

Леса России и хозяйство в них. 2023. № 3. С. 51–64.

Forests of Russia and economy in them. 2023. № 3. P. 51–64.

Научная статья

УДК 630*52

DOI: 10.51318/FRET.2023.3.86.006

БИОМАССА ПОДРОСТА ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ 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

^{1,2} 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. Оценка биомассы деревьев и древостоев представляет интерес для многих дисциплин, связанных с лесной экологией и поведением экосистем в условиях изменения климата. Прямая оценка биомассы в полевых условиях очень сложна и трудозатратна. Наиболее распространенным подходом для оценки биомассы деревьев является использование взаимосвязей между биомассой и легко измеряемыми параметрами дерева, главным образом диаметром ствола на высоте груди и/или высотой дерева. Однако большинство опубликованных моделей биомассы относятся к крупным деревьям основного полога. Эмпирические данные о биомассе растений подроста представлены лишь в единичных работах. В нашем исследовании получены фактические данные о структуре надземной биомассы и ее годичном приросте у растений подроста лесообразующих видов, произрастающих в условиях средней и южной тайги Урала, разработаны аллометрические модели для оценки биомассы и ее годичного прироста и выполнено ранжирование видов по величине относительной высоты (сбежистости) растений подроста. На примере подроста подтверждено положение Я. С. Медведева (1910) о связи относительной высоты растений со степенью светолюбия видов.

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

Благодарности: публикация подготовлена в рамках Государственного задания Ботанического сада УрО РАН. Авторы благодарят канд. с.-х. наук И. Е. Бергмана, А. С. Касаткина и А. С. Жанабаеву за активное участие в получении экспериментальных данных на пробных площадях.

Для цитирования: Биомасса подроста лесообразующих видов Урала и ее аллометрические модели / В. А. Усольцев, И. С. Цепордей, А. Ф. Уразова, А. В. Борников // Леса России и хозяйство в них. 2023. № 3 (86). С. 51–64. DOI: 10.51318/FRET.2023.3.86.006.

Scientific article

BIOMASS OF THE UNDERGROWTH PLANTS IN THE URAL FORESTS 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 Yekaterinburg, Russia

⁴ Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russia,

^{1,2} 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. Estimating the biomass of trees and stands is of interest for many disciplines related to forest ecology and ecosystem behavior under climate change. Direct assessment of biomass in the field is very difficult and labor-consuming. The most common approach for estimating tree biomass is to use the relationships between biomass and easily measurable tree parameters, mainly stem diameter at breast height and/or tree height. However, the most of the published biomass models relate to large trees of the main canopy. Empirical data on the biomass of undergrowth plants are presented only in seldom works. In our study, actual data on the structure of aboveground biomass and its annual growth in undergrowth plants of forest-forming species growing in the conditions of the middle and southern taiga of the Urals were obtained, allometric models were developed to assess biomass and its annual growth, and species were ranked according to the relative height (slenderness) of undergrowth plants. On the example of undergrowth, the opinion of Ya. S. Medvedev (1910) on the relationship of the relative height of plants with the degree of their light-requiring is confirmed.

Keywords: undergrowth story, plant species, forest-forming species, aboveground biomass, annual biomass growth, biomass fractions, allometric models

Acknowledgements: the publication was prepared as part of the state assignment of the Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. The authors thank the Candidate of Agricultural Sciences I. E. Bergman, A. S. Kasatkin and A. S. Zhanabaev for their active participation in obtaining experimental data on trial areas.

For citation: Biomass of the undergrowth plants in the ural forests and its allometric models / V.A. Usoltsev, I.S. Tsepordey, A.F. Urazova, A.V. Bornikov // Forests of Russia and economy in them. 2023. № 3 (86). P. 51–64. DOI: 10.51318/FRET.2023.3.86.006.

Введение

Оценка продуктивности лесов в лесном хозяйстве и лесной экологии имеет давнюю традицию. За последние десятилетия интерес к продуктивности лесов сместился с ориентации на выращивание древесины на оценку надземной и подземной биомассы деревьев и древостоев (Уткин, 1995; Parresol, 1999). Точная оценка биомассы деревьев и древостоев представляет интерес для многих дисциплин, связанных с лесной экологией и ведением экосистем в условиях изменения климата,

начиная от популяционной экологии и заканчивая дистанционным зондированием, моделированием наземных экосистем и ведением хозяйства в управляемых лесах (Jenkins et al., 2003; Замолотчиков и др., 2007). Прямая оценка биомассы в полевых условиях очень сложна и трудозатратна (Sah et al., 2004). Наиболее распространенным подходом для оценки биомассы деревьев является использование взаимосвязей между биомассой и легко измеряемыми параметрами дерева, главным образом диаметром ствола на высоте груди и/или высотой дерева

(Djomo et al., 2010; Annighöfer et al., 2012). Формируются базы данных как эмпирических показателей биомассы, полученных на пробных площадях, так и результатов их обработки в виде аллометрических моделей (Ter-Mikaelian, Korzukhin, 1997; Jenkins et al., 2003; Wirth et al., 2004; Zianis et al., 2005; Falster et al., 2015; Rojas-Garcia et al., 2015; Usoltsev, 2020; Усольцев и др., 2022). Однако большинство опубликованных моделей биомассы относятся к крупным деревьям основного полога.

Эмпирические данные о биомассе растений подроста и подлеска представлены лишь в единичных работах (Bergman, Nesterkov, 2021; приложение: <https://www.gbif.org/dataset/61384edd-2d0a-437b-8cf0-ff4d2dfcc0da>; Биомасса..., 2023). Зато активно публикуются аллометрические модели биомассы для растений подроста и подлеска, саженцев и сеянцев (Chroust, 1985; Norgren et al., 1995; Bartelink, 1997; Sah et al., 2004; Pilli et al., 2006; Pajtik et al., 2008; Berner et al., 2015; Annighöfer et al., 2016; Биомасса..., 2023), но их количество несопоставимо меньше по сравнению с количеством моделей для деревьев основного яруса. Это может быть связано с малыми размерами растений в нижнем ярусе, не соответствующими размерам коммерческой древесины, а также с их небольшой долей в общей биомассе древостоев и связанных с ней запасах углерода (Brown, 2002; Chave et al., 2001). Точные оценки биомассы подроста, сеянцев и саженцев тем не менее необходимы при лесоразведении и лесовосстановлении и при моделировании будущего развития лесов (Schroeder et al., 1997). В частности, точные оценки биомассы подроста и подлеска имеют центральное значение для понимания и прогнозирования динамики круговорота углерода в лесах (Galik et al., 2009; Gonzalez-Benecke et al., 2014). В локальных условиях местообитаний даются сведения о биомассе подроста и подлеска в расчете на единицу площади (Li et al., 2019; Пристова, 2020) и публикуются соответствующие модели (Volte et al., 2009; Heinrichs et al., 2010; Усольцев и др., 2012), но подобные данные и модели экстраполировать на другие местообитания довольно проблематично.

Подрост (*undergrowth*) в отличие от подлеска (*underwood*) в перспективе формирует основной

полог. Для прогнозирования его роста и биомассы важны условия светового режима, в связи с чем важную роль играет степень теневыносливости того или иного вида (Bebre et al., 2021). Сравнительная онтогенетическая аллометрия роста дерева в высоту и по диаметру (Мина, Клевезаль, 1976; Усольцев, 1978) определяет продуктивность растения и выявляет компромисс между способностью растения конкурировать с соседями (получаемой за счет увеличения его высоты) и механической устойчивостью (достигаемой за счет увеличения его диаметра ствола) (Sumida et al., 1997; Lines et al., 2012; Hulshof et al., 2015). Аллометрия роста растений под пологом может различаться у покрытосеменных и голосеменных видов, существенно меняться вследствие различий по их теневыносливости и конкурентным отношениям (Becker, 2000; Amoroso, Turnblom, 2006). Голосеменные виды обычно имеют более высокий прирост диаметра на единицу роста в высоту, чем покрытосеменные (King, 1991; Hulshof et al., 2015). Требовательные к свету виды часто рискуют потерей статической устойчивости в погоне за светом, и при подобной стратегии роста на увеличение диаметра ствола выделяется меньше ресурсов (Henry, Aarssen, 1999). Доступность света зависит от характеристик полога и конкурирующей растительности и может влиять на формирование растений подроста в течение многих последующих лет (Montoro et al., 2018).

Относительная высота отражает степень освещенности, при которой выросли деревья, изменяясь в обратном отношении с количеством получаемого ими света. Светлюбивые виды имеют более высокие относительные высоты, а теневыносливые, напротив, более низкие. Установив закономерность снижения относительной высоты по мере увеличения теневыносливости видов, Я.С. Медведев (1910) выполнил ранжирование видов по степени теневыносливости в порядке ее увеличения в такой последовательности: береза, сосна, ясень, осина, дуб, липа, граб, ель, бук, пихта. В предыдущей работе (Биомасса..., 2023) путем рангового корреляционного анализа (Митропольский, 1971) мы соотнесли ранее предложенные классификации (Geyer, 1856; Kraft, 1884; Gayer, 1886; Турский, 1892; Любименко, 1905; Wiesner, 1907)

с классификацией Я.С. Медведева и получили средний коэффициент ранговой корреляции 0,93 (в диапазоне от 0,83 до 0,99).

Для Уральского региона предложены аллометрические модели для оценки биомассы основного яруса лесобразующих видов (Усольцев и др., 2022), а также модели для оценки биомассы и ее годовичного прироста подлеска (Биомасса..., 2023), но для подроста подобные модели отсутствуют.

Цель, методика и объекты исследования

Целью наших исследований было:

- получить фактические данные о структуре надземной биомассы и ее годовичном приросте у растений подроста лесобразующих видов, произрастающих в условиях средней и южной тайги Урала;
- разработать аллометрические модели для оценки биомассы и ее годовичного прироста;

– выполнить ранжирование видов по величине относительной высоты (сбежистости) растений подроста и проверить положение Я. С. Медведева (1910) о связи относительной высоты со степенью светолюбия видов.

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 и годовичном приросте растений подроста были детально изложены ранее (Усольцев и др., 2012), и здесь они не приводятся. Полная характеристика полученных данных о 134 модельных растениях подроста 7 лесобразующих 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	D_0	A	H	P_f	P_a	Z_f	Z_a
Сосна обыкновенная / Pine (<i>Pinus sylvestris</i> L.)							Пихта европейская / European abies (<i>Abies sibirica</i>)						
12	12	80	0,02617	0,05040	0,00872	0,01074	10	10	41	0,02112	0,03684	0,00422	0,00580
65	26	410	1,06090	4,13275	0,35363	0,47178	19	38	80	0,07331	0,25640	0,01222	0,01704
12,5	8	82	0,03193	0,06713	0,01596	0,02036	4	7	12	0,00084	0,00124	0,00028	0,00034
8,5	7	48	0,01201	0,02182	0,00600	0,00741	42	26	265	0,69842	1,59305	0,11640	0,15081
8	8	55	0,01201	0,02086	0,00600	0,00711	32	43	132	0,01530	0,50904	0,00255	0,01403
4	4	30,5	0,00034	0,00095	0,00017	0,00032	56	49	373	0,94025	3,63611	0,15671	0,21173
13	8	71	0,03157	0,05693	0,01578	0,01895	7	9	33	0,00571	0,01224	0,00143	0,00215
18	8	196	0,06244	0,10427	0,03122	0,03645	4	6	17	0,00052	0,00143	0,00017	0,00032
11,5	6	47	0,02505	0,03979	0,01252	0,01498	32	31	172	0,36964	0,92842	0,06161	0,07963
31,5	11	180	0,20586	0,54762	0,10293	0,13400	16	30	66	0,08143	0,18253	0,01357	0,01694
26	13	170	0,08578	0,28618	0,04289	0,05830	58	40	332	0,56581	2,91069	0,09430	0,15292
32	17	220	0,15440	0,57272	0,07720	0,10180	22	35	88	0,08378	0,29770	0,01396	0,02008
24	10	210	0,10293	0,40581	0,05147	0,08175	3	3	15	0,00065	0,00135	0,00033	0,00056
47	16	413	0,29164	1,76980	0,14582	0,23820	7	7	37	0,00418	0,00794	0,00139	0,00193
15,5	9	120	0,03808	0,09999	0,01904	0,02592	17	24	78	0,04658	0,13035	0,00776	0,01125

Продолжение табл. 1
Continuation table 1

D_0	A	H	P_f	P_a	Z_f	Z	D_0	A	H	P_f	P_a	Z_f	Z_a
5	4	43	0,00274	0,00378	0,00137	0,00163	23	32	145	0,10631	0,39605	0,01772	0,02677
20	15	132	0,05147	0,16691	0,02573	0,03343	58	63	558	0,59380	4,18526	0,09897	0,15597
14	11	160	0,01716	0,07644	0,00858	0,01397	41	51	250	0,23158	1,39421	0,03860	0,06139
36	18	180	0,17155	0,50035	0,08578	0,10404	12	14	64	0,00965	0,04375	0,00161	0,00404
13	13	74	0,01818	0,04617	0,00909	0,01125	34	57	444	0,17342	1,64070	0,02890	0,05464
23	14	130	0,05147	0,21491	0,02573	0,03741	8	10	48	0,00531	0,01675	0,00089	0,00203
30	18	215	0,08578	0,45418	0,04289	0,06335	42	38	274	0,93338	1,63607	0,15556	0,17405
9	11	77	0,00480	0,01862	0,00240	0,00366	53	73	415	0,56421	2,71807	0,08060	0,11011
35	21	280	0,30879	0,78543	0,15440	0,17709	Липа мелколистная / Linden (<i>Tilia cordata</i>)						
7	8	57	0,00343	0,01049	0,00172	0,00260	7	3	65	0,00428	0,01108	0,00428	0,00654
40	17	285	0,24017	0,90689	0,12009	0,15930	4	2	38	0,00087	0,00229	0,00087	0,00158
32	12	220	0,15440	0,54872	0,07720	0,11006	12	8	147	0,00724	0,02755	0,00724	0,00978
4,5	6	34	0,00206	0,00380	0,00103	0,00132	14	7	127	0,00249	0,02403	0,00249	0,00557
13	14	114	0,00686	0,05265	0,00343	0,00670							
Ель сибирская / Siberian spruce (<i>Picea obovata</i>)							Береза повислая / birch (<i>Betula pendula</i>)						
8	12	27	0,01122	0,02086	0,00187	0,00267	18	16	189	0,03623	0,14675	0,03623	0,04313
44	41	168	0,46641	1,64656	0,07774	0,10652	12	15	150	0,00679	0,05013	0,00679	0,00968
3	10	14	0,00035	0,00088	0,00007	0,00012	7	11	90	0,00387	0,01182	0,00387	0,00460
30	42	143	0,06614	0,54474	0,01102	0,02242	45	33	533	0,06671	1,75155	0,06671	0,11777
57	55	227	0,73412	2,67464	0,12235	0,15764	30	23	355	0,04827	0,48793	0,04827	0,06738
74	58	220	0,96615	4,95596	0,16103	0,22982	3	3	30	0,00077	0,00116	0,00077	0,00090
10	10	51	0,02251	0,04370	0,00450	0,00662	9	5	112	0,00071	0,00135	0,00062	0,00072
3	7	19	0,00081	0,00151	0,00027	0,00037	15	14	154	0,00614	0,05984	0,00614	0,00997
31	23	194	0,32327	0,79626	0,05388	0,07444	19	19	298	0,03664	0,19929	0,03182	0,03870
68	32	393	1,34733	4,46700	0,22455	0,32204	47	31	481	0,14880	1,47872	0,14880	0,19170
23	25	84	0,14759	0,32148	0,02460	0,03155	6	5	122	0,00138	0,00705	0,00134	0,00245
16	20	64	0,03991	0,13405	0,00665	0,01136	5	5	75	0,00193	0,00623	0,00188	0,00272
4	7	22	0,00126	0,00367	0,00042	0,00076	4	4	41	0,00119	0,00193	0,00097	0,00119
7	12	43	0,00951	0,02094	0,00190	0,00285	3	2	38	0,00050	0,00150	0,00050	0,00100
14	17	63	0,03753	0,10535	0,00625	0,01024	5	4	47	0,00138	0,00490	0,00138	0,00226
22	22	110	0,15989	0,40658	0,02665	0,03786	3,5	2	30	0,00152	0,00233	0,00152	0,00192
40	29	236	0,19739	1,12775	0,03290	0,06498	6,5	4	55	0,00363	0,00846	0,00363	0,00484

*Окончание табл. 1
The end of table 1*

D_0	A	H	P_f	P_a	Z_f	Z	D_0	A	H	P_f	P_a	Z_f	Z_a
28	20	156	0,08441	0,61691	0,01407	0,04069	14	6	200	0,00780	0,08200	0,00780	0,02017
6	5	29	0,00347	0,00714	0,00116	0,00189	20	9	183	0,01850	0,16850	0,01850	0,03517
52	50	338	0,26881	2,49473	0,04480	0,08932	7	7	90	0,00702	0,01898	0,00702	0,00873
38	37	230	0,07296	1,40964	0,01216	0,04829	18	12	165	0,01800	0,17400	0,01800	0,03100
20	29	155	0,04247	0,40589	0,00708	0,01961	5	2	53	0,00072	0,00280	0,00072	0,00176
Ольха черная / Black alder (<i>Alnus glutinosa</i>)							9,5	8	105	0,00720	0,04360	0,00720	0,01175
4	4	50	0,00280	0,00652	0,00280	0,00373	16	10	120	0,01296	0,04624	0,01296	0,01629
8	4	52	0,00320	0,00878	0,00320	0,00460	15	7	225	0,01833	0,11532	0,01833	0,03219
17	10	120	0,02000	0,14400	0,02000	0,03240	8,5	4	130	0,00888	0,02838	0,00888	0,01376
8	6	91	0,00920	0,02842	0,00920	0,01240	8	6	130	0,00507	0,02044	0,00507	0,00763
12	8	120	0,00360	0,03956	0,00360	0,00810	21	12	270	0,03700	0,26200	0,03700	0,05575
30	15	334	0,04000	0,66000	0,04000	0,08133	25	15	380	0,03900	0,42900	0,03900	0,06500
25	11	240	0,06000	0,30800	0,06000	0,08255	12	6	160	0,00819	0,03734	0,00819	0,01305
							8,5	4	100	0,00333	0,01183	0,00333	0,00546
							5	3	85	0,00117	0,00637	0,00117	0,00290
Осина Aspen (<i>Populus tremula</i>)													
10	6	107	0,00364	0,02506	0,00364	0,00721	6	5	75	0,00273	0,00803	0,00273	0,00379
9	3	96	0,00048	0,01328	0,00048	0,00474	26	14	385	0,07800	0,58150	0,07800	0,11396
8	6	76	0,00308	0,01377	0,00308	0,00486	13	9	154	0,01950	0,09900	0,01950	0,02833
5	4	72	0,00082	0,00425	0,00082	0,00168	9	3	95	0,00429	0,01914	0,00429	0,00924
6	3	57	0,00154	0,00580	0,00154	0,00296	5	2	52	0,00117	0,00392	0,00117	0,00255
10	5	134	0,00897	0,04077	0,00897	0,01533	16	8	210	0,05850	0,14100	0,05850	0,06881
23	14	350	0,09750	0,62750	0,09750	0,13536	11,5	6	135	0,00975	0,04000	0,00975	0,01479
15	13	225	0,00780	0,09790	0,00780	0,01473	19	8	226	0,05850	0,14100	0,05850	0,06881
4	3	45	0,00044	0,00196	0,00044	0,00094							

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

Note. D_0 – diameter at the base, mm; A – age of the plant, years; H – height of the plant, cm; P_f – mass of needles (foliage) in an absolutely dry state, kg; P_a – aboveground mass in an absolutely dry state, kg; Z_f – mass of annual growth of needles (foliage), 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, 2016), и этим обусловлен выбор структуры модели (3). В табл. 2 и 3 приведены результаты расчета моделей (1), (2) и (3) с коррекцией на логарифмическую трансформацию (Baskerville, 1972). Коэффициенты детерминации моделей (1)–(3) оказались значимыми на уровне $p < 0,001$, за исключением моделей (1) и (2) для массы листвы липы мелколистной (помечена *), по-видимому, вследствие недостаточного количества исходных данных. Коэффициенты детерминации моделей (2) оказались существенно ниже, чем модели (1).

Таблица 2

Table 2

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

P_i	Модель (1) Model (1)				Модель (2) Model (2)			
	a_0	a_1	R^2	SE	a_0	a_1	R^2	SE
Сосна обыкновенная / Pine								
P_a	-9,7702	2,6745	0,983	0,254	-14,1566	2,5330	0,896	0,630
P_f	-9,9029	2,3725	0,927	0,482	-13,4356	2,1845	0,797	0,805
Ель сибирская / Siberian spruce								
P_a	-9,2495	2,6007	0,989	0,271	-13,0700	2,5519	0,951	0,580
P_f	-9,3781	2,2363	0,939	0,568	-12,2923	2,1373	0,854	0,880
Пихта сибирская / European abies								
P_a	-10,0372	2,8423	0,987	0,306	-12,0886	2,2657	0,952	0,596
P_f	-10,2513	2,5485	0,963	0,472	-11,7810	1,9828	0,890	0,814
Береза повислая / Birch								
P_a	-9,4902	2,6427	0,916	0,594	-15,1414	2,4742	0,866	0,751
P_f	-9,3654	1,9091	0,869	0,549	-13,2543	1,7510	0,787	0,701
Осина / Aspen								
P_a	-10,5208	3,0704	0,975	0,271	-15,9359	2,6091	0,969	0,304
P_f	-11,5558	2,9145	0,824	0,739	-16,6324	2,4657	0,811	0,766
Ольха черная / Black alder								
P_a	-8,6898	2,3823	0,916	0,510	-14,1486	2,3954	0,938	0,439
P_f	-8,2138	1,5545	0,720	0,668	-11,7349	1,5572	0,731	0,655
Липа мелколиственная / Linden								
P_a	-8,5369	1,9480	0,913	0,337	-12,2200	1,7684	0,912	0,338
P_f	-7,8652	1,1019*	0,219*	0,800	-10,4839	1,1067*	0,379*	0,713

Таблица 3
Table 3

Характеристика моделей (3) Characteristics of models (3)

Зависимая переменная Dependent variable	Модель (3) Model (3)							
	a_0	a_1	R^2	SE	a_0	a_1	R^2	SE
Сосна обыкновенная / Pine					Осина / Aspen			
Z_a	-1,7301	0,8746	0,978	0,254	-1,4791	0,8543	0,958	0,306
Ель сибирская / Siberian spruce					Ольха черная / Black alder			
Z_a	-2,7284	0,8059	0,977	0,320	-1,9793	0,7192	0,947	0,296
Пихта сибирская / European abies					Липа мелколистная / Linden			
Z_a	-2,7317	0,7729	0,979	0,305	-2,3877	0,6426	0,804	0,348
Береза повислая / Birch								
Z_a	-2,0573	0,7320	0,978	0,223				

Для анализа относительной высоты деревьев подростка по данным табл. 1 получены значения H/D (при одной и той же размерности высоты и диаметра) и для каждого вида рассчитаны их средние значения, которые показаны в виде диаграммы ранжирования видов по величине H/D (рисунок).

Сопоставив полученные нами ранги светлюбия видов подростка по величине H/D (соответствующие номерам видов на диаграмме в порядке снижения H/D) с упомянутыми рангами видов Я. С. Медведева (1910), мы получили коэффициент ранговой корреляции 0,76. Названная связь оказалась значимой на уровне $p < 0,05$ ($t = 2,3 > t_{95} = 1,96$).

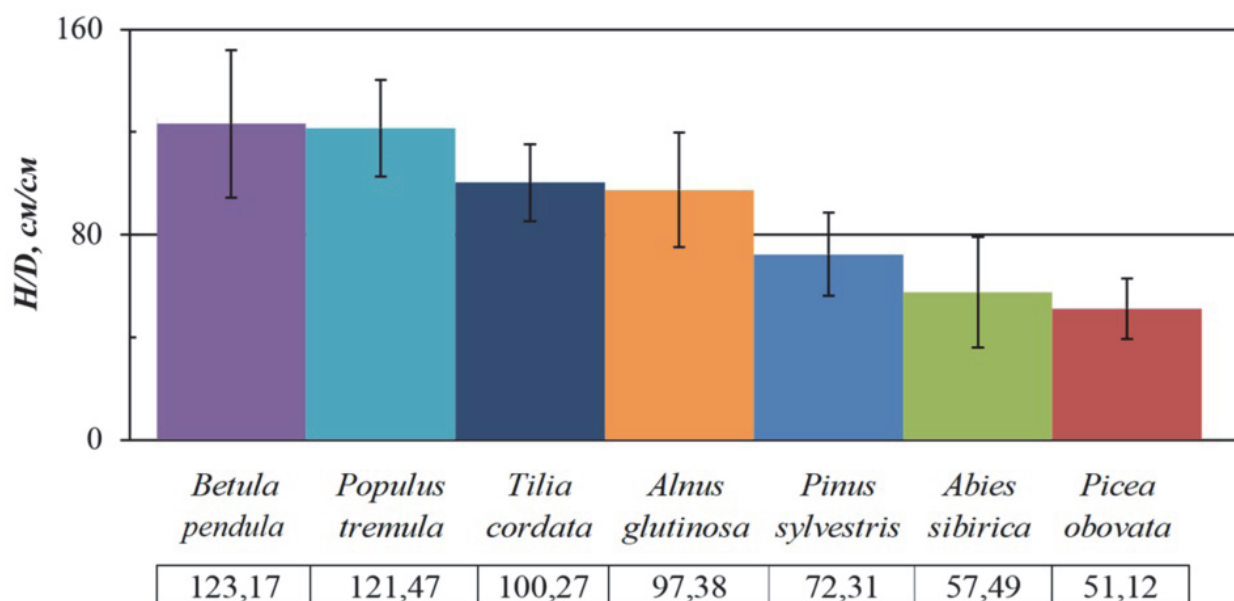


Диаграмма распределения 7 лесобразующих видов Урала по величине относительной высоты растений
Diagram of the distribution of 7 forest-forming species of the Urals by the relative height of plants

Из предложенного Я.С. Медведевым ряда в нашем ряду светолюбия выбивается сосна, которая Я.С. Медведевым отнесена к светолюбивым видам, а в нашем случае подрост сосны тяготеет, скорее, к теневыносливым.

Заключение

Таким образом, впервые для лесов Урала получены фактические данные о биомассе и годовом приросте подроста 7 лесообразующих видов Урала в количестве 134 растений. Предложенные аллометрические модели для фракций наземной биомассы растений подроста характеризуются высокими показателями адекватности исходным данным на уровне вероятности $p < 0,001$. Из двух предложенных структур модели для оценки над-

земной биомассы более адекватной оказалась зависимость от диаметра у основания растения, ее коэффициенты детерминации существенно выше, чем в зависимости от высоты растения. Полученный ряд распределения видов по относительной высоте (сбежистости) растений подроста на статистически значимом уровне подтвердил положение Я.С. Медведева (2010) о показателе относительной высоты как характеристике степени светолюбия видов в составе подпологового подроста. Аллометрические модели биомассы и ее годового прироста дают возможность оперативной оценки биомассы и чистой первичной продукции подроста на единице площади лесов Урала, а также для оценки вклада нижних ярусов в их углероддепонирующую способность.

Список источников

- Биомасса подлесочных видов Урала и ее аллометрические модели / В. А. Усольцев, И. С. Цепордей, А. Ф. Уразова, А. В. Борников // Леса России и хозяйство в них. 2023. № 1. С. 30–40.
- Замолодчиков Д. Г., Коровин Г. Н., Гитарский М. Л. Бюджет углерода управляемых лесов Российской Федерации // Лесоведение. 2007. № 6. С. 23–34.
- Любименко В. Н. О чувствительности хлорофиллоносного аппарата светолюбивых и теневыносливых растений. СПб. : Тип. СПб. градоначальства, 1905. 27 с.
- Медведев Я. С. Опыт исследования гущины леса // Лесной журнал. 1910. Вып. 4–5. С. 432–438.
- Мина М. В., Клевезаль Г. А. Рост животных: анализ на уровне организма. М. : Наука, 1976. 291 с.
- Митропольский А. К. Техника статистических вычислений. М. : Наука, 1971. 576 с.
- Пристова Т. А. Фитомасса древесных растений в листовых фитоценозах послерубочного происхождения // Лесной вестник. 2020. Т. 24. № 1. С. 5–13.
- Турский М. К. Лесоводство. М. : Изд. В. Н. Маракуева, 1892. 356 с.
- Усольцев В. А. Биологическая продуктивность лесообразующих пород в климатических градиентах Евразии (к менеджменту биосферных функций лесов). Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2016. 384 с.
- Усольцев В. А. О закономерностях роста березы порослевого и семенного происхождения // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. 1978. № 6. С. 87–93.
- Усольцев 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.
- Усольцев В. А., Цепордей И. С., Норицин Д. В. Аллометрические модели биомассы деревьев лесообразующих пород Урала // Леса России и хозяйство в них. 2022. № 1. С. 4–14.
- Уткин А. И. Углеродный цикл и лесоводство // Лесоведение. 1995. № 5. С. 3–20.
- Amoroso M. M., Turnblom E. C. Comparing productivity of pure and mixed Douglas-Fir and western hemlock plantations in the Pacific Northwest // Canadian Journal of Forest Research. 2006. Vol. 36. P. 1484–1496.
- Annighöfer P., Ameztegui A., Ammer C. et al. Species-specific and generic biomass equations for seedlings and saplings of European tree species // European Journal of Forest Research. 2016. Vol. 135. P. 313–329.

- Annighöfer P., Mölder I., Zerbe S. et al.* Biomass functions for the two alien tree species *Prunus serotina* Ehrh. and *Robinia pseudoacacia* L. in floodplain forests of Northern Italy // *European Journal of Forest Research*. 2012. Vol. 131. P. 1619–1635.
- Bartelink H. H.* Allometric relationships for biomass and leaf area of beech (*Fagus sylvatica* L.) // *Annals of Forest Science*. 1997. Vol. 54. P. 39–50.
- 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.
- Bebre I., Riebl H., Annighöfer P.* Seedling growth and biomass production under different light availability levels and competition types // *Forests*. 2021. Vol. 12. Article 1376.
- Becker P.* Competition in the regeneration niche between conifers and angiosperms: Bond's slow seedling hypothesis // *Functional Ecology*. 2000. Vol. 14. P. 401–412.
- 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.
- Berner L. T., Alexander H. D., Loranty M. M. et al.* Biomass allometry for alder, dwarf birch, and willow in boreal forest and tundra ecosystems of far northeastern Siberia and north-central Alaska // *Forest Ecology and Management*. 2015. Vol. 337. P. 110–118.
- Bolte A., Czajkowski T., Bielefeldt J. et al.* Schätzung der oberirdischen Biomassevorräte des Baum- und Strauchunterwuchses in Wäldern auf der Basis von Vegetationsaufnahmen // *Forstarchiv*. 2009. Vol. 80(5). P. 222–228.
- Brown S.* Measuring carbon in forests: current status and future challenges // *Environmental Pollution*. 2002. Vol. 116. P. 363–372.
- Chave J., Riera B., Dubois M. A.* Estimation of biomass in a neotropical forest of French Guiana: spatial and temporal variability // *Journal of Tropical Ecology*. 2001. Vol. 17. P. 79–96.
- Chroust L.* Above ground biomass of young pine forest (*Pinus sylvestris*) and its determination // *Communications Instituti Forestalis Cechosloveniae*. 1985. Vol. 14. P. 127–145.
- Djomo A. N., Ibrahima A., Saborowski J., Gravenhorst G.* Allometric equations for biomass estimations in Cameroon and pan moist tropical equations including biomass data from Africa // *Forest Ecology and Management*. 2010. Vol. 260. P. 1873–1885.
- 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.
- Galik C. S., Mobley M. L., Richter D.* A virtual “field test” of forest management carbon offset protocols: the influence of accounting // *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2009. Vol. 14. P. 677–690.
- Gayer K.* Der gemischte Wald, seine Begründung und Pflege, insbesondere durch Horst- und Gruppenwirtschaft. Berlin : Verlag P. Parey, 1886. 168 p.
- Geyer G.* Lehrbuch der forstlichen Bodenkunde und Klimatologie. Erlangen: Verlag von F. Enke, 1856. 569 p.
- Gonzalez-Benecke C. A., Gezan S. A., Albaugh T. J. et al.* Local and general above-stump biomass functions for loblolly pine and slash pine trees // *Forest Ecology and Management*. 2014. Vol. 334. P. 254–276.
- Heinrichs S., Bernhardt-Römermann M., Schmidt W.* The estimation of aboveground biomass and nutrient pools of understorey plants in closed Norway spruce forests and on clearcuts // *European Journal of Forest Research*. 2010. Vol. 129. P. 613–624.
- Henry H. A. L., Aarssen L. W.* The interpretation of stem diameter-height allometry in trees: biomechanical constraints, neighbour effects, or biased regressions? // *Ecology Letters*. 1999. Vol. 2. P. 89–97.
- Hulshof C. M., Swenson N. G., Weiser M. D.* Tree height-diameter allometry across the United States // *Ecology and Evolution*. 2015. Vol. 5. P. 1193–1204.

- Jenkins J. C., Chojnacky D. C., Heath L. S., Birdsey R. A. National scale biomass estimators for United States tree species // *Forest Science*. 2003. Vol. 49. P. 12–35.
- King D. A. Tree allometry, leaf size and adult tree size in old-growth forests of Western Oregon // *Tree Physiology*. 1991. Vol. 9. P. 369–381.
- Kraft G. Beiträge zur Lehre von den Durchforstungen, Schlagstellungen und Lichtungshieben. Hannover: Klindworth's Verlag, 1884. 147 p.
- Li J., Zhang Q., Wen J., Wei Y. Diversity and biomass of understory plants in *Larix gmelinii* forest under different reconstruction methods // *Journal of Botanical Research*. 2019. Vol. 1 (1). P. 20–27.
- Lines E. R., Zavala M. A., Purves D. W., Coomes D. A. Predictable changes in aboveground allometry of trees along gradients of temperature, aridity and competition // *Global Ecology and Biogeography*. 2012. Vol. 21. P. 1017–1028.
- Montoro G. M., Lussier J.-M., Morin H., Thiffault N. Conifer regeneration after experimental shelterwood and seed-tree treatments in boreal forests: Finding silvicultural alternatives // *Frontiers in Plant Science*. 2018. Vol. 9. Article 1145.
- Norgren O., Elfving B., Olsson O. Non-destructive biomass estimation of tree seedlings using image analysis // *Scandinavian Journal of Forest Research*. 1995. Vol. 10. P. 347–352.
- Pajtik J., Konopka B., Lukac M. Biomass functions and expansion factors in young Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst) trees // *Forest Ecology and Management*. 2008. Vol. 256. P. 1096–1103.
- Parresol B. R. Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons // *Forest Science*. 1999. Vol. 45. P. 573–593.
- Pilli R., Anfodillo T., Carrer M. Towards a functional and simplified allometry for estimating forest biomass // *Forest Ecology and Management*. 2006. Vol. 237. P. 583–593.
- Rojas-Garcia F., De J., Bernardus H. J. et al. Database of 478 allometric equations to estimate biomass for Mexican trees and forests // *Annals of Forest Science*. 2015. Vol. 72. P. 835–864.
- Sah J. P., Ross M. S., Koptur S., Snyder J. R. Estimating aboveground biomass of broadleaved woody plants in the understory of Florida keys pine forests // *Forest Ecology and Management*. 2004. Vol. 203. P. 319–329.
- Schroeder P., Brown S., Mo J., Birdsey R., Cieszewski C. Biomass estimation for temperate broadleaf forests of the United States using inventory data // *Forest Science*. 1997. Vol. 43. P. 424–434.
- Sumida A., Ito H., Isagi Y. Trade-off between height growth and stem diameter growth for an evergreen oak, *Quercus glauca*, in a mixed hardwood forest // *Functional Ecology*. 1997. Vol. 11. P. 300–309.
- 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, 2020. URL: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/9647>
- Wiesner J. Der Lichtgenuss der Pflanzen: photometrische und physiologische Untersuchungen mit besonderer Rücksichtnahme auf Lebensweise, geographische Verbreitung und Kultur der Pflanzen. Leipzig: Verlag von W. Engelmann, 1907. 322 p.
- Wirth C., Schumacher J., Schulze E.-D. Generic biomass functions for Norway spruce in Central Europe: a meta-analysis approach toward prediction and uncertainty estimation // *Tree Physiology*. 2004. Vol. 24. P. 121–139.
- 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

- Amoroso M. M., Turnblom E. C.* Comparing productivity of pure and mixed Douglas-Fir and western hemlock plantations in the Pacific Northwest // *Canadian Journal of Forest Research*. 2006. Vol. 36. P. 1484–1496.
- Annighofer P., Ameztegui A., Ammer C.* et al. Species-specific and generic biomass equations for seedlings and saplings of European tree species // *European Journal of Forest Research*. 2016. Vol. 135. P. 313–329.
- Annighofer P., Molder I., Zerbe S.* et al. Biomass functions for the two alien tree species *Prunus serotina* Ehrh. and *Robinia pseudoacacia* L. in floodplain forests of Northern Italy // *European Journal of Forest Research*. 2012. Vol. 131. P. 1619–1635.
- Bartelink H. H.* Allometric relationships for biomass and leaf area of beech (*Fagus sylvatica* L.) // *Annals of Forest Science*. 1997. Vol. 54. P. 39–50.
- 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.
- Bebre I., Riebl H., Annighofer P.* Seedling growth and biomass production under different light availability levels and competition types // *Forests*. 2021. Vol. 12. Article 1376.
- Becker P.* Competition in the regeneration niche between conifers and angiosperms: Bond's slow seedling hypothesis // *Functional Ecology*. 2000. Vol. 14. P. 401–412.
- 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.
- Berner L. T., Alexander H. D., Loranty M. M.* et al. Biomass allometry for alder, dwarf birch, and willow in boreal forest and tundra ecosystems of far northeastern Siberia and north-central Alaska // *Forest Ecology and Management*. 2015. Vol. 337. P. 110–118.
- Bio-mass of understory species of the Urals and its allometric models / *V. A. Usoltsev, I. S. Tsepordei, A. F. Urazova, A. V. Bornikov* // *Forests of Russia and the economy in them*. 2023. № 1. P. 30–40. (In Russ.)
- Bolte A., Czajkowski T., Bielefeldt J.* et al. Estimation of the above-ground biomass reserves of tree and shrub undergrowth in forests based on vegetation surveys // *Forest archive*. 2009. Vol. 80(5). P. 222–228.
- Brown S.* Measuring carbon in forests: current status and future challenges // *Environmental Pollution*. 2002. Vol. 116. P. 363–372.
- Chave J., Riera B., Dubois M. A.* Estimation of biomass in a neotropical forest of French Guiana: spatial and temporal variability // *Journal of Tropical Ecology*. 2001. Vol. 17. P. 79–96.
- Chroust L.* Above ground biomass of young pine forest (*Pinus sylvestris*) and its determination // *Communicationes Instituti Forestalis Cechosloveniae*. 1985. Vol. 14. P. 127–145.
- Djomo A. N., Ibrahima A., Saborowski J., Gravenhorst G.* Allometric equations for biomass estimations in Cameroon and pan moist tropical equations including biomass data from Africa // *Forest Ecology and Management*. 2010. Vol. 260. P. 1873–1885.
- 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.
- Galik C. S., Mobley M. L., Richter D.* A virtual “field test” of forest management carbon offset protocols: the influence of accounting // *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2009. Vol. 14. P. 677–690.
- Gayer K.* Der gemischte Wald, seine Begründung und Pflege, insbesondere durch Horst- und Gruppenwirtschaft. Berlin : Verlag P. Parey, 1886. 168 p.
- Geyer G.* Lehrbuch der forstlichen Bodenkunde und Klimatologie. Erlangen: Verlag von F. Enke, 1856. 569 p.
- Gonzalez-Benecke C. A., Gezan S. A., Albaugh T. J.* et al. Local and general above-stump biomass functions for loblolly pine and slash pine trees // *Forest Ecology and Management*. 2014. Vol. 334. P. 254–276.

- Heinrichs S., Bernhardt-Romermann M., Schmidt W. The estimation of aboveground biomass and nutrient pools of understorey plants in closed Norway spruce forests and on clearcuts // *European Journal of Forest Research*. 2010. Vol. 129. P. 613–624.
- Henry H. A. L., Aarssen L. W. The interpretation of stem diameter-height allometry in trees: biomechanical constraints, neighbour effects, or biased regressions? // *Ecology Letters*. 1999. Vol. 2. P. 89–97.
- Hulshof C. M., Swenson N. G., Weiser M. D. Tree height-diameter allometry across the United States // *Ecology and Evolution*. 2015. Vol. 5. P. 1193–1204.
- Jenkins J. C., Chojnacky D. C., Heath L. S., Birdsey R. A. National scale biomass estimators for United States tree species // *Forest Science*. 2003. Vol. 49. P. 12–35.
- King D. A. Tree allometry, leaf size and adult tree size in old-growth forests of Western Oregon // *Tree Physiology*. 1991. Vol. 9. P. 369–381.
- Kraft G. Contributions to the theory of thinning, striking positions and lightning strokes. Hanover : Klindworth's Verlag, 1884. 147 p.
- Li J., Zhang Q., Wen J., Wei Y. Diversity and biomass of understory plants in *Larix gmelinii* forest under different reconstruction methods // *Journal of Botanical Research*. 2019. Vol. 1(1). P. 20–27.
- Lines E. R., Zavala M. A., Purves D. W., Coomes D. A. Predictable changes in aboveground allometry of trees along gradients of temperature, aridity and competition // *Global Ecology and Biogeography*. 2012. Vol. 21. P. 1017–1028.
- Lyubimenko V. N. On the sensitivity of the chlorophyll-bearing apparatus of light-loving and shade-tolerant plants. St. Petersburg : tip. Spb. gra-donachalstva, 1905. 27 p. (In Russ.)
- Medvedev Ya. S. The experience of researching the thick of the forest // *Forest Journal*. 1910. Issue 4–5. P. 432–438. (In Russ.)
- Mina M. V., Klevezal G. A. Animal growth: analysis at the organ level. M. : Science, 1976. 291 p.
- Mitropolsky A. K. Technique of statistical computing. M. : Science, 1971. 576 p.
- Montoro G. M., Lussier J.-M., Morin H., Thiffault N. Conifer regeneration after experimental shelterwood and seed-tree treatments in boreal forests: Finding silvicultural alternatives // *Frontiers in Plant Science*. 2018. Vol. 9. Article 1145.
- Norgren O., Elfving B., Olsson O. Non-destructive biomass estimation of tree seedlings using image analysis // *Scandinavian Journal of Forest Research*. 1995. Vol. 10. P. 347–352.
- Pajtik J., Konopka B., Lukac M. Biomass functions and expansion factors in young Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst) trees // *Forest Ecology and Management*. 2008. Vol. 256. P. 1096–1103.
- Parresol B. R. Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons // *Forest Science*. 1999. Vol. 45. P. 573–593.
- Pilli R., Anfodillo T., Carrer M. Towards a functional and simplified allometry for estimating forest biomass // *Forest Ecology and Management*. 2006. Vol. 237. P. 583–593.
- Pristova T. A. Phytomass of woody plants in deciduous phytocenoses of post-harvest origin // *Lesnoy Vestnik*. 2020. Vol. 24. № 1. P. 5–13. (In Russ.)
- Rojas-Garcia F., De J., Bernardus H. J. et al. Database of 478 allometric equations to estimate biomass for Mexican trees and forests // *Annals of Forest Science*. 2015. Vol. 72. P. 835–864.
- Sah J. P., Ross M. S., Koptur S., Snyder J. R. Estimating aboveground biomass of broadleaved woody plants in the understory of Florida keys pine forests // *Forest Ecology and Management*. 2004. Vol. 203. P. 319–329.
- Schroeder P., Brown S., Mo J., Birdsey R., Cieszewski C. Biomass estimation for temperate broadleaf forests of the United States using inventory data // *Forest Science*. 1997. Vol. 43. P. 424–434.
- Sumida A., Ito H., Isagi Y. Trade-off between height growth and stem diameter growth for an evergreen oak, *Quercus glauca*, in a mixed hardwood forest // *Functional Ecology*. 1997. Vol. 11. P. 300–309.

- 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.
- Tursky M. K.* *Forestry*. M. : Publishing house of V. N. Marakuev, 1892. 356 p.
- Usoltsev V. A.* Biological productivity of forest-forming species in the climatic gradients of Eurasia (on the management of biospheric functions of forests). Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2016. 384 p.
- Usoltsev V. A.* On the regularities of the growth of birch of overgrown and seed origin // *Bulletin of Agricultural Science of Kazakhstan*. 1978. № 6. P. 87–93. (In Russ.)
- 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, 2020. URL: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/9647>
- Usoltsev V. A., Vorobeychik E. L., Bergman I. E.* Biological productivity of Ural forests in conditions of technogenic pollution: Investigation of the system of connections and patterns. Yekaterinburg : UGLTU, 2012. 365 p.
- Usoltsev V. A., Tsepordei I. S., Noritsin D. V.* Allometric models of biomass of trees of forest-forming rocks of the Urals // *Forests of Russia and the economy in them*. 2022. № 1. P. 4–14. (In Russ.)
- Utkin A. I.* Carbon cycle and forestry // *Forest science*. 1995. № 5. P. 3–20. (In Russ.)
- Wiesner J.* *Der Lichtgenuss der Pflanzen: photometrische und physiologische Untersuchungen mit besonderer Rücksichtnahme auf Lebensweise, geographische Verbreitung und Kultur der Pflanzen*. Leipzig: Verlag von W. Engelmann, 1907. 322 p.
- Wirth C., Schumacher J., Schulze E.-D.* Generic biomass functions for Norway spruce in Central Europe: a meta-analysis approach toward prediction and uncertainty estimation // *Tree Physiology*. 2004. Vol. 24. P. 121–139.
- Zamolodchikov D. G., Korovin G. N., Guitarsky M. L.* Budget of coal-fed managed forests of the Russian Federation // *Forest science*. 2007. № 6. P. 23–34. (In Russ.)
- Zianis D., Muukkonen P., Makipaa 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 27.02.2023; принята к публикации 27.03.2023.

The article was submitted 27.02.2023; accepted for publication 27.03.2023.
