

Научная статья

УДК 630*52:630*174.754

DOI: 10.37482/0536-1036-2024-2-65-75

Возрастная динамика биомассы ольхи серой в древостоях Архангельской области

А.А. Карабан^{1,2,✉}, лаборант-исследователь, аспирант; *ResearcherID*: [HWP-3629-2023](https://orcid.org/0000-0002-2934-0303),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2934-0303>

В.А. Усольцев^{3,4}, д-р с.-х. наук, проф.; *ResearcherID*: [M-8253-2018](https://orcid.org/0000-0003-4587-8952),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4587-8952>

С.В. Третьяков^{1,2}, гл. науч. сотр., д-р с.-х. наук, проф.; *ResearcherID*: [AAE-3861-2021](https://orcid.org/0000-0001-5982-3114),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5982-3114>

С.В. Коптев^{1,2}, гл. науч. сотр., д-р с.-х. наук, доц.; *ResearcherID*: [ABD-5497-2021](https://orcid.org/0000-0002-5402-1953),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5402-1953>

*А.А. Парамонов*¹, науч. сотр., канд. с.-х. наук; *ResearcherID*: [ABH-7242-2020](https://orcid.org/0000-0002-0961-221X),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0961-221X>

И.В. Цветков^{1,2}, ст. науч. сотр., канд. с.-х. наук, доц.; *ResearcherID*: [AAU-6441-2021](https://orcid.org/0000-0002-1559-3254),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1559-3254>

¹Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, ул. Никитова, д. 13, г. Архангельск, Россия, 163062; karaban@sevniilh-arh.ru[✉], s.v.tretyakov@narfu.ru, s.koptev@narfu.ru, a.paramonov@sevniilh-arh.ru, i.tsvetkov@narfu.ru

²Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; karaban@sevniilh-arh.ru[✉], s.v.tretyakov@narfu.ru, s.koptev@narfu.ru, i.tsvetkov@narfu.ru

³Уральский государственный лесотехнический университет, Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия, 620100; Usoltsev50@mail.ru

⁴Ботанический сад УрО РАН, ул. 8 Марта, д. 202 а, г. Екатеринбург, Россия, 620144; Usoltsev50@mail.ru

Поступила в редакцию 14.05.23 / Одобрена после рецензирования 16.08.23 / Принята к печати 19.08.23

Аннотация. Оценка продуктивности лесов в лесном хозяйстве и лесной экологии имеет давнюю традицию, но за последние десятилетия произошла смена парадигм: целевая функция лесоводства, заключающаяся в выращивании древесины, сместилась в сторону биосферно-стабилизирующей функции, оценки биомассы и углерододепонирующей способности лесов. Уравнения и таблицы для оценки биомассы на уровне древостоя отличаются тем преимуществом, что могут быть применены для характеристики как биомассы отдельных древостоев и их совокупности, так и – при совмещении с данными государственного учета лесного фонда – ситуации в лесах всей страны. Трудоемкость работ по оценке биомассы деревьев и древостоев побудила исследователей использовать существующие таблицы хода роста при составлении таблиц биологической продуктивности древостоев по рекурсивному методу. Для условий северной и средней тайги Архангельской области отсутствуют таблицы хода роста по биомассе ольхи серой. Цель работы – исследование хода роста по биомассе ольхи серой в древостоях Архангельской области. Заложена серия пробных площадей для оценки надземной биомассы деревьев вида. По фактическим данным 50 модельных деревьев с 30 пробных площадей разработаны аллометрические модели зависимости фракций биомассы от объема ствола. Полученные модели совмещены с таблицами хода роста ольхи серой

© Карабан А.А., Усольцев В.А., Третьяков С.В., Коптев С.В., Парамонов А.А., Цветков И.В., 2024

 Статья опубликована в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии CC BY 4.0

по классам бонитета, и построена таблица биологической продуктивности вида для условий Архангельской области. Результаты сопоставлены с данными о биологической продуктивности ольхи серой в Белоруссии, Литве и Латвии. Показано, что биомасса спелых древостоев ольхи серой I–II классов бонитета в Архангельской области меньше на 3–9 %, чем в Белоруссии и Литве, для древостоев III–IV классов эта разница возрастает до 29–48 %. Подобные различия биомассы сравниваемых регионов можно объяснить неодинаковыми зональными условиями произрастания.

Ключевые слова: ольха серая, таблица хода роста древостоев, таблица биологической продуктивности, биомасса деревьев, биомасса древостоев, фракция биомассы, аллометрическая модель, Архангельская область

Благодарности: Публикация подготовлена по результатам НИР, выполненной в рамках госзадания СевНИИЛХ на проведение прикладных научных исследований в сфере деятельности Федерального агентства лесного хозяйства. Регистрационный номер темы – 123022800113-9.

Для цитирования: Карабан А.А., Усольцев В.А., Третьяков С.В., Коптев С.В., Парамонов А.А., Цветков И.В. Возрастная динамика биомассы ольхи серой в древостоях Архангельской области // Изв. вузов. Лесн. журн. 2024. № 2. С. 65–75. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-2-65-75>

Original article

Age Dynamics of Gray Alder Biomass in the Stands of the Arkhangelsk Region

Aleksey A. Karaban^{1,2}✉, Laboratory Research Assistant, Postgraduate Student;

ResearcherID: [HWP-3629-2023](https://orcid.org/0000-0002-2934-0303), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2934-0303>

Vladimir A. Usol'tsev^{3,4}, Doctor of Agriculture, Prof.; ResearcherID: [M-8253-2018](https://orcid.org/0000-0003-4587-8952),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4587-8952>

Sergey V. Tret'yakov^{1,2}, Chief Research Scientist, Doctor of Agriculture, Prof.;

ResearcherID: [AAE-3861-2021](https://orcid.org/0000-0001-5982-3114), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5982-3114>

Sergey V. Koptev^{1,2}, Chief Research Scientist, Doctor of Agriculture, Assoc. Prof.;

ResearcherID: [ABD-5497-2021](https://orcid.org/0000-0002-5402-1953), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5402-1953>

*Andrey A. Paramonov*¹, Research Scientist, Candidate of Agriculture;

ResearcherID: [ABH-7242-2020](https://orcid.org/0000-0002-0961-221X), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0961-221X>

Il'ya V. Tsvetkov^{1,2}, Senior Research Scientist, Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.;

ResearcherID: [AAV-6441-2021](https://orcid.org/0000-0002-1559-3254), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1559-3254>

¹Northern Research Institute of Forestry, ul. Nikitova, 13, Arkhangelsk, 163062, Russian Federation; karaban@sevniilh-arh.ru✉, s.v.tretyakov@narfu.ru, s.koptev@narfu.ru, a.paramonov@sevniilh-arh.ru, i.tsvetkov@narfu.ru

²Northern (Arctic) Federal University Named after M.V. Lomonosov, Nabereznaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; karaban@sevniilh-arh.ru✉, s.v.tretyakov@narfu.ru, s.koptev@narfu.ru, i.tsvetkov@narfu.ru

³Ural State Forest Engineering University, Sibirskiy Trakt, 37, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation; Usoltsev50@mail.ru

⁴Botanical Garden of the Ural Branch of the RAS, ul. 8 Marta, 202a, Yekaterinburg, 620144, Russian Federation; Usoltsev50@mail.ru

Received on May 14, 2023 / Approved after reviewing on August 16, 2023 / Accepted on August 19, 2023



This is an open access article distributed under the CC BY 4.0 license

Abstract. The assessment of forest productivity in forestry and forest ecology has a long tradition, but in recent decades there has been a paradigm shift: the target function of forestry, consisting in wood cultivation, has shifted towards the biosphere-stabilizing function and the assessment of biomass and carbon sequestration capacity of forests. Equations and tables for assessing biomass at the stand level have an advantage as they can be used to characterize both the biomass of individual stands and their totality, as well as (when combined with the state forest inventory data) the situations in the forests throughout the country. The complexity of the work on assessing biomass of trees and stands has prompted researchers to use the existing tables of growth progress when compiling the tables of biological productivity of the stands using the recursive method. For the conditions of the northern and middle taiga of the Arkhangelsk Region, there are no tables of growth progress for gray alder biomass. The aim of this research is to study the growth progress of gray alder biomass in the stands of the Arkhangelsk Region. A series of sample plots has been laid to assess the above-ground biomass of the trees of this species. Based on the actual data from 50 model trees from 30 sample plots, the allometric models of the dependence of biomass fractions on the stem volume have been developed. The obtained models have been combined with the tables of growth progress for gray alder by quality class and the table of biological productivity of the species for the conditions of the Arkhangelsk Region has been drawn up. The results have been compared with the data on the biological productivity of gray alder in Belarus, Lithuania and Latvia. It has been shown that the biomass of the mature stands of gray alder of the 1st and 2nd quality classes in the Arkhangelsk Region is 3–9 % less than in Belarus and Lithuania. For the stands of the third and fourth classes, this difference increases to 29–48 %. Such differences in the biomasses of the compared regions can be explained by different zonal site conditions.

Keywords: gray alder, table of growth progress of the stands, table of biological productivity, tree biomass, stand biomass, biomass fraction, allometric model, the Arkhangelsk Region

Acknowledgements: The publication was prepared based on the results of the research effort carried out within the framework of the state assignment of the Northern Research Institute of Forestry for conducting applied scientific research in the field of activity of the Federal Forestry Agency. The topic ID no. 123022800113-9.

For citation: Karaban A.A., Usol'tsev V.A., Tret'yakov S.V., Koptev S.V., Paramonov A.A., Tsvetkov I.V. Age Dynamics of Gray Alder Biomass in the Stands of the Arkhangelsk Region. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2024, no. 2, pp. 65–75. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-2 65-75>

Введение

Оценка продуктивности лесов в лесном хозяйстве и лесной экологии проводится давно, но за последние десятилетия произошло смещение целевой функции лесоводства – выращивания древесины – в сторону биосферно-стабилизирующей функции, оценки биомассы и углерододепонирующей способности лесов [15]. Уравнения и таблицы для характеристики биомассы на уровне древостоя учитывают его таксационную структуру. Они могут быть применены для отдельных древостоев и их совокупности, а также, при совмещении с данными государственного учета лесного фонда, стать вкладом в общую оценку состояния лесов страны [9–11]. Однако прямая оценка биомассы в полевых условиях очень сложна и трудозатратна по сравнению с

определением запаса стволовой древесины [17]. Поэтому на начальном этапе составления моделей и таблиц биологической продуктивности древостоев подбирали возрастные ряды пробных площадей по типам леса и для определения фракционного состава биомассы на каждой из них по срубленным модельным деревьям и данным перечета всех деревьев рассчитывали запасы биомассы на 1 га. Это, по сути, были возрастные наборы статических состояний для показателей биопроductивности древостоев, не отражающие фактическую возрастную динамику биомассы и не учитывающие комплекс экологических и ценологических условий роста древостоев. Таблицы биологической продуктивности получали путем расчета регрессионных моделей биомассы в зависимости от возраста и других таксационных показателей древостоев [2, 12–14, 19–21].

Начиная с XIX в. составлено множество таблиц хода роста (ТХР) древостоев по запасу стволовой древесины. Трудоемкость работ по оценке биомассы деревьев и древостоев побудила исследователей к составлению таблиц биологической продуктивности древостоев с использованием существующих ТХР древостоев по запасу стволовой древесины [7, 16]. Корректное совмещение фактических данных о биомассе деревьев и древостоев с традиционными ТХР обеспечивается, когда исходные данные о биомассе получены в широком диапазоне не только возраста древостоев, но и для каждого возраста – в широком диапазоне классов бонитета, а в пределах каждого класса бонитета – в широком диапазоне густоты, что соответствует принципам планирования пассивного эксперимента [8].

На начальном этапе составления таблиц биологической продуктивности породы, для которой есть ТХР, но отсутствуют какие-либо данные о фактической биомассе деревьев и древостоев, совмещение получаемых данных о биомассе (обычно в небольшом количестве) с ТХР выполняется по упрощенной методике. Она заключается в том, что вначале рассчитываются аллометрические модели биомассы дерева в зависимости от его таксационных показателей, затем модели табулируются по средним значениям названных показателей ТХР, и результаты умножаются на соответствующее число стволов из ТХР [5, 18].

Ольха серая одна из лесобразующих пород Архангельской области и произрастает на площади 46,6 тыс. га (Лесной план Архангельской области Российской Федерации на 2019–2028 гг.: утв. указом Губернатора Архангельской области от 14 дек. 2018 г. № 116-у). По данным лесоустройства, вид встречается почти во всех лесничествах Архангельской области, но больше всего в Архангельском, Онежском, Приозерном, Шенкурском, Вельском, Нянском и Каргопольском. Традиционные места произрастания ольхи серой – поймы рек, ручьев и озер. Она интенсивно заселяет и бывшие сельскохозяйственные земли, полосы отвода автомобильных дорог. Ранее были опубликованы таблицы биологической продуктивности ольхи серой, совмещенные с традиционными ТХР, для условий Белоруссии, Латвии и Литвы, а также для модальных древостоев крупнотравно-таволгового типа леса на Среднем Урале [7]. Для других регионов России в ареале произрастания ольхи серой, в т. ч. для Архангельской области, ТХР по биомассе вида отсутствуют.

Цель работы – исследование хода роста по биомассе ольхи серой в древостоях Архангельской области и составление таблиц биологической продуктивности сероольшаников для условий данного региона.

Задачи:

заложить серию пробных площадей для оценки надземной биомассы деревьев ольхи серой и построить аллометрические модели зависимости ее биомассы от таксационных характеристик;

совместить полученные модели с ТХР ольхи серой по классам бонитета и построить таблицу биологической продуктивности сероольшаников для условий Архангельской области;

выполнить сравнительный анализ полученных результатов с данными о продуктивности ольхи серой в других регионах.

Объекты и методы исследования

Полевой материал получали в течение 2020 и 2021 гг., с июня по сентябрь, на территории лесничеств Приморского, Красноборского и Каргопольского районов Архангельской области. Заложены 175 пробных площадей и обработаны 193 модельных дерева. Пробные площади закладывали в соответствии с ОСТ 56-69-83 «Площади пробные лесоустroительные». Характеристика пробных площадей была приведена ранее [6]. При обработке модельных деревьев использовали принятые в лесной таксации методы [1]. По диаметрам в коре на относительных высотах для каждого модельного дерева по 10 секциям вычисляли объем ствола по сложной формуле среднего сечения. По объемам стволов в коре устанавливали старое видовое число для характеристики формы ствола. На относительных высотах измеряли прирост диаметра по пятилетиям. На основе собранных данных разработаны ТХР ольхи серой. Диапазон высот при соответствующем диаметре был взят по материалам пробных площадей и обмеренным модельным деревьям. Полученные ТХР ольхи серой были опубликованы ранее [6].

Для определения фракционного состава надземной биомассы из 175 пробных площадей использовано 30, на которых взято и обработано по методике [8] 1–4 модельных дерева. Каждый из 10 обмеренных отрезков ствола взвешен. В целях установления массы древесины и коры с торцов отрезков взяты диски толщиной 1–3 см. Ветви взвешивали с облиственными побегами и без них. По разности результатов 2 взвешиваний определяли массу облиственных побегов. Массу листвы из средней части кроны фиксировали путем взвешивания примерно 1 кг навески побегов до и после отделения листвы. По разности результатов 2 взвешиваний устанавливали массу листвы и полученное соотношение массы листвы и скелета ветвей использовали при расчете массы листвы и скелета ветвей всего дерева. Затем взвешивали с точностью 0,1 г навески листвы и скелета ветвей массой по 30–50 г. Образцы древесины и коры, а также навески листвы и скелета ветвей сушили в термостате при температуре 105 °С до постоянной массы и повторно взвешивали. В итоге для каждого модельного дерева получены объемы ствола в коре и без коры, а также массы древесины и коры ствола, листвы и ветвей (скелета ветвей). Полная информация о биомассе модельных деревьев опубликована ранее [3], а статистическая характеристика отдельных показателей дана в табл. 1.

Таблица 1

**Статистическая характеристика исходных данных 50 модельных деревьев
ольхи серой с определением надземной биомассы**
**Statistical characteristics of the initial data of 50 model gray alder trees
with the assessment of the above-ground biomass**

Статистический показатель	A	D	H	V	P_c	$P_{к.с}$	P_b	P_l	P_n
Среднее значение	28	7,7	11,3	0,029	12,0	0,9	1,8	0,3	14,2
Минимальное значение	20	3,6	8,8	0,004	1,4	0,1	0,2	0,05	2,0
Максимальное значение	50	16,9	15,1	0,148	44,6	4,8	9,0	1,3	51,5
Стандартное отклонение	7,0	2,6	1,8	0,028	11,6	0,9	1,9	0,3	13,4
Коэффициент вариации, %	25,0	34,5	15,5	95,3	97,0	98,9	102,3	85,1	95,0

Примечание: A , D , H – соответственно возраст (лет), диаметр ствола на высоте груди (см), высота дерева (м); V – объем ствола в коре, м³; P_c , $P_{к.с}$, P_b , P_l , P_n – соответственно биомасса ствола в коре, коры ствола, ветвей, листьев, надземная в абсолютно сухом состоянии, кг.

Обработка экспериментального материала выполнена в программе Statgraphics-19.

Результаты исследования и их обсуждение

По исходным данным, характеристика которых дана в табл. 1, было рассчитано несколько вариантов аллометрических моделей, структура которых обсуждалась ранее [5, 18]. Однако возраст и линейные размеры дерева в аллометрических моделях для большинства фракций оказались незначимыми на уровне вероятности $p < 0,05$, и критерий Стьюдента для каждого из регрессионных коэффициентов a_1 и a_3 варьировал в диапазоне $t = 0,1-1,8$, что меньше стандартного значения $t_{0,5} = 1,96$.

В результате рассчитаны модели общего вида (табл. 2):

$$P_i = a_0 + a_1 V,$$

где P_i – биомасса i -й фракции.

Таблица 2

**Характеристика моделей зависимости биомассы фракций ольхи серой
от объема ствола**
**Characteristics of the models of dependence of the biomass of gray alder fractions
on the stem volume**

Фракция	Модель	R ²
Древесина ствола	$P_c = 639,55V + 0,9655$	0,875
Кора ствола	$P_{к.с} = 91,98V + 0,4109$	0,573
Ветви с корой	$P_b = 43,16V + 0,1946$	0,686
Листья	$P_l = 58,77V + 0,2505$	0,828

Примечание: R² – коэффициент детерминации.

Далее путем табулирования моделей (табл. 2) по средним объемам ствола из ТХР ольхи серой [6] с последующим умножением результата на соответствующую густоту по ТХР сформирована таблица биологической продуктивности древостоев (табл. 3).

Таблица 3

Биологическая продуктивность ольхи серой в условиях Архангельской области по классам бонитета
Biological productivity of gray alder in the conditions of the Arkhangelsk Region by quality classes

Возраст, лет	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Густота, тыс. шт./га	Запас стволовой древесины в коре, м ³ /га	Надземная фитомасса, т/га				
					ствол		ветви	листья	всего
					древесина	кора			
<i>Ia класс</i>									
5	3,7	2,0	14 907	13	4,27	0,66	0,24	0,14	5,32
10	7,9	5,2	4907	46	15,12	2,34	0,86	0,49	18,81
15	11,4	9,1	2424	92	30,24	4,67	1,72	0,98	37,62
20	14,5	12,9	1590	148	48,64	7,52	2,77	1,58	60,52
25	17,1	16,3	1215	207	68,03	10,52	3,87	2,22	84,64
30	19,4	19,1	1009	263	86,44	13,36	4,92	2,81	107,54
35	21,4	21,4	871	311	102,22	15,80	5,82	3,33	127,17
40	23,1	23,3	762	345	113,39	17,53	6,46	3,69	141,07
45	24,7	24,8	660	359	117,99	18,24	6,72	3,84	146,79
50	26,0	26,0	552	348	114,38	17,68	6,51	3,72	142,30
<i>I класс</i>									
5	2,6	1,2	33 611	9	2,96	0,46	0,17	0,10	3,68
10	5,4	3,0	11 999	29	9,53	1,47	0,54	0,31	11,86
15	8,1	5,4	5459	57	18,73	2,90	1,07	0,61	23,31
20	10,7	8,2	2963	87	28,59	4,42	1,63	0,93	35,57
25	13,0	11,0	2258	141	46,34	7,16	2,64	1,51	57,65
30	15,2	13,8	1793	200	65,73	10,16	3,74	2,14	81,78
35	17,1	16,5	1447	252	82,82	12,80	4,72	2,70	103,04
40	18,8	18,9	1158	289	94,98	14,68	5,41	3,09	118,17
45	20,3	21,1	890	296	97,29	15,04	5,54	3,17	121,03
50	21,7	23,1	694	292	95,97	14,84	5,47	3,12	119,40
<i>II класс</i>									
5	2,5	1,0	44 585	8	2,63	0,41	0,15	0,09	3,27
10	4,9	2,3	17 608	23	7,56	1,17	0,43	0,25	9,41
15	7,0	4,7	6399	45	14,79	2,29	0,84	0,48	18,40
20	9,0	7,1	3688	72	23,66	3,66	1,35	0,77	29,44
25	10,9	9,5	2605	103	33,85	5,23	1,93	1,10	42,12
30	12,5	11,6	2056	137	45,03	6,96	2,56	1,47	56,02
35	14,1	13,5	1732	172	56,53	8,74	3,22	1,84	70,33

Окончание табл. 3

Возраст, лет	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Густота, тыс. шт./га	Запас стволовой древесины в коре, м ³ /га	Надземная фитомасса, т/га				
					ствол		ветви	листья	всего
					древесина	кора			
<i>II класс</i>									
40	15,5	15,2	1517	206	67,71	10,47	3,86	2,20	84,23
45	16,7	16,6	1358	236	77,57	11,99	4,42	2,53	96,50
50	17,8	17,9	1229	262	86,11	13,31	4,90	2,80	107,13
55	18,9	19,0	1114	281	92,36	14,28	5,26	3,01	114,90
<i>III класс</i>									
5	2,3	0,9	40 637	6	1,97	0,31	0,11	0,06	2,45
10	3,9	1,7	28 651	18	5,92	0,91	0,34	0,19	7,36
15	5,6	3,2	11 818	34	11,18	1,73	0,64	0,36	13,90
20	7,3	5,4	5907	57	18,73	2,90	1,07	0,61	23,31
25	8,9	7,3	3890	78	25,64	3,96	1,46	0,83	31,89
30	10,4	9,2	2755	100	32,87	5,08	1,87	1,07	40,89
35	11,9	11,0	2038	118	38,78	6,00	2,21	1,26	48,25
40	13,2	12,8	1560	133	43,71	6,76	2,49	1,42	54,38
45	14,4	14,6	1256	149	48,97	7,57	2,79	1,59	60,93
50	15,6	15,9	1083	163	53,57	8,28	3,05	1,74	66,65
55	16,7	17,2	930	173	56,86	8,79	3,24	1,85	70,74
60	17,7	18,1	785	170	55,87	8,64	3,18	1,82	69,51
<i>IV класс</i>									
5	2,0	0,8	48 336	5	1,64	0,25	0,09	0,05	2,05
10	3,6	1,1	51 262	13	4,27	0,66	0,24	0,14	5,32
15	5,1	2,4	16 154	24	7,89	1,22	0,45	0,26	9,81
20	6,5	4,0	7700	38	12,49	1,93	0,71	0,41	15,54
25	7,9	5,8	4510	53	17,42	2,69	0,99	0,57	21,67
30	9,1	7,5	3160	69	22,68	3,51	1,29	0,74	28,21
35	10,2	9,4	2270	85	27,94	4,32	1,59	0,91	34,76
40	11,3	11,2	1748	100	32,87	5,08	1,87	1,07	40,89
45	12,2	13,0	1380	114	37,47	5,79	2,13	1,22	46,61
50	13,1	14,3	1181	125	41,08	6,35	2,34	1,34	51,11
55	14,0	15,6	1000	132	43,38	6,71	2,47	1,41	53,97
60	14,7	17,0	823	135	44,37	6,86	2,53	1,44	55,20
65	15,5	18,0	693	133	43,71	6,76	2,49	1,42	54,38
70	16,1	19,1	555	124	40,75	6,30	2,32	1,33	50,70

Полученную таблицу биологической продуктивности ольхи серой Архангельской области мы сравнили по показателю надземной биомассы с таблицами биологической продуктивности нормальных древостоев ольхи серой Белоруссии, Литвы и Латвии [7] возрастом 50 лет по соответствующим классам бонитета. Различие наших данных с таблицей для Белоруссии составило в дре-

востоях I, II и III классов бонитета соответственно –7, –3 и –29 %, с таблицей для Литвы в древостоях Ia, I, II и III классов бонитета – соответственно –9, –6, +7 и –48 % и с таблицей для Латвии в древостоях I, II и III классов бонитета – соответственно –31, –25 и –41 %. Таким образом, биомасса спелых древостоев ольхи серой Архангельской области I–II классов бонитета меньше, чем древостоев тех же классов бонитета Белоруссии и Литвы, на 3–9 %, в древостоях III–IV классов бонитета различие возрастает до 29–48 %. Это соответствует известной закономерности, что «в лучших условиях произрастания спелость наступает раньше, чем в худших, а долговечность в бореальной зоне снижается по направлению с севера на юг» [4, с. 4]. В целом подобные различия биомассы в сравниваемых регионах можно объяснить неодинаковыми зональными условиями произрастания.

Заключение

Впервые в условиях северной тайги Архангельской области получены данные о структуре надземной биомассы ольхи серой и рассчитаны аллометрические модели зависимости каждой фракции от объема ствола. Путем совмещения моделей с ранее составленной таблицей хода роста древостоев составлена таблица биологической продуктивности древостоев ольхи серой по классам бонитета. Сравнение нашей таблицы с показателями нормальных древостоев ольхи серой Белоруссии, Литвы и Латвии выявило, что биомасса спелых древостоев ольхи серой I–II классов бонитета в Архангельской области меньше, чем в Белоруссии и Литве, для древостоев III–IV классов бонитета это различие еще больше. Такие результаты можно объяснить несходными зональными условиями произрастания древостоев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Гусев И.И. Моделирование экосистем. Архангельск: АГТУ, 2002. 112 с.
Gusev I.I. *Ecosystem Modeling*. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2002. 112 p. (In Russ.).
2. Иванов А.В., Усольцев В.А., Цепордей И.С., Касаткин А.С. Сравнительный анализ биомассы кедровых и дубовых древостоев Приморья в контексте биоразнообразия // Хвойные бореал. зоны. 2023. Т. 41, № 1. С. 38–45.
Ivanov A.V., Usoltsev V.A., Tsepordey I.S., Kasatkin A.S. Comparative Analysis of *Pinus koraiensis* S. ex Z. and *Quercus mongolica* F. ex L. Stand Biomass on Primorye in the Context of Biodiversity. *Khvoynye boreal'noi zony = Conifers of the Boreal Area*, 2023, vol. 41, no. 1, pp. 38–45. <https://doi.org/10.53374/1993-0135-2023-1-38-45>
3. Карaban А.А., Усольцев В.А., Третьяков С.В., Коптев С.В., Парамонов А.А., Цветков И.В., Давыдов А.В., Цепордей И.С. Биомасса деревьев ольхи серой и ее аллометрические модели в условиях Архангельской области // Леса России и хоз-во в них. 2023. № 2. С. 42–50.
Karaban A.A., Usoltsev V.A., Tretyakov S.V., Koptev S.V., Paramonov A.A., Tsvetkov I.V., Davydov A.V., Tsepordey I.S. Biomass of Gray Alder Trees and its Allometric Models in the Conditions of the Arkhangelsk Region. *Lesa Rossii i khozyajstvo v nikh = Forests of Russia and Economy in Them*, 2023, no. 2, pp. 42–50. (In Russ.). <http://doi.org/10.51318/FRET.2023.36.20.005>
4. Лебедев А.В., Кузьмичев В.В. Таксационные показатели сосновых древостоев по данным долговременных наблюдений // Сиб. лесн. журн. 2023. № 2. С. 3–16.

Lebedev A.V., Kuzmichev V.V. Forest Survey Parameters of Pine Tree Stands according to Long-Term Observation Data. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* = Siberian Journal of Forest Science, 2023, no. 2, pp. 3–16. (In Russ.).

5. Парамонов А.А., Усольцев В.А., Третьяков С.В., Коптев С.В., Карабан А.А., Цветков И.В., Давыдов А.В., Цепордей И.С. Таблица хода роста по фитомассе ивняков Архангельской области // Сиб. лесн. журн. 2023. № 2. С. 33–39.

Paramonov A.A., Usoltsev V.A., Tretyakov S.V., Koptev S.V., Karaban A.A., Tsvetkov I.V., Davydov A.V., Tsepordey I.S. Yield Table of Willow Stands' Phytomass of Arkhangelsk Oblast. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* = Siberian Journal of Forest Science, 2023, no. 2, pp. 33–39. (In Russ.).

6. Третьяков С.В., Коптев С.В., Карабан А.А., Парамонов А.А., Давыдов А.В. Возрастная динамика нормальных древостоев ольхи серой в таежной зоне северо-востока европейской части России // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 6. С. 70–80.

Tretyakov S.V., Koptev S.V., Karaban A.A., Paramonov A.A., Davydov A.V. Age Dynamics of Normal Gray Alder Stands in the Taiga Zone of the North-East of the European Part of Russia. *Lesnoy zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2023, no. 6, pp. 70–80. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-6-70-80>

7. Усольцев В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: нормативы и элементы географии. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 762 с.

Usoltsev V.A. *Forest Biomass of Northern Eurasia: Mensuration Standards and Geography*. Yekaterinburg, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, 2002. 762 p. (In Russ.).

8. Усольцев В.А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных и ее приложения. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 636 с.

Usoltsev V.A. *Biological Productivity of Northern Eurasia's Forests: Methods, Datasets, Applications*. Yekaterinburg, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, 2007. 636 p. (In Russ.).

9. Уткин А.И., Замолодчиков Д.Г., Пряжников А.А. Методы определения депонирования углерода фитомассы и нетто-продуктивности лесов (на примере Республики Беларусь) // Лесоведение. 2003. № 1. С. 48–57.

Utkin A.I., Zamolodchikov D.G., Pryazhnikov A.A. Methods for Determination of Carbon Accumulation in Phytomass and Net Productivity of Forests (by the Example of Stands in Republic of Belarus). *Lesovedenie* = Russian Journal of Forest Science, 2003, no. 1, pp. 48–57. (In Russ.).

10. Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г. Углеродный бюджет лесов России // Сиб. лесн. журн. 2014. № 1. С. 69–92.

Shvidenko A.Z., Schepaschenko D.G. Carbon Budget of Russian Forests. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* = Siberian Journal of Forest Science, 2014, no. 1, pp. 69–92. (In Russ.).

11. Щепашенко Д.Г., Швиденко А.З., Пергер К., Дресел К., Фриц Ш., Лакида П.И., Мухортова Л.В., Усольцев В.А., Бобкова К.С., Осипов А.Ф., Мартыненко О.В., Карминов В.Н., Онтиков П.В., Щепашенко М.В., Кракнер Ф. Изучение фитомассы лесов: текущее состояние и перспективы // Сиб. лесн. журн. 2017. № 4. С. 3–11.

Schepashchenko D.G., Shvidenko A.Z., Perger K., Dresel C., Fritz S., Lakyda P.I., Mukhortova L.V., Usoltsev V.A., Bobkova K.S., Osipov A.F., Martynenko O.V., Karminov V.N., Ontikov P.V., Shchepashchenko M.V., Krahner F. Forest Biomass Observation: Current State and Prospective. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* = Siberian Journal of Forest Science, 2017, no. 4, pp. 3–11. (In Russ.).

12. Albrektson A. Relations between Tree Biomass Fractions and Conventional Silvicultural Measurements. *Ecological Bulletins*, 1980, no. 32, pp. 315–327.

13. González-García M., Hevia A., Majada J., Calvo de Anta R., Barrio-Anta M. Dynamic Growth and Yield Model Including Environmental Factors for *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden Short Rotation Woody Crops in Northwest Spain. *New Forests*, 2015, vol. 46, pp. 387–407. <http://doi.org/10.1007/s11056-015-9467-7>

14. Nicoulaud-Gouin V., Gonze M.-A., Hurtevent P., Calmon P. Bayesian Inference of Biomass Growth Characteristics for Sugi (*C. japonica*) and Hinoki (*C. obtusa*) Forests in Self-Thinned and Managed Stands. *Forest Ecosystems*, 2021, vol. 8, art. no. 75. <http://doi.org/10.1186/s40663-021-00354-4>
15. Parresol B.R. Assessing Tree and Stand Biomass: a Review with Examples and Critical Comparisons. *Forest Science*, 1999, vol. 45, iss. 4, pp. 573–593. <https://doi.org/10.1093/forestscience/45.4.573>
16. Pretzsch H. *Forest Dynamics Growth and Yield: From Measurement to Model*. Heidelberg, Springer Berlin, 2009. 664 p. <http://doi.org/10.1007/978-3-540-88307-4>
17. 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, iss. 1–3, pp. 319–329. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.07.059>
18. Usoltsev V.A., Vanclay J.K. Stand Biomass Dynamics of Pine Plantations and Natural Forests on Dry Steppe in Kazakhstan. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 1995, vol. 10, iss. 1–4, pp. 305–312. <http://doi.org/10.1080/02827589509382897>
19. Usoltsev V.A., Shobairi S.O.R., Chasovskikh V.P. Triple Harmonization of Transcontinental Allometric of *Picea* spp. and *Abies* spp. Forest Stand Biomass. *Ecology, Environment and Conservation*, 2018, vol. 24, no. 4, pp. 1966–1972.
20. Usoltsev V.A., Shobairi S.O.R., Chasovskikh V.P. Additive Allometric Model of *Quercus* spp. Stand Biomass for Eurasia. *Ecological Questions*, 2020, vol. 31, no. 2, pp. 39–46. <http://doi.org/10.12775/EQ.2020.012>
21. Usoltsev V.A., Shobairi S.O.R., Ahrari A., Zhang M., Chasovskikh V.P. Prediction of Allometric Models of Stand Biomass of *Betula* sp. in Eurasia. *Indian Journal of Ecology*, 2020, vol. 47, iss. 2, pp. 517–522.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest