирующей способности лесов на континентальном и глобальном уровнях. Для подобных оценок формируются базы данных о биомассе и первичной продукции насаждений лесобразующих видов (Cannell, 1982; Усольцев, 2010; Usoltsev, 2020b), в которых основное внимание уделено древесному ярусу. Биомасса нижнего яруса определяется до-

вольно редко, причем дается совокупный показатель для подлеска, подроста и живого напочвенного покрова (Усольцев, 2010). Биомасса названных компонентов нижнего яруса приводится обычно в неполном составе, и при этом неизвестно, например, подлесок не интересовал исследователя или его не было под пологом древесного яруса. На уровне модельных деревьев аналогичная ситуация с имеющимися базами данных, которые включают информацию о биомассе лесобразующих древесных

видов основного полога (Falster et al., 2015; Усольцев, 2016a; Usoltsev, 2020a), а данные о биомассе растений подлеска и подроста приводятся лишь в единичных работах (Bergman, Nesterkov, 2021; приложение: <https://www.gbif.org/dataset/61384edd-2d0a-437b-8cf0-ff4d2dfcc0da>). В локальных условиях местообитаний даются сведения о биомассе подроста и подлеска в расчете на 1 га (Пристова, 2020), но подобные данные трудно экстраполировать на другие местообитания.

Поскольку некоторые виды подлеска обладают полезными пищевыми и лекарственными свойствами, приводятся данные по фитохимическому составу, фармакологическому действию и урожайности плодов (Лихитченко, 2004; Гладышева, 2006; Нечаев, 2021; Рост и развитие..., 2022), данные о кормовой биомассе подлеска, поедаемой животными (Потапов и др., 2006; Rajtik, Konôpka, 2015), а также о биологических и декоративных свойствах некоторых видов кустарников (Айшук, Сарсекова, 2022).

Для прогнозирования биомассы растений наиболее распространенным и широко признанным методом является использование аллометрических уравнений (Fischer et al., 2019). Самое большое преимущество аллометрических уравнений заключается в том, что они позволяют легко оценить биомассу без трудоемкого и дорогостоящего деструктивного выборочного учета (sampling). Обширные сводки таких уравнений предназначены как для верхнего яруса леса (Ter-Mikaelian, Korzukhin, 1997; Jenkins et al., 2004; Zianis et al., 2005; Luo et al., 2020), так и для подлесочных видов (Brown, 1976; Grigal, Ohmann, 1977; Smith, Brand, 1983; Elliott, Clinton 1993; Vidrih et al., 2009). Для Уральского региона предложены аллометрические модели для основных лесообразующих видов (Усольцев и др., 2022), но для подлеска подобные модели отсутствуют.

Цель, методика и объекты исследования

Целью наших исследований были получение фактических данных о структуре надземной биомассы подлесочных видов, произрастающих в условиях средней и южной тайги Урала, и разработка аллометрических моделей для фракций

биомассы. Исследования проведены в градиентах загрязнений от Среднеуральского медеплавильного завода (СУМЗ) и Карабашского медеплавильного комбината (КМК) в спелых елово-пихтовых, сосновых и березовых насаждениях. Характеристика объектов исследований, а также методика получения экспериментальных данных о биомассе подлесочных видов были детально изложены ранее (Усольцев и др., 2012), и здесь они не приводятся. Необходимо лишь отметить некоторую неопределенность, связанную с методикой определения годичного прироста биомассы, который быть завышен. Причина возможного завышения в том, что возраст растений определялся простым подсчетом годичных колец непосредственно на пробной площади. У некоторых подлесочных видов, например у можжевельника, годичные кольца могут быть очень узкие или выпадать. Соответственно, без микроскопа в лабораторных условиях и без последующей перекрестной датировки точный возраст установить невозможно, а занижение возраста означает завышение прироста.

В ходе работы на пробных площадях в названных объектах и при обработке данных о биомассе деревьев основного полога было установлено, что по мере приближения к источникам загрязнений биомасса и первичная продукция древесного яруса (т/га) снижаются в обоих градиентах. Изменение биомассы и первичной продукции нижнего яруса (т/га) неоднозначно: в градиенте загрязнений от СУМЗ названные показатели по мере приближения к источнику загрязнений увеличиваются, а в градиенте загрязнений от КМК, напротив, снижаются. Но биомасса деревьев ели, пихты, сосны и березы в градиентах загрязнений остается практически неизменной. Это дает нам основание предположить, что биомасса подлеска на уровне отдельных растений в двух градиентах загрязнений также остается неизменной. По крайней мере, установить достоверность различия биомассы растений как между двумя объектами, так и по мере удаления от источников загрязнений не представляется возможным в силу большой неучтенной изменчивости структуры верхнего яруса. Полная характеристика полученных данных о 102 модельных растениях 9 подлесочных видов дана в табл. 1.

Таблица 1
Table 1

Характеристика исходных данных
Characteristics of the experimental data

D_0	A	H	P_f	P_a	Z_f	Z_a	D_0	A	H	P_f	P_a	Z_f	Z_a
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Рябина (<i>Sorbus aucuparia</i> L.)							Черемуха (<i>Prunus padus</i> L.)						
46,0	37	490	0,0714	2,3049	0,0714	0,1318	13,0	8	168	0,0192	0,0672	0,0192	0,0252
25,0	20	400	0,0032	0,3775	0,0032	0,0219	5,0	1	76	0,0026	0,0067	0,0013	0,0074
30,0	25	531	0,0141	0,8486	0,0141	0,0475	20,0	12	163	0,0223	0,1854	0,0223	0,0359
11,0	13	119	0,0067	0,0440	0,0067	0,0095	17,0	8	112	0,0112	0,1312	0,0112	0,0262
5,0	3	104	0,0001	0,0109	0,0001	0,0037	13,0	8	302	0,0043	0,0931	0,0043	0,0154
24,0	12	399	0,0158	0,3334	0,0158	0,0422	5,0	3	62	0,0032	0,0095	0,0032	0,0053
5,0	7	80	0,0017	0,0086	0,0017	0,0027	21,0	13	210	0,0400	0,2965	0,0400	0,0597
8,0	10	134	0,0050	0,0274	0,0050	0,0073	12,0	7	186	0,0068	0,0541	0,0068	0,0136
14,0	8	256	0,0073	0,0922	0,0073	0,0179	16,0	10	270	0,0400	0,1825	0,0400	0,0543
11,0	9	147	0,0069	0,0452	0,0069	0,0112	7,0	5	91	0,0028	0,0125	0,0028	0,0047
19,0	11	254	0,0106	0,1309	0,0106	0,0215	4,0	3	40	0,0032	0,0095	0,0032	0,0053
4,0	2	31	0,0002	0,0010	0,0002	0,0006	30,0	13	290	0,0400	0,5245	0,0400	0,0773
28,0	15	224	0,0360	0,5995	0,0360	0,0736	13,0	8	168	0,0192	0,0672	0,0192	0,0252
6,0	4	74	0,0014	0,0104	0,0014	0,0037	5,0	1	76	0,0026	0,0067	0,0013	0,0074
8,0	5	170	0,0040	0,0251	0,0040	0,0082	20,0	12	163	0,0223	0,1854	0,0223	0,0359
4,0	2	45	0,0006	0,0021	0,0006	0,0014	17,0	8	112	0,0112	0,1312	0,0112	0,0262
55,0	22	523	0,2590	3,2090	0,2590	0,3931	13,0	8	302	0,0043	0,0931	0,0043	0,0154
14,5	7	200	0,0195	0,1096	0,0195	0,0324	5,0	3	62	0,0032	0,0095	0,0032	0,0053
19,5	9	281	0,0312	0,2432	0,0312	0,0548	21,0	13	210	0,0400	0,2965	0,0400	0,0597
33,5	22	400	0,1950	1,3610	0,1950	0,2480	12,0	7	186	0,0068	0,0541	0,0068	0,0136
28,0	17	410	0,0975	0,7865	0,0975	0,1380	16,0	10	270	0,0400	0,1825	0,0400	0,0543
25,0	13	350	0,0780	0,5020	0,0780	0,1106	7,0	5	91	0,0028	0,0125	0,0028	0,0047
12,5	8	145	0,0234	0,0817	0,0234	0,0307	4,0	3	40	0,0032	0,0095	0,0032	0,0053
3,5	3	80	0,0020	0,0063	0,0020	0,0034	30,0	13	290	0,0400	0,5245	0,0400	0,0773
17,5	8	270	0,0390	0,1740	0,0390	0,0559	Малина (<i>Rubus idaeus</i> L.)						
13,0	6	197	0,0390	0,0660	0,0390	0,0435	2,0	1	20	0,00030	0,00054	0,00030	0,00054
19,5	10	210	0,0390	0,1740	0,0390	0,0525	5,0	1	88	0,00270	0,00584	0,00270	0,00584
8,5	7	128	0,0039	0,0255	0,0039	0,0070	7,0	1	115	0,00109	0,00432	0,00109	0,00432
12,5	6	150	0,0078	0,0510	0,0078	0,0150	4,0	1	36	0,00013	0,00022	0,00013	0,00022
							4,0	1	92	0,00196	0,00385	0,00196	0,00385
Ракитник (<i>Chamaecytisus ruthenicus</i> Fisch. ex Wol.)							Шиповник (<i>Rosa majalis</i> Herrm.)						
6,0	4	55	0,0018	0,0139	0,0018	0,0048	7,0	3	106	0,0065	0,0281	0,0065	0,0162
7,0	4	89	0,0070	0,0248	0,0070	0,0115	5,0	1	44	0,0033	0,0143	0,0033	0,0082
6,0	3	62	0,0032	0,0097	0,0032	0,0054	5,0	3	84	0,0033	0,0143	0,0033	0,0082

Окончание табл. 1
The end of table 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
4,0	3	60	0,0023	0,0082	0,0023	0,0043	9,0	3	144	0,0083	0,0466	0,0083	0,0211
6,5	4	40	0,0026	0,0096	0,0026	0,0043	4,0	2	71	0,0032	0,0085	0,0032	0,0058
7,5	5	66	0,0055	0,0260	0,0055	0,0096	5,0	1	43	0,0015	0,0044	0,0015	0,0044
7,0	4	83	0,0025	0,0175	0,0025	0,0063	11,0	2	133	0,0195	0,0800	0,0195	0,0498
13,5	5	120	0,0072	0,0792	0,0072	0,0216	6,0	3	90	0,0026	0,0089	0,0026	0,0047
5,0	2	60	0,0022	0,0094	0,0022	0,0058	8,0	3	145	0,0036	0,0255	0,0036	0,0109
4,0	2	50	0,0011	0,0047	0,0011	0,0029	7,0	4	125	0,0056	0,0217	0,0056	0,0096
8,0	4	60	0,0014	0,0134	0,0014	0,0044	Бузина (<i>Sambucus racemosa</i> L.)						
5,0	2	58	0,0014	0,0056	0,0014	0,0035	15,0	6	186	0,0070	0,0749	0,0070	0,0183
9,0	4	77	0,0040	0,0304	0,0040	0,0106	10,0	5	70	0,0050	0,0270	0,0050	0,0094
8,0	5	110	0,0036	0,0276	0,0036	0,0084	4,0	2	37	0,0015	0,0026	0,0015	0,0021
10,0	5	86	0,0047	0,0293	0,0047	0,0096	16,0	2	131	0,0320	0,0890	0,0320	0,0605
10,5	6	100	0,0058	0,0526	0,0058	0,0136	9,0	1	61	0,0051	0,0108	0,0051	0,0108
4,0	3	70	0,0025	0,0079	0,0025	0,0043	11,0	1	83	0,0069	0,0157	0,0069	0,0157
15,5	8	120	0,0072	0,0972	0,0072	0,0185	Можжевельник (<i>Juniperus communis</i> L.)						
14,0	8	120	0,0072	0,0972	0,0072	0,0185	3,0	6	34	0,0011	0,0023	0,0004	0,0006
Кизильник (<i>Cotoneaster lucidus</i> Schtdl.)							16,0	22	105	0,0409	0,1567	0,0136	0,0189
12,0	8	180	0,0066	0,0638	0,0066	0,0138	11,0	29	86	0,0151	0,0492	0,0050	0,0062
15,0	10	258	0,0066	0,1522	0,0066	0,0212	13,0	30	103	0,0174	0,0718	0,0058	0,0076
8,0	4	120	0,0033	0,0293	0,0033	0,0098	23,0	43	175	0,0598	0,2678	0,0199	0,0248
5,0	2	80	0,0013	0,0096	0,0013	0,0055	10,0	11	106	0,0042	0,0396	0,0014	0,0046
11,5	6	147	0,0050	0,0372	0,0050	0,0103	Жимолость (<i>Lonicera xylosteum</i> L.)						
15,0	10	197	0,0066	0,1106	0,0066	0,0170	4,0	2	51	0,0007	0,0031	0,0007	0,0019
11,5	6	235	0,0043	0,0443	0,0043	0,0110	9,0	6	117	0,0045	0,0455	0,0045	0,0114
8,5	7	193	0,0058	0,0656	0,0058	0,0140	4,0	3	56	0,0013	0,0044	0,0013	0,0023
							7,0	10	72	0,0068	0,0233	0,0068	0,0084
							12,0	6	152	0,0133	0,0873	0,0133	0,0256

Примечание. D_0 – диаметр у основания, мм; A – возраст растения, лет; H – высота растения, см; P_f – масса листвы в абсолютно сухом состоянии, кг; P_a – надземная масса в абсолютно сухом состоянии, кг; Z_f – масса годового прироста листвы, кг; Z_a – годичный прирост надземной массы, кг.

Note. D_0 – diameter at the base, mm; A – the age of the plant, years; H – plant height, cm; P_f – mass of foliage in an absolutely dry state, kg; P_a – above-ground mass in an absolutely dry state, kg; Z_f – mass of annual foliage growth, kg; Z_a – annual increase in above-ground mass, kg.

Результаты и их обсуждение

По исходным данным табл. 1 рассчитаны аллометрические модели трех видов:

$$\ln P_i = a_0 + a_1 \ln D_0; \quad (1)$$

$$\ln P_i = a_0 + a_1 \ln H; \quad (2)$$

$$\ln Z_a = a_0 + a_1 \ln P_a, \quad (3)$$

где P_i – биомасса растения i -й фракции, в данном случае это биомасса надземная (P_a) и листвы (P_f). В некоторых случаях может быть более удобно измерять высоту растения, а не диаметр у основания, поэтому в качестве варианта рассчитываем модель (2). Ранее было установлено, что годичный

прирост (первичная продукция) описывается более адекватно по связи с соответствующей биомассой, а не с морфологическими показателями древостоя (Усольцев, 2016б), и этим обусловлена структура модели (3).

Результаты расчета моделей (1), (2) и (3) показаны в табл. 2 и 3. Коэффициенты регрессии уравнений рассчитаны с использованием про-

граммного обеспечения Statgraphics-19 (см. <http://www.statgraphics.com/>). Свободный член a_0 во всех моделях скорректирован на логарифмическое преобразование (Baskerville, 1972). Коэффициенты детерминации моделей (1) – (3) оказались значимыми на уровне $p < 0,001$, за исключением модели (1) для массы листы малины (помечена *). Годичный прирост биомассы малины в табл. 3

Таблица 2
Table 2

Характеристика моделей (1) и (2)
Characteristics of models (1) and (2)

P_i	Модель (1)				Модель (2)			
	a_0	a_1	R^2	SE	a_0	a_1	R^2	SE
<i>Рябина (Sorbus aucuparia)</i>								
P_a	-9,2708	2,6471	0,964	0,385	-16,2540	2,6718	0,923	0,560
P_f	-9,8050	2,1697	0,730	0,984	-14,8437	2,0812	0,628	1,156
<i>Черемуха (Prunus padus)</i>								
P_a	-8,2990	2,2647	0,960	0,300	-12,0435	1,9400	0,688	0,835
P_f	-8,1436	1,5060	0,742	0,568	-10,2384	1,2061	0,447	0,830
<i>Малина (Rubus idaeus)</i>								
P_a	-8,3464	1,8434	0,714	0,580	-12,8745	1,6818	0,644	0,872
P_f	-8,2480	1,2980*	0,254*	0,838	-12,3855	1,3739	0,510	0,900
<i>Ракитник (Chamaecytisus ruthenicus Fisch. ex Wol.)</i>								
P_a	-7,8144	2,0115	0,830	0,375	-14,6838	2,5182	0,746	0,470
P_f	-7,8870	1,1288	0,572	0,399	-12,0125	1,4765	0,589	0,390
<i>Шиповник (Rosa majalis)</i>								
P_a	-8,3828	2,4068	0,743	0,435	-10,4768	1,4718	0,556	0,572
P_f	-8,7401	1,8406	0,611	0,444	-10,1902	1,0912	0,418	0,543
<i>Бузина (Sambucus racemosa)</i>								
P_a	-9,5972	2,5310	0,901	0,413	-13,2882	2,1607	0,853	0,504
P_f	-8,9059	1,7290	0,715	0,524	-10,4498	1,2778	0,443	0,732
<i>Можжевельник (Juniperus communis)</i>								
P_a	-8,6896	2,3870	0,994	0,130	-16,2042	2,9495	0,901	0,522
P_f	-9,1427	2,0400	0,880	0,517	-14,7416	2,3655	0,670	0,855
<i>Кизильник (Cotoneaster lucidus)</i>								
P_a	-7,7768	2,0804	0,775	0,405	-13,9955	2,0061	0,777	0,404
P_f	-8,5025	1,3426	0,764	0,270	-11,7556	1,2489	0,700	0,304
<i>Жимолость (Lonicera xylosteum)</i>								
P_a	-9,6326	2,9532	0,983	0,189	-16,9862	2,9517	0,895	0,472
P_f	-9,9502	2,3108	0,836	0,488	-15,1564	2,1986	0,656	0,709

Таблица 3
Table 3Характеристика моделей (3)
Characteristics of models (3)

Z_a	Модель (3)							
	a_0	a_1	R^2	SE	a_0	a_1	R^2	SE
Рябина (<i>Sorbus aucuparia</i> L.)				Черемуха (<i>Prunus padus</i> L.)				
Z_a	-1,9905	0,7448	0,927	0,423	-2,1383	0,6466	0,912	0,299
Ракитник (<i>Chamaecytisus ruthenicus</i>)				Шиповник (<i>Rosa majalis</i>)				
Z_a	-2,4050	0,6323	0,941	0,148	-1,2062	0,8333	0,915	0,217
Бузина (<i>Sambucus racemosa</i>)				Можжевельник (<i>Juniperus communis</i>)				
Z_a	-1,3538	0,7449	0,756	0,540	-2,6665	0,7933	0,990	0,134
Кизильник (<i>Cotoneaster lucidus</i>)				Жимолость (<i>Lonicera xylosteum</i>)				
Z_a	-2,9841	0,4770	0,993	0,033	-1,9582	0,7527	0,985	0,135

не показан, поскольку он равен показателю биомассы. В подтверждение результатов других авторов (Муикконен, 2007) коэффициент детерминации для массы листвы в среднем оказался ниже по сравнению с коэффициентом для надземной биомассы, а коэффициенты детерминации моделей (2) оказались существенно ниже, чем по модели (1).

Заключение

Таким образом, впервые для лесов Урала получены фактические данные о биомассе и годовом приросте подлеска 9 видов в количестве 102 растений. Предложенные аллометрические модели для фракций надземной биомассы растений подлеска характеризуются высокими показателями адекват-

ности исходным данным на уровне вероятности $p < 0,001$. Из двух предложенных структур модели для оценки надземной биомассы более адекватной оказалась зависимость от диаметра у основания растения, ее коэффициенты детерминации существенно выше, чем в зависимости от высоты растения. Модели для оценки годового прироста растений следует считать предварительными. Необходимы дальнейшие исследования по уточнению названного показателя у подлесочных видов.

Аллометрические модели биомассы и ее годового прироста дают возможность оперативной оценки биомассы и чистой первичной продукции подлесочных видов на единице площади лесов Урала, а также для оценки вклада нижних ярусов в их углероддепонирующую способность.

Список источников

- Айшуку Е. Ж., Сарсекова Д. Н. Биологические и декоративные свойства кизильника черноплодного (*Cotoneaster melanocarpus* Fisch. ex. Blytt.) в озеленении на примере г. Астана // Лесное хозяйство : актуальные проблемы и пути их решения : сборник научных статей по материалам Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Нижний Новгород : Нижегородская ГСХА, 2022. С. 183–185.
- Гладышева М. Б. Хозяйственно-биологические особенности сортов и форм рябины и их пригодность для производства : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.05 / Гладышева Марина Борисовна. Мичуринск, 2006. 23 с.
- Рост и развитие шиповника в плантационных насаждениях Алматинской области / Кентбаев Е. Ж., Кентбаева Б. А., Таиметова Р. С. [и др.] // Лесное хозяйство : актуальные проблемы и пути их

- решения : сборник научных статей по материалам Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Нижний Новгород : Нижегородская ГСХА, 2022. С. 261–265.
- Лихитченко М. А.* Боярышники Приморского края, их роль в лесных биогеоценозах и хозяйственное значение : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.03.03 / Лихитченко Максим Александрович. Уссурийск, 2004. 27 с.
- Нечаев А. А.* Ресурсы и освоение боярышника на Дальнем Востоке России // Интенсификация использования и воспроизводства лесов Сибири и Дальнего Востока : материалы Всероссийской научной конференции / отв. ред. А. Ю. Алексеенко. Хабаровск : Изд-во ФБУ «ДальНИИЛХ», 2021. С. 48–60.
- Потанов С. К., Бугаев К. Е., Долматова Л. В.* Первичные наблюдения за лесовозобновлением в различных типах леса на территории ЗАТО г. Сарова и оценка запасов древесно-веточных кормов лося // Труды Мордовского государственного природного заповедника им. П. Г. Смидовича. Вып. VII. 2006. С. 36–82.
- Пристова Т. А.* Фитомасса древесных растений в лиственных фитоценозах послерубочного происхождения // Лесной вестник. 2020. Т. 24. № 1. С. 5–13.
- Сольцев В. А.* Фитомасса модельных деревьев лесообразующих пород Евразии : база данных, климатически обусловленная география, таксационные нормативы. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2016а. 336 с. URL: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/5696> (дата обращения: 12.01.2023).
- Сольцев В. А.* Биологическая продуктивность лесообразующих пород в климатических градиентах Евразии (к менеджменту биосферных функций лесов). Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2016б. 384 с. ISBN 978-5-94984-600-1. URL: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/5634> (дата обращения: 12.01.2023).
- Сольцев В. А.* Фитомасса и первичная продукция лесов Евразии. Екатеринбург : УрО РАН, 2010. 570 с. URL: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/2606> (дата обращения: 12.01.2023).
- Сольцев В. А., Воробейчик Е. Л., Бергман И. Е.* Биологическая продуктивность лесов Урала в условиях техногенного загрязнения : исследование системы связей и закономерностей. Екатеринбург : УГЛТУ, 2012. 365 с. URL: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/458> (дата обращения: 12.01.2023).
- Сольцев В. А., Цепордей И. С., Норцин Д. В.* Аллометрические модели биомассы деревьев лесообразующих пород Урала // Леса России и хозяйство в них. 2022. № 1. С. 4–14.
- 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.
- Bergman I., Nesterkov A.* Biomass and mortmass of woody vegetation in metal-contaminated areas (Southern Urals, Russia) // Biodiversity Data Journal. 2021. Vol. 9. Article e75510.
- Brown J. K.* Estimating shrub biomass from basal stem diameters // Canadian Journal of Forest Research. 1976. Vol. 6 (2). P. 153–158.
- Cannell M. G. R.* World forest biomass and primary production data. London : Academic Press, 1982. 391 p.
- Elliott K. J., Clinton B. D.* Equations for estimating biomass of herbaceous and woody vegetation in early-successional Southern Appalachian pine-hardwood forests. U.S. For. Serv. Res. Note SE-365. Southeast. For. Exp. Stn., Asheville, NC, 1993. 8 p.
- Falster D. S., Duursma R. A., Ishihara M. I.* et al. BAAD : a Biomass And Allometry Database for woody plants // Ecology. 2015. Vol. 96. P. 1445.
- Fischer F. J., Marechaux I., Chave J.* Improving plant allometry by fusing forest models and remote sensing // New Phytologist. 2019. Vol. 223. P. 1159–1165.
- Grigal D. F., Ohmann L. F.* Biomass estimation for some shrubs from northeastern Minnesota. U. S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station; Res. Note. NC-226, 1977. 3 p.
- Jenkins J. C., Chojnacky D. C., Heath L. S., Birdsey R. A.* Comprehensive database of diameter-based regressions for North American tree species // USDA Forest Service Northeastern Research Station. General Technical Report NE-319, 2004. 45 p.

- Luo Y., Wang X., Ouyang Z. et al. A review of biomass equations for China's tree species // *Earth System Science Data*. 2020. Vol. 12 (1). P. 21–40.
- Muukkonen P. Generalized allometric volume and biomass equations for some tree species in Europe // *European Journal of Forest Research*. 2007. Vol. 126. P. 157–166.
- Pajtik J., Konôpka B. Quantifying edible biomass on young *Salix caprea* and *Sorbus aucuparia* trees for *Cervus elaphus* : estimates by regression models // *Austrian Journal of Forest Science*. 2015. Vol. 132 (2). P. 61–80.
- Smith W.B., Brand G.J. Allometric biomass equations for 98 species of herbs, shrubs, and small trees. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station. Res. Note NC-299, 1983. 8 p.
- Ter-Mikaelian M. T., Korzukhin M. D. Biomass equations for sixty-five North American tree species // *Forest Ecology and Management*. 1997. Vol. 97. P. 1–24.
- Usoltsev V.A. Single-tree biomass data for remote sensing and ground measuring of Eurasian forests : digital version. The second edition, enlarged. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University; Botanical Garden of Ural Branch of RAS, 2020a. URL: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/9647>
- Usoltsev V.A. Forest biomass and primary production database for Eurasia : digital version. The third edition, enlarged : monograph. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2020b. URL: https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/9648/1/Base_v2.xlsx
- Vidrih M., Vidrih T., Kotar M. In Slovenia : Management of intensive land use systems // A. Rigueiro-Rodríguez et al. (eds.). *Agroforestry in Europe : 397. Current Status and Future Prospects*. Springer Science, 2009. P. 397–414.
- Zianis D., Muukkonen P., Mäkipää R., Mencuccini M. Biomass and stem volume equations for tree species in Europe // *Silva Fennica Monographs*. 2005. Vol. 4. 63 p.

References

- Aishuk E.J., Sarsekova D.N. Biological and decorative properties of the *Cotoneaster melanocarpus* in landscaping on the example of Astana // *Forest Management : current problems and ways to solve them : Collection. sci. articles based on the materials of the All-Russian (national) scientific and practical conference*. Nizhny Novgorod : Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 2022. P. 183–185.
- 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.
- Bergman I., Nesterkov A. Biomass and mortmass of woody vegetation in metal-contaminated areas (Southern Urals, Russia) // *Biodiversity Data Journal*. 2021. Vol. 9. Article e75510.
- Brown J.K. Estimating shrub biomass from basal stem diameters // *Canadian Journal of Forest Research*. 1976. Vol. 6 (2). P. 153–158.
- Cannell M. G. R. World forest biomass and primary production data. London : Academic Press, 1982. 391 p.
- Elliott K.J., Clinton B.D. Equations for estimating biomass of herbaceous and woody vegetation in early-successional Southern Appalachian pine-hardwood forests. U.S. For. Serv. Res. Note SE-365. Southeast. For. Exp. Stn., Asheville, NC, 1993. 8 p.
- Falster D.S., Duursma R.A., Ishihara M.I. et al. BAAD : a Biomass And Allometry Database for woody plants // *Ecology*. 2015. Vol. 96. P. 1445.
- Fischer F.J., Marechaux I., Chave J. Improving plant allometry by fusing forest models and remote sensing // *New Phytologist*. 2019. Vol. 223. P. 1159–1165.
- Gladysheva M.B. Economic and biological features of rowan varieties and forms and their suitability for production : PhD Thesis : 06.01.05. Michurinsk, 2006. 23 p.

- Grigal D. F., Ohmann L. F. Biomass estimation for some shrubs from northeastern Minnesota. U. S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station; Res. Note. NC-226, 1977. 3 p.
- Jenkins J. C., Chojnacky D. C., Heath L. S., Birdsey R. A. Comprehensive database of diameter-based regressions for North American tree species // USDA Forest Service Northeastern Research Station. General Technical Report NE-319, 2004. 45 p.
- Kentbayev E. Zh., Kentbayeva B. A., Tashmetova R. S. et al. Growth and development of rose in plantations of Almaty region // Forest Management : current problems and ways to solve them. Collection. sci. articles based on the materials of the All-Russian (national) scientific and practical conference. Nizhny Novgorod : Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 2022. P. 261–265.
- Likhitchenko M. A. Hawthorns of Primorsky Krai, their role in forest biogeocenoses and economic significance. PhD Thesis. 06.03.03. Ussuriysk, 2004. 27 p.
- Luo Y., Wang X., Ouyang Z. et al. A review of biomass equations for China's tree species // Earth System Science Data. 2020. Vol. 12 (1). P. 21–40.
- Muukkonen P. Generalized allometric volume and biomass equations for some tree species in Europe // European Journal of Forest Research. 2007. Vol. 126. P. 157–166.
- Nechaev A. A. Resources and reclamation of the hawthorn (*Crataegus* L.) in the Russian Far East // Intensification of use and reproduction of forests of Siberia and the Far East : Materials of the scientific conference / Khabarovsk, October 7–8, 2021 / Executive editor A. U. Alekseenko Khabarovsk : DalNIILH Press, 2021. P. 48–60.
- Pajtik J., Konôpka B. Quantifying edible biomass on young *Salix caprea* and *Sorbus aucuparia* trees for *Cervus elaphus* : estimates by regression models // Austrian Journal of Forest Science. 2015. Vol. 132 (2). P. 61–80.
- Potapov S. K., Bugaev K. E., Dolmatova L. V. Primary observations of reforestation in various types of forests on the territory of the city of Sarov and assessment of stocks of wood-branch feed of elk // Proceedings of the Mordovian State Nature Reserve named after P. G. Smidovich. Issue VII, 2006. P. 36–82.
- Pristova T. A. Phytomass of woody plants in deciduous phytocenoses of post-harvest origin // Lesnoj Vestnik (Forestry Bulletin). 2020. Vol. 24. № 1. P. 5–13. Smith W. B., Brand G. J. Allometric biomass equations for 98 species of herbs, shrubs, and small trees. U. S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station. Res. Note NC-299, 1983. 8 p.
- Ter-Mikaelian M. T., Korzukhin M. D. Biomass equations for sixty-five North American tree species // Forest Ecology and Management. 1997. Vol. 97. P. 1–24.
- Usoltsev V. A. Single-tree biomass of forest-forming species in Eurasia : database, climate-related geography, weight tables. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University. 2016a. 336 p. URL: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/5696> (accessed: 12.01.2023).
- Usoltsev V. A. Biological productivity of forest-forming species in Eurasia's climatic gradients (as related to supporting decision-making processes in forest management). Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2016b. 384 c. URL: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/5634> (accessed: 12.01.2023).
- Usoltsev V. A. Eurasian forest biomass and primary production data. Yekaterinburg : Ural Branch of Russian Academy of Sciences. 2010. 574 p. URL: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/2606> (accessed: 12.01.2023).
- Usoltsev V. A. Forest biomass and primary production database for Eurasia : digital version. The third edition, enlarged : monograph. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2020b. URL: https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/9648/1/Base_v2.xlsx (accessed: 12.01.2023).
- Usoltsev V. A. Single-tree biomass data for remote sensing and ground measuring of Eurasian forests : digital version. The second edition, enlarged. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University; Botanical Garden of Ural Branch of RAS, 2020a. URL: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/9647> (accessed: 12.01.2023).

- Usoltsev V.A., Vorobeichik E.L., Bergman I.E.* Biological Productivity of Ural Forests under Conditions of Air Pollutions : studying a system of regularities. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University. 2012. 366 p. URL: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/458> (accessed: 12.01.2023).
- 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. 2022. № 1. P. 4–14.
- Vidrih M., Vidrih T., Kotar M.* In Slovenia : Management of intensive land use systems // A. Rigueiro-Rodríguez et al. (eds.). Agroforestry in Europe : 397. Current Status and Future Prospects. Springer Science, 2009. P. 397–414.
- Zianis D., Muukkonen P., Mäkipää R., Mencuccini M.* Biomass and stem volume equations for tree species in Europe // *Silva Fennica Monographs*. 2005. Vol. 4. 63 p.

Информация об авторах

- В. А. Усольцев – доктор сельскохозяйственных наук, профессор;*
И. С. Цепордей – кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник;
А. Ф. Уразова – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;
А. В. Борников – кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель.

Information about the authors

- V.A. Usoltsev – Doctor of Agricultural Sciences, Professor;*
I.S. Tsepordey – Candidate of Agricultural Sciences, Researcher;
A.F. Urazova – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor;
A.V. Bortnikov – Candidate of Agricultural Sciences, senior lecturer.

Статья поступила в редакцию 19.01.2023; принята к публикации 19.02.2023
The article was submitted 19.01.2023; accepted for publication 19.02.2023.
