

Леса России и хозяйство в них. 2023. № 1. С. 19–29

Forests of Russia and economy in them. 2023. № 1. P. 19–29

Научная статья

УДК 630*52

DOI 10.51318/FRET.2022.27.41.002

ВОЗРАСТНАЯ ДИНАМИКА БИОМАССЫ ИВНЯКОВ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Андрей Алексеевич Парамонов¹, Владимир Андреевич Усольцев²,
Сергей Васильевич Третьяков³, Сергей Викторович Коптев⁴,
Алексей Александрович Карабан⁵, Илья Васильевич Цветков⁶,
Александр Владимирович Давыдов⁷, Иван Степанович Цепордей⁸

^{1,3,4,5,6,7} Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, Архангельск, Россия

² Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

^{2,8} Ботанический сад Уральского отделения РАН, Екатеринбург, Россия

^{3,4,5,6,7} Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова, Архангельск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Усольцев Владимир Андреевич,

Usoltsev50@mail.ru

Аннотация. В связи с необходимостью оценки углероддепонирующей способности российских лесов получение информации о биологической продуктивности всех лесообразующих древесных пород в их возрастной динамике становится все более актуальным. Большие территории России заняты ивовыми насаждениями, которые до последнего времени не подлежали учету в системе лесного фонда. Их биологическая продуктивность и углероддепонирующая способность оставались неизвестными. Единичные исследования биомассы ивняков были выполнены на микроротационных плантациях в возрасте от 1 до 9 лет в Центрально-Черноземном регионе. Целью наших исследований были получение фактических данных о структуре надземной биомассы ивы, произрастающей в условиях северной тайги Архангельской области, и разработка моделей возрастной динамики ее фракций на уровне древостоев. По экспериментальным данным надземной биомассы, полученным на 54 пробных площадях, и данным о биомассе корней (Смирнов, 1971) составлена таблица возрастной динамики таксационных показателей и фракционного состава биомассы (т/га) в диапазоне возрастов от 15 до 40 лет. Построенные модели таксационных показателей и фракций биомассы, связанные между собой по рекурсивному принципу, адекватны фактическим данным на уровне вероятности $p < 0,001$. Сопоставление средних значений таксационных показателей и биомассы на 1 га ивняков Архангельской области и Швеции показало, что разница по биомассе стволов, листвы и надземной двух регионов оказалась статистически незначимой вследствие компенсации противоположных влияний густоты и среднего диаметра ивняков двух регионов.

Ключевые слова: *Salix caprea* L., *S. borealis* Fries., биомасса древостоев, компоненты биомассы, рекурсивные модели, возрастная динамика биомассы

Финансирование: публикация подготовлена по результатам НИР, выполненных в рамках государственных заданий ФБУ «СевНИИЛХ» на проведение прикладных научных исследований в сфере деятельности Федерального агентства лесного хозяйства, регистрационный номер тем АААА-А18-118030290042-6, 1022040100465-9-4.1.2; конкурса научных проектов «Молодые ученые Поморья» по гранту № 01Ф-02-08/558, а также в рамках Государственного задания Ботанического сада УрО РАН.

Scientific article

AGE DYNAMICS OF WILLOW BIOMASS IN THE ARKHANGELSK REGION

Andrey A. Paramonov¹, Vladimir A. Usoltsev², Sergey V. Tretyakov³, Sergey V. Koptev⁴, Alexey A. Karaban⁵, Piya V. Tsvetkov⁶, Alexander V. Davydov⁷, Ivan S. Tsepordey⁸

^{1,3,4,5,6,7} Northern (Arctic) Federal University Named after M. V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia

² Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

^{2,8} Botanical Garden, Ural Branch of RAS, Yekaterinburg, Russia

^{3,4,5,6,7} Northern Research Institute of Forestry, Arkhangelsk, Russia

Corresponding author: Vladimir A. Usoltsev,

Usoltsev50@mail.ru

Abstract. Due to the need to assess the carbon-depositing capacity of Russian forests, obtaining information on the biological productivity of all forest-forming tree species in their age dynamics is becoming increasingly relevant. Large areas of Russia are occupied by willow forests, which until recently were not subject to accounting in the forest fund system. Their biological productivity and carbon depositing capacity remained unknown. Single studies of willow biomass were carried out on micro rotation plantations aged from 1 to 9 years in the Central Chernozem region. The purpose of our research was to obtain experimental data on the structure of the aboveground biomass of willow growing in the conditions of the northern taiga of the Arkhangelsk region, and to develop models of the age dynamics of its fractions at the level of stands. Based on the experimental data of aboveground biomass obtained on 54 sample plots and data on root biomass according to V. V. Smirnov (1971), a table of age dynamics of taxation indicators and fractional composition of biomass (t/ha) in the age range from 15 to 40 years was compiled. The constructed models of taxation indicators and biomass fractions, interrelated by the recursive principle, are adequate to the initial data at the probability level $p < 0,001$. A comparison of the average values of taxation indicators and biomass per 1 ha of willows of the Arkhangelsk region and Sweden showed that the difference in the aboveground biomass as well as of stems and foliage one of the two regions turned out to be statistically insignificant due to compensation of the opposite the effects of the tree density and average stem diameter of the willow stands of the two regions.

Keywords: *Salix caprea* L., *S. borealis* Fries., biomass of stands, components of biomass, recursive models, age dynamics of biomass

Funding: the publication was prepared based on the results of research carried out within the framework of the state tasks of the FBU «СевНИИЛХ» for conducting applied scientific research in the field of activity of the Federal Forestry Agency, registration number of topics ААААА18-118030290042-6, 1022040100465-9-4.1.2; competition of scientific projects «Young scientists of Pomerania» under grant № 01F-02-08/558, as well as within the framework of the State Assignment of the Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.

Введение

Использование биоэнергии быстро растет в связи с необходимостью сокращения выбросов парниковых газов. В европейских странах древесное топливо играет ведущую роль в попытках достичь целей Европейского союза по расширению использования возобновляемых источников энергии (Hytönen, Saarsalmi, 2015). Выращивание так называемых энергетических плантаций быстрорастущих лиственных пород деревьев сегодня широко практикуется по всему миру. Основной акцент в этих исследованиях сделан на плантациях ивы с короткой ротацией, хотя перспективны в этом отношении и другие лиственные породы деревьев, такие как тополь и ольха. Они характеризуются интенсивным внутренним круговоротом элементов питания (Zimka, Stachurski, 1976; Lennon et al., 1985), и около 30% потребности лиственных пород деревьев в азоте покрывается за счет внутреннего круговорота питательных веществ (Cole, Rapp, 1980). Высокая скорость роста этих пород приводит к интенсивному изъятию атмосферного CO₂ и накоплению углерода в их биомассе (Silva, 2020).

Большие территории России заняты ивовыми насаждениями, которые до последнего времени не подлежали учету в системе лесного фонда. Еще в начале прошлого века немецким ученым-лесоводом Г. Фюрстом ивовые заросли вообще исключались из понятия «лес»: «Под понятие лес не подойдут слишком ничтожные площади, занятые деревьями, равно как и ивняки, поросшие прутьями 1–2-летнего возраста» (цит. по: Керн, 1924. С. 2). В России земли, вышедшие из сельскохозяйственного пользования после 1990-х годов, интенсивно зарастают естественным путем такими видами, как ива, ольха и др. (Жижин и др., 2021). Эти лесные площади часто не подлежат инвентаризации, их вклад в углеродный бюджет лесного покрова неизвестен.

Цель, методика и объекты исследования

Целью наших исследований были получение фактических данных о структуре надземной биомассы ивы, произрастающей в условиях северной тайги Архангельской области, и разработка

моделей возрастной динамики ее фракций на уровне древостоев.

Сбор полевого материала проводился с 2018 по 2021 гг. в Приморском, Вельском, Шенкурском, Плесецком и Верхнетоемском районах Архангельской области в древостоях, представленных видами *Salix caprea* L., *S. borealis* Fries. и их гибридными формами. Пробные площади закладывали в соответствии с ОСТ 56-69–83 «Площади пробные лесоустроительные» (ОСТ 56-69–83). Всего заложены 54 пробные площади, на которых взято по одному среднему модельному дереву. Методика работы на пробных площадях была изложена ранее (Биомасса деревьев..., 2022). По фактическим данным о биомассе модельных деревьев рассчитаны аллометрические модели (Биомасса деревьев..., 2022), использованные для расчета биомассы древостоев на 1 га по данным перечета по ступеням толщины. Для остальных лиственных пород в составе древостоев пробных площадей для расчета биомассы на 1 га использованы ранее опубликованные всеобщие аллометрические модели. В нашем исследовании биомасса корней не определялась, и для расчета моделей их биомассы использованы данные В. В. Смирнова (1971) для европейской части России. Полная характеристика полученных данных о 54 пробных площадях, заложенных в древостоях ивы, дана в табл. 1.

При моделировании возрастной динамики биомассы ивняков за основу взята методика построения таблиц биологической продуктивности по классам бонитета сосняков лесостепной зоны, в основу которой положен рекурсивный принцип совмещения зависимостей для таксационных показателей таблицы (Усольцев, 1987, 1988). В настоящей работе имеющийся экспериментальный материал не дает возможности построения таблиц по классам бонитета, и методика, соответственно, была упрощена с сохранением рекурсивного принципа моделирования (Маленко, 1976).

Рассчитана цепочка связанных (рекурсивных) моделей, имеющих общий вид

$$\ln Y = a_0 + a_1 (\ln A) + a_2 (\ln D) + a_3 (\ln N) + a_4 (\ln Ps), \quad (1)$$

где Y – одна из зависимых переменных. Результаты расчета сведены в табл. 2.

Таблица 1
Table 1

Фактические данные о биомассе ивовых древостоев, заложенных
на 54 пробных площадях Архангельской области
Empirical data on the biomass of willow stands established
on 54 sample plots of the Arkhangelsk region

№ ПП № PP	Состав Composition	A, лет A, years	N, экз/га N, ex/ha	D, см D, cm	H, м H, m	M, м³/га M, m³/ha	Биомасса в абсолютно сухом состоянии, т/га Biomass in dry condition, t per ha						
							Ps	Pbk	Pb	Pf	Pa	Pr	Pt
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	9Ив1Ол, ед Ос	16	2750	7,8	8,8	70,8	31,6	4,4	6,0	1,1	38,5	12,0	50,5
2	10Ив, ед Б	15	5700	5,1	8,0	55,4	24,2	4,1	4,2	0,8	29,0	9,1	38,1
3	8Ив2Б	33	2775	9,1	7,8	102,1	45,5	6,1	9,0	1,3	55,6	17,8	73,4
4	7Ив2Б1Чер, ед Ос, Ол, Ряб	30	4600	8,3	7,8	143,0	62,1	8,5	12,8	1,8	76,3	25,2	101,5
5	6Ив3Ол1Б, ед С, Е	30	5250	7,1	10,5	109,3	53,4	7,0	8,3	2,1	63,7	17,5	81,3
6	5Ив3Ол2Б, ед С, Ос	35	6475	7,2	10,1	141,8	65,4	9,1	10,2	2,7	78,4	21,7	100,1
7	10Ив, ед Ол, Чер	35	5150	8,7	8,4	170,9	73,0	10,3	15,6	2,0	90,1	30,7	120,8
8	10Ив, ед Ол	34	6500	7,9	9,6	170,3	73,1	10,7	15,0	2,1	89,7	30,1	119,8
9	10Ив	28	4450	7,6	10,4	108,0	46,5	6,9	9,3	1,3	56,8	18,9	75,8
10	9Ив1Ол, ед Чер, Ряб	23	4450	9,6	8,7	195,4	83,9	10,6	19,2	2,2	104,1	35,9	140,0
11	9Ив1Ол, ед Б	30	4250	7,3	8,8	99,3	44,3	6,1	8,3	1,4	53,8	16,9	70,7
12	8Ив2Ол, ед Б, Ос	30	4975	7,5	9,9	119,8	55,6	7,4	9,8	2,0	67,2	19,9	87,1
13	6Ив3Ол1Б, ед Ряб	24	6500	8,0	9,9	181,5	84,8	11,1	14,9	3,0	102,3	30,3	132,5
14	4Ив4Ол2Б	23	7025	6,9	10,3	136,3	62,8	9,0	9,6	2,8	75,3	20,5	95,8
15	6Ив3Ол1Б	24	6525	7,3	9,9	145,6	63,8	9,4	11,5	2,3	77,5	23,8	101,3
16	6Ив2Ол2Б, ед Ряб	23	7150	6,7	10,3	129,3	61,0	8,6	9,3	2,4	72,7	19,8	92,5
17	8Ив2Ос, ед Б	24	6225	7,4	11,6	147,7	72,7	9,0	13,4	2,5	88,2	24,8	113,0
18	8Ив2Ос, ед Б	26	2925	9,9	12,4	139,3	77,3	7,5	15,0	2,3	93,8	26,4	120,2
19	8Ив2Ос, ед Б	25	4425	9,0	13,9	170,2	100,1	9,3	18,8	2,9	120,6	33,9	154,4
20	8Ив1Ос1Б	25	5400	7,1	12,1	118,9	54,0	7,2	10,7	1,8	66,1	19,9	86,0
21	9Ив1Ос, ед Б	34	5600	7,3	11,8	127,7	56,7	7,9	11,4	1,8	69,6	22,0	91,5
22	9Ив1Ол, ед Б	15	6000	3,6	9,0	26,5	11,6	2,2	1,8	0,5	13,8	4,1	17,9
23	6Ив3Б1Ол, ед Ос	22	5675	6,1	9,0	87,6	38,9	5,6	6,6	1,5	46,8	13,5	60,3
24	4Ив3Б3Ол, ед Ос	27	5625	6,4	9,0	95,8	45,3	6,3	6,5	1,9	53,8	14,1	67,9
25	8Ив2Ол, ед Б	26	7725	6,1	9,9	115,0	56,5	7,8	8,3	2,2	66,9	18,2	85,1
26	6Ив4Ол, ед Б	25	4450	8,7	11,5	152,7	78,3	8,9	10,4	2,6	91,3	23,3	114,6
27	9Ив1Ол, ед Б	35	3975	9,8	13,3	182,4	78,2	9,8	18,1	2,1	97,3	33,7	131,0
28	10Ив, ед Ол	25	4525	8,3	13,2	149,3	62,9	8,1	15,8	1,6	78,9	28,4	107,3
29	10Ив	35	4775	11,4	9,3	308,5	129,4	15,9	32,8	3,2	163,0	59,1	222,1
30	10Ив	34	4525	10,6	9,2	250,0	104,9	13,0	26,5	2,6	132,1	47,8	179,9
31	10Ив, ед Ос	36	4150	10,9	10,7	246,4	104,0	12,7	26,2	2,6	130,9	46,7	177,6

Окончание табл. 1
The end of table 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
32	10Ив, ед Ос	35	4325	11,4	9,7	293,2	125,9	14,3	32,7	3,1	158,9	56,2	215,0
33	10Ив, ед Ос	35	5100	11,4	9,7	337,8	141,4	17,1	36,9	3,4	178,7	65,4	244,1
34	10Ив, ед Ол	32	3775	10,4	10,6	193,8	81,8	10,5	19,6	2,1	102,3	36,3	138,6
35	10Ив	30	3950	9,5	9,9	168,6	71,1	9,2	17,2	1,8	88,9	31,6	120,6
36	9Ив1Ол	30	4875	8,8	10,2	181,5	77,4	9,8	18,5	2,1	96,7	33,9	130,6
37	10Ив, ед Ол	32	3250	10,1	10,2	164,9	69,2	8,6	17,6	1,7	87,1	31,6	118,7
38	10Ив	36	3325	10,9	10,7	197,3	82,7	10,2	21,1	2,0	104,2	37,8	142,0
39	10Ив, ед Чер	35	4125	10,4	11,8	217,3	91,4	11,6	22,6	2,3	114,8	41,2	156,0
40	10Ив	38	3550	11,3	11,4	238,6	99,3	11,6	27,2	2,3	126,2	47,1	173,3
41	10Ив, ед Ол	35	5100	8,8	12,5	193,7	81,6	10,3	20,4	2,1	102,5	36,8	139,3
42	10Ив	34	3925	10,0	11,7	191,8	80,5	10,0	20,4	2,0	101,3	36,7	138,0
43	5Ив5Ол, ед С, Е, Б, Ос	28	8325	5,6	9,7	104,6	46,8	7,2	8,1	2,7	57,4	16,2	73,6
44	4Ив4Ол1Б1Ос, ед Е	30	6025	7,3	11,1	140,1	66,0	8,7	11,9	3,2	81,0	21,7	102,6
45	6Ол4Ив, ед С, Е, Б	26	5375	5,4	9,5	62,3	27,8	4,3	4,7	1,6	34,0	9,7	43,8
46	6Ол4Ив, ед С, Б	29	6125	7,6	10,3	151,9	72,5	9,4	11,3	3,5	87,5	23,5	111,0
47	6Ол3Ив1Б, ед Е, Ос	29	5300	7,2	11,6	120,5	57,4	7,4	9,7	2,8	69,9	18,4	88,3
48	5Ол4Ив1Ос, ед Е, Б	28	4650	8,4	9,8	149,0	73,6	8,5	13,2	3,0	89,5	23,7	113,3
49	7Ол3Ив	22	8100	6,7	9,1	156,4	76,0	9,7	10,8	3,6	90,6	23,5	114,0
50	7Ол3Ив	23	6325	6,6	8,6	114,4	55,7	7,3	7,6	2,8	66,3	16,9	83,1
51	5Ив5Ол, ед Б, Ос	18	7125	5,9	8,0	99,0	47,2	6,8	7,0	2,5	56,8	14,7	71,5
52	5Ив5Ол, ед Б	25	4450	11,0	13,5	259,4	135,0	13,8	18,6	4,1	157,4	40,6	198,0
53	7Ол3Ив, ед Е, Б	31	4825	11,8	14,5	339,3	173,7	17,4	25,0	5,2	203,2	53,2	256,5
54	7Ив2Чер1Ол, ед Ос, Ряб	40	975	19,6	13,0	213,0	91,5	9,3	25,2	2,1	116,2	42,0	158,2

Примечание. *A* – возраст древостоя, лет; *D* – средний диаметр древостоя, см; *H* – средняя высота древостоя, м; *N* – число деревьев на 1 га; *Ps* – биомасса ствола в коре, т/га; *M* – запас ствольной древесины в коре, м³/га; *Ps, Pbk, Pb, Pf, Pr, Pa* и *Pt* – биомасса соответственно ствола в коре, коры ствола, ветвей, листвы, корней, надземная и общая, т/га.

Note. *A* – is the age of the stand, years; *D* – is the average diameter of the stand, cm; *H* – is the average height of the stand, m; *N* – is the number of trees per 1 ha; *Ps* – is the biomass of the trunk in the bark, t/ha; *M* – is the stock of stem wood in the bark, m³/ha; *Ps, Pbk, Pb, Pf, Pr, Pa* and *Pt* – are the biomass of the trunk in the bark, trunk bark, branches, foliage, roots, aboveground and total, t/ha, respectively.

Независимые переменные в моделях (1) объясняют от 48 до 99% изменчивости соответствующих зависимых переменных, за исключением модели, описывающей зависимость средней высоты древостоя от его возраста, где коэффициент детерминации составил всего 0,228 (см. табл. 2). Но даже в этом случае регрессионный коэффициент достоверен на уровне $p < 0,001$ ($t = 3,98 > t_{99} = 3,29$). О степени адекватности системы моделей (1) можно судить по соотношению эмпирических и расчет-

ных значений надземной и общей биомассы древостоев (рисунок).

Последовательным табулированием системы моделей (1), представленных в табл. 2, мы получили таблицу возрастной динамики таксационных показателей и фракций биомассы ивняков в возрастном диапазоне от 15 до 40 лет (табл. 3).

На территории России данные о надземной биомассе ивняков на 1 га представлены лишь двумя авторами (Горобец, 1992; Логинова, 2007),

определившими ее в микроротационных плантациях в возрасте от 1 до 9 лет без указания таксационных показателей древостоев. Поскольку наши модели действительны в возрастном диапазоне от 15 до 40 лет, какое-либо сопоставление упомянутых данных с нашими практически невозможно. За рубежом ивняки исследуются довольно интенсивно, но фактические данные о их биомассе на 1 га исследователями обычно не приво-

дятся. Единственная возможность сопоставить наши данные с данными других авторов имеется в работе по ивнякам (*Salix caprea* L.) Швеции (Johansson, 2011). Поскольку упомянутые материалы по Швеции представлены не фактическими данными, а в их статистической обработке, мы выполнили подобный статистический анализ наших данных, и результаты обоих источников показаны в табл. 4.

Таблица 2

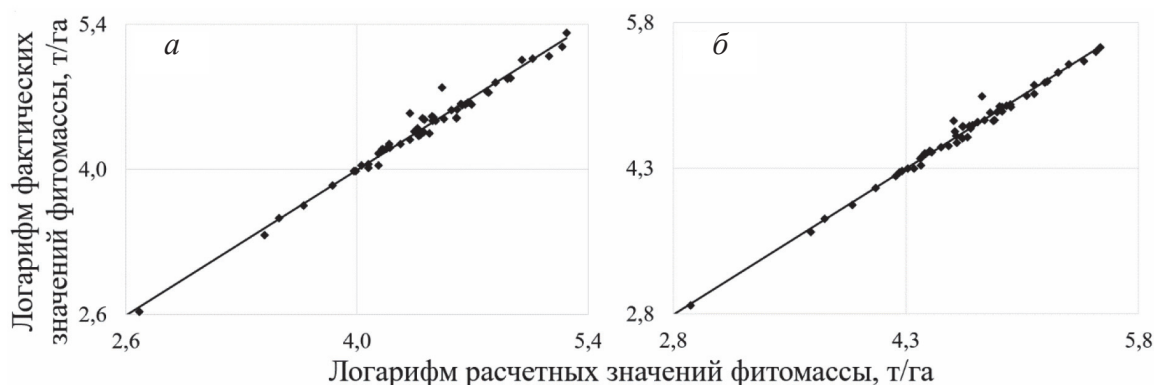
Table 2

Характеристика рекурсивной системы моделей (1)
Characteristics of recursive models (1)

Зависимая переменная Dependent variable	Коэффициенты Coefficients					adjR ² *	SE*
	a_0	a_1 (ln A)	a_2 (ln D)	a_3 (ln N)	a_4 (ln Ps)		
ln D	-0,6550	0,8346	–	–	–	0,479	0,19
ln H	1,8177	0,2502	–	–	–	0,228	0,12
ln N	9,7128	0,3344	-1,0991	–	–	0,535	0,23
ln M	-8,7493	–	2,3697	1,0307	–	0,995	0,03
ln Ps	-9,7756	–	2,3449	1,0648	–	0,969	0,08
ln Pbk	-1,0744	–	-0,1799	–	0,8600	0,959	0,07
ln Pb	-11,0469	–	2,7382	0,9241	–	0,944	0,13
ln Pf	-12,9473	–	1,7250	1,1921	–	0,692	0,22
ln Pr	-10,3292	–	2,5606	0,9617	–	0,972	0,08
ln Pa	-9,5594	–	2,3835	1,0534	–	0,977	0,07
ln Pt	-9,2099	–	2,4281	1,0329	–	0,984	0,06

* $adjR^2$ – коэффициент детерминации, скорректированный на число переменных; SE – стандартная ошибка уравнения.

* $adjR^2$ – coefficient of determination adj usted for the number of variables; SE – standard error of the equation.



Соотношение фактических и расчетных значений надземной (а) и общей (б) биомассы ивняков Архангельской области

Figure. The ratio of empirical and calculated values of aboveground (a) and total (b) willow biomass of the Arkhangelsk region

Таблица 3
Table 3

Возрастная динамика биомассы ивняков Архангельской области*
Age dynamics of willow stand biomass in the Arkhangelsk region

A, лет A, years	D, см D, cm	H, м H, m	N, экз/га N, ex/ha	M, м³/га M, m³/ha	Биомасса в абсолютно сухом состоянии, т/га Biomass in dry condition, t per ha						
					<i>P_s</i>	<i>P_{bk}</i>	<i>P_b</i>	<i>P_f</i>	<i>P_a</i>	<i>P_r</i>	<i>P_t</i>
15	5,1	12,2	7050	68,7	32,1	5,0	4,9	1,6	38,6	10,5	49,1
20	6,4	13,1	5962	102,2	47,1	6,7	8,1	1,9	57,2	16,5	73,7
25	7,8	13,9	5234	138,9	63,5	8,4	12,0	2,3	77,8	23,5	101,3
30	9,0	14,5	4707	178,5	81,1	10,1	16,5	2,6	100,2	31,3	131,5
35	10,3	15,1	4302	220,8	99,6	11,8	21,6	2,9	124,1	39,9	164,1
40	11,5	15,6	3980	265,3	119,0	13,5	27,3	3,2	149,6	49,3	198,9

* Значение надземной биомассы получено сложением расчетных значений биомассы ствола в коре, ветвей и листья, а значение общей биомассы *P_t* получено сложением значений *P_a* и *P_r*:

* The aboveground biomass value is obtained by adding the calculated values of the stem bark, branches and foliage biomass, and the total *P_t* biomass value is obtained by adding the *P_a* and *P_r* values.

Таблица 4
Table 4

Результаты статистической обработки исходных данных ивняков
Архангельской области и Швеции
The results of statistical analysis of the experimental data of the willow stands
of the Arkhangelsk region and Sweden

Анализируемые показатели Analyzed indicators	Статистики анализируемых показателей Statistics of the analyzed indicators					Достоверность различия (<i>t</i>) между нашими и шведскими данными The validity of the difference (<i>t</i>) between our and Swedish data
	Среднее значение Average value	Минимальное значение Minimum value	Максимальное значение Maximum value	Стандартное отклонение Standard deviation	Число наблюдений Number of observations	
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
Архангельская область Arkhangelsk region						
Возраст Age	29	15	40	6	54	-3,0
Средний диаметр Average diameter	8,5	3,6	19,6	2,4	54	-20,5
Число стволов на 1 га Number of trunks per 1 ha	5063	975	8325	1421	54	16,9
Биомасса, т/га: Biomass, t/ha:						
стволов trunks	73	12	174	30	54	0,6
ветвей branches	15	2	37	8	54	-3,8

Окончание табл. 4
The end of table 4

1	2	3	4	5	6	7
листвы foliage	2,3	0,5	5,2	1	54	1,5
надземная aboveground	89	14	203	37	54	-0,5
Швеция Sweden (Johansson, 2011)						
Возраст Age	37	5	66	14	27	–
Средний диаметр Average diameter	15,9	1,0	30,9	0,7	27	–
Число стволов на 1 га Number of trunks per 1 ha	1030	222	3000	727	27	–
Биомасса, т/га: Biomass, t/ha:						–
стволов trunks	68	4	141	35	27	–
ветвей branches	26	1	57	14	27	–
листвы foliage	2	1	5	1	27	–
надземная aboveground	95	4	203	50	27	–

Из данных табл. 4 следует, что при различии среднего возраста ивняков двух регионов на уровне $p < 0,01$ и при различии среднего диаметра и густоты на уровне $p < 0,001$ разница по биомассе стволов, листвы и надземной статистически незначима на уровне $p < 0,05$. По-видимому, влияние 5-кратно большей густоты ивняков Архангельской области относительно таковой в Швеции компенсируется противоположным влиянием почти 2-кратно меньшего среднего диаметра (см. табл. 4).

Заключение

Таким образом, по экспериментальным данным надземной биомассы ивняков Архангельской области, полученным на 54 пробных площадях,

и данным о биомассе корней (Смирнов, 1971) составлена таблица возрастной динамики таксационных показателей и фракционного состава биомассы в диапазоне возрастов от 15 до 40 лет. Построенные модели таксационных показателей и фракций биомассы, связанные между собой по рекурсивному принципу, объясняют от 23 до 99% изменчивости соответствующих зависимых переменных при значимости всех регрессионных коэффициентов на уровне вероятности $p < 0,001$. Установлено отсутствие статистически значимых различий средних показателей биомассы на 1 га в условиях Архангельской области и Швеции. Предложенные модели и таблицы могут быть полезны при оценке углероддепонирующей способности ивняков Архангельской области.

Список источников

- Биомасса деревьев ивы и ее аллометрические модели в условиях Архангельской области / А. А. Парамонов, В. А. Усольцев, С. В. Третьяков, С. В. Коптев, А. А. Карaban, И. В. Цветков, А. В. Давыдов, И. С. Цепордей // Леса России и хозяйство в них. 2022. № 4. С. 10–19.
- Горобец А. И. Биологическая продуктивность и хозяйственное значение некоторых видов ив ЦЧР : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Горобец Александр Иванович. Воронеж : ВЛТИ, 1992. 18 с.

- Жижин С. М., Магасумова А. Г., Оплетев А. С.* Заращение древесной растительностью сельскохозяйственных угодий в южной подзоне тайги Республики Удмуртия // Вестник Бурятской сельскохозяйственной академии. 2021. № 2 (63). С. 84–91.
- Керн Э. Э.* Основы лесоводства. Москва : Новая деревня, 1924. 307 с.
- Логинова Л. А.* Продуктивность ивовых ценозов в Центральном Черноземье и перспективы создания энергетических плантаций : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Логинова Людмила Александровна. Воронеж : ВГЛТА, 2007. 19 с.
- Маленко Э.* Статистические методы эконометрии. Москва : Статистика, 1976. Вып. 2. 325 с.
- Смирнов В. В.* Органическая масса в некоторых лесных фитоценозах европейской части СССР. Москва : Наука, 1971. 362 с.
- Усольцев В. А.* Динамика биологической продуктивности сосняков Казахского мелкосопочника // Лесная таксация и лесоустройство : межвузовский сборник научных трудов. Красноярск : СибТИ, 1987. С. 97–104.
- Усольцев В. А.* Принципы и методика составления таблиц биопродуктивности древостоев // Лесоведение. 1988. № 2. С. 24–33.
- Cole D. W., Rapp M.* Elemental cycling in forest ecosystems // Reichle D. E. (ed.). Dynamic properties of forest ecosystems. International Biological Programme 23. Cambridge University Press, Cambridge, 1980. P. 341–409.
- Hytönen J., Saarsalmi A.* Biomass production of coppiced grey alder and the effect of fertilization // Silva Fenn. 2015. Vol. 49 (1). Article id1260.
- Johansson T.* Biomass of sallow (*Salix caprea* L.). Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Energy and Technology. Report 031. Uppsala, 2011. 32 p.
- Lennon J. M., Aber J. D., Melillo J. M.* Primary production and nitrogen allocation of field grown sugar maples in relation to nitrogen availability // Biogeochemistry. 1985. Vol. 1 (2). P. 135–154.
- Silva G. M.* Influência da Mudança do Uso da Terra no Estoque de Biomassa Acima do Solo em Florestas Secundárias durante os Anos de 2000 e 2014 No Estado do Pará, Brasil. Dissertação. Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2020. 65 p.
- Zimka J. R., Stachurski A.* Vegetation as a modifier of carbon and nitrogen transfer to soil in various types of forest ecosystems // Ekologia Polska. 1976. Vol. 24. P. 493–514.

References

- Biomass of willow trees and its allometric models on the conditions of the Arkhangelsk region / *A. A. Paramonov, V. A. Usoltsev, S. V. Tretyakov, S. V. Koptev, A. A. Karaban, I. V. Tsvetkov, A. V. Davydov, I. S. Tsepordey* // Forests of Russia and the economy in them. 2022. № 4. P. 10–19.
- Cole D. W., Rapp M.* Elemental cycling in forest ecosystems // Reichle D. E. (ed.). Dynamic properties of forest ecosystems. International Biological Programme 23. Cambridge University Press, Cambridge, 1980. P. 341–409.
- Gorobets A. I.* Biological productivity and economic significance of some *Salix* species of Central Chernozem region : Abstract. diss. ... candidate of agricultural Sciences. Voronezh : VLTI, 1992. 18 p.
- Hytönen J., Saarsalmi A.* Biomass production of coppiced grey alder and the effect of fertilization // Silva Fenn. 2015. Vol. 49 (1). Article id1260.
- Johansson T.* Biomass of sallow (*Salix caprea* L.). Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Energy and Technology. Report 031. Uppsala, 2011. 32 p.
- Kern E. E.* Fundamentals of forestry. Moscow : Novaya Derevnya, 1924. 307 p.
- Lennon J. M., Aber J. D., Melillo J. M.* Primary production and nitrogen allocation of field grown sugar maples in relation to nitrogen availability // Biogeochemistry. 1985. Vol. 1 (2). P. 135–154.

- Loginova L. A.* Productivity of willow cenoses in the Central Chernozem region and prospects for the establishment of energy plantations : Abstract. dis. ... Candidate of Agricultural Sciences. Voronezh : VGLTA, 2007. 19 p.
- Malinvaud E.* Statistical methods of econometrics. Issue 2. Moscow : Statistika, 1976. 325 p.
- Silva G. M.* Influência da Mudança do Uso da Terra no Estoque de Biomassa Acima do Solo em Florestas Secundárias durante os Anos de 2000 e 2014 No Estado do Pará, Brasil. Dissertação. Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2020. 65 p.
- Smirnov V. V.* Organic mass in some forest phytocenoses of the European part of the USSR. Moscow : Nauka, 1971. 362 p.
- Usoltsev V. A.* Dynamics of biological productivity of pine forests on Kazakh Small Hills // Forest taxation and forest management: Inter-university collection of scientific works. Krasnoyarsk : SibTI, 1987. P. 97–104.
- Usoltsev V. A.* Principles and methods of compiling stand bioproductivity tables // Soviet Forest Sciences (Lesovedenie). 1988. № 2. P. 23–32.
- Zhizhin S. M., Magasumova A. G., Opletaev A. S.* Overgrowth of woody vegetation of agricultural lands in the southern taiga subzone of the Republic of Udmurtia // Bulletin of the Buryat Agricultural Academy. 2021. No. 2 (63). P. 84–91.
- Zimka J. R., Stachurski A.* Vegetation as a modifier of carbon and nitrogen transfer to soil in various types of forest ecosystems // Ekologia Polska. 1976. Vol. 24. P. 493–514.

Информация об авторах

- А. А. Парамонов – кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник,*
a.paramonov@sevniilh-arh.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0961-221X>
- В. А. Усольцев – доктор сельскохозяйственных наук, профессор,*
Usoltsev50@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4587-8952>
- С. В. Третьяков – доктор сельскохозяйственных наук, профессор,*
s.v.tretyakov@narfu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5982-3114>
- С. В. Коптев – доктор сельскохозяйственных наук, профессор,*
s.koptev@narfu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5402-1953>
- А. А. Карабан – лаборант-исследователь, аспирант,*
karaban@sevniilh-arh.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2934-0303>
- И. В. Цветков – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, старший научный сотрудник,*
i.tsvetkov@narfu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1559-32540>
- А. В. Давыдов – лаборант-исследователь, магистрант,*
davydov.a@edu.narfu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4328-7040>
- И. С. Цепордей – кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник,*
ivan.tsepordey@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-4747-5017>

Information about the authors

- A. A. Paramonov – Candidate of Agricultural Sciences, Researcher*
a.paramonov@sevniilh-arh.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0961-221X>
- V. A. Usoltsev – Doctor of Agricultural Sciences, Professor,*
Usoltsev50@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4587-8952>
- S. V. Tretyakov – Doctor of Agricultural Sciences, Professor,*
s.v.tretyakov@narfu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5982-3114>
- S. V. Koptev – Doctor of Agricultural Sciences, Professor,*
s.koptev@narfu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5402-1953>

A. A. Karaban – laboratory researcher, post-graduate student,
karaban@sevniilh-arh.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2934-0303>

I. V. Tsvetkov – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, senior researcher,
i.tsvetkov@narfu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1559-32540>

A. V. Davydov – laboratory researcher, Master's student,
davydov.a@edu.narfu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4328-7040>

I. S. Tsepordey – Candidate of Agricultural Sciences, Researcher,
ivan.tsepordey@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-4747-5017>

Статья поступила в редакцию 10.01.2023; принята к публикации 24.01.2023.

The article was submitted 10.01.2023; accepted for publication 24.01.2023.
