

УДК 630*52:630*174.754(470.11)

ТАБЛИЦА ХОДА РОСТА ПО ФИТОМАССЕ ИВНЯКОВ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

А. А. Парамонов¹, В. А. Усольцев^{3,4}, С. В. Третьяков^{2,1}, С. В. Коптев^{2,1},
А. А. Карабан^{1,2}, И. В. Цветков^{1,2}, А. В. Давыдов^{1,2}, И. С. Цепордей⁴

¹ Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства
163062, Архангельск, ул. Никитова, 13

² Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова
163062, Архангельск, набережная Северной Двины, 17

³ Уральский государственный лесотехнический университет
620100, Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37

⁴ Ботанический сад УрО РАН
620144, Екатеринбург, ул. 8 марта, 202а

E-mail: a.paramonov@sevniilh-arh.ru, Usoltsev50@mail.ru, s.v.tretyakov@narfu.ru, s.koptev@narfu.ru,
karaban@sevniilh-arh.ru, i.tsvetkov@narfu.ru, davydov.a@edu.narfu.ru, ivan.tsepordey@yandex.ru

Поступила в редакцию 05.12.2022 г.

В России интенсивный рост площадей, естественно заращаемых такими породами, как ива (*Salix* L.), ольха (*Alnus* Mill.), сосна (*Pinus* L.) и др., повышает биоразнообразие целых регионов, но вклад этих площадей в углеродный баланс и стабилизацию климата в основном неизвестен. Особенно критична в этом плане ситуация с насаждениями ивы, которая не была включена в систему Государственного учета лесного фонда. Поскольку энергия, вырабатываемая на основе плантаций ивы, нейтральна к CO₂, использование этого возобновляемого и устойчивого ее источника потенциально может сократить глобальные выбросы CO₂ от ископаемого топлива. Из фитомассы ивы производят топливо в виде щепы, брикетов и пеллет, а в некоторых случаях – биоэтанол или древесный газ. Помимо экономических аспектов, выращивание ивы имеет ряд экологических преимуществ, таких как способность накапливать токсины с загрязненных участков, улучшать ландшафтный дизайн и служить живыми изгородями. Для планирования и ведения лесного хозяйства в насаждениях ивы в условиях северотаежной подзоны Архангельской области и оценки ее вклада в углеродный баланс необходимы данные о биологической продуктивности ивняков и нормативы для оценки их фитомассы. Цель выполненных исследований – разработать модели и таблицы для оценки структуры и динамики надземной фитомассы ивы древовидной в условиях Архангельской области. Для ее достижения реализованы следующие задачи: заложены 52 пробные площади для оценки надземной фитомассы ив; построены регрессионные модели зависимости фитомассы ивы от объемобразующих таксационных показателей деревьев; полученные модели совмещены с таблицей хода роста ивняков и построена таблица возрастной динамики фитомассы ивовых насаждений по классам бонитета для условий Архангельской области. Сравнительный анализ полученных результатов с данными о продуктивности ив в Швеции показал, что при одном и том же возрасте древостоев запасы надземной фитомассы ивы Швеции соответствуют запасам фитомассы ивняков Архангельской области на уровне, среднем между I и II классами бонитета.

Ключевые слова: плантации ивы, надземная фитомасса деревьев, регрессионная модель, ход роста.

DOI: 10.15372/SJFS20230204

ВВЕДЕНИЕ

По мере того как наша планета нагревается, биоразнообразие стремительно сокращается. Эти два глобальных явления взаимосвязаны, но детали сложных циклов обратной связи между сокращением биоразнообразия и изменением климата изучены слабо (Mahecha et al., 2022). В России интенсивный рост площадей, естественно заращиваемых такими породами, как ива (*Salix* L.), ольха (*Alnus* Mill.), сосна (*Pinus* L.) и др., повышает биоразнообразие целых регионов, но вклад этих площадей в углеродный баланс и стабилизацию климата в основном неизвестен. В этом плане особенно критична ситуация с насаждениями ивы, которая даже не была включена в систему Государственного учета лесного фонда (Жижин и др., 2021).

Род ива (*Salix*), принадлежащий семейству Salicaceae, насчитывает более 300 видов (Шабуров, Беляева, 1995; Sandak et al., 2017) и считается особенно перспективным при создании микроротационных плантаций (Горобец, Лихацкий, 2016). Ива наиболее эффективно превращает солнечную радиацию в химическую энергию и достигает годичной продукции 10 т/га в условиях Скандинавии в течение 5 лет (для сравнения, тополь (*Populus* L.) достигает такого уровня в течение 7 лет, ель (*Picea* A. Dietr.) и бук (*Fagus* L.) – соответственно в течение 25 и 80 лет) (Christersson, 1993). Поскольку энергия, вырабатываемая на основе микроротационных плантаций, нейтральна к CO₂ (Heller et al., 2003), использование этого возобновляемого и устойчивого источника энергии потенциально может сократить глобальные выбросы CO₂ от ископаемого топлива до 20 % (Dixon et al., 1994).

Фитомасса ивы по сравнению с многолетними травами имеет более высокое содержание лигнина и энергетическую ценность, меньшее содержание целлюлозы, гемицеллюлозы и зольности, а также более низкую концентрацию таких элементов, как К, Na, Cl, Si и S (Krzyzniak et al., 2014). Эти характеристики благоприятствуют использованию фитомассы ивы для пиролиза и газификации вместо биологического преобразования в биотопливо. Фитомассу ивы можно использовать для производства топлива в виде щепы, брикетов и пеллет, а в некоторых случаях – для производства биоэтанола или древесного газа. Технологическая щепа из ивы может быть ценным ресурсом для производства древесных плит, а ее кора – источником салициловой кислоты, используемой в фармацевтической, косметической и пищевой промышленности

(Фалин, 2003). Помимо экономических аспектов, выращивание ивы имеет ряд экологических преимуществ, таких как способность накапливать токсины с загрязненных участков, улучшать ландшафтный дизайн и служить живыми изгородями (Rowe et al., 2011; Sandak et al., 2017).

В России ивы произрастают повсеместно, насчитывается их более 130 видов. Из них в районе исследования встречается примерно 30 видов. В Архангельской области ива древовидная произрастает на площади 5.3 тыс. га, менее распространены кустарниковые формы ив (Скворцов, 1968; Демидова, Дуркина, 2012). Для планирования и ведения лесного хозяйства в насаждениях ивы в условиях северотаежной подзоны Архангельской области и оценки ее вклада в углеродный баланс необходимы данные о биологической продуктивности ивняков и нормативы для оценки их фитомассы. Это обусловлено также значительным увеличением площадей, занятых ивой в результате зарастания заброшенных сельскохозяйственных угодий, а также вследствие наличия больших площадей земель с избыточным увлажнением, на которых ведение сельского хозяйства считается нецелесообразным, однако на них успешно произрастают различные виды ив.

Цель исследований – разработать модели и таблицу для оценки структуры и динамики надземной фитомассы ивы древовидной в условиях Архангельской области. Для ее достижения поставлены следующие задачи:

- заложить серию пробных площадей для оценки надземной фитомассы ив;
- построить регрессионные модели зависимости фитомассы ивы от объемообразующих таксационных показателей ствола;
- совместить полученные модели с таблицей хода роста ивняков по классам бонитета и построить таблицу возрастной динамики фитомассы ивовых насаждений для условий Архангельской области;
- выполнить сравнительный анализ полученных результатов с данными о продуктивности ив в других регионах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевой материал собран с 2018 по 2021 г. с июня по сентябрь на территории Приморского, Вельского, Шенкурского, Плесецкого и Верхнетоемского районов Архангельской области (54°44'–62°42' с. ш., 20°00'–45°00' в. д.). Подбирались участки, в составе которых было не ме-

Таблица 1. Статистическая характеристика исходных данных 52 модельных деревьев ивы

Показатель	Среднее значение	Диапазон варьирования	Коэффициент изменчивости	Стандартное отклонение
Возраст дерева (A), лет	33	15–70	40.2	13.43
Диаметр на высоте груди (D), см	8.2	3.3–12.7	26.9	2.19
Высота дерева (H), м	9.9	5.0–13.2	17.5	1.74
Объем ствола в коре (V_r), м ³	0.030	0.003–0.072	57.1	0.017
Объем коры ствола (V_{bk}), м ³	0.005	0.001–0.013	59.4	0.003
Фитомасса дерева в абсолютно сухом состоянии, кг:				
ствол в коре (P_s)	12.76	1.29–34.25	60.2	7.69
кора ствола (P_{bk})	1.90	0.26–5.09	56.6	1.07
листва (P_f)	0.37	0.06–1.08	63.8	0.23
ветви (P_b)	2.52	0.18–9.26	79.3	2.00
надземная (P)	15.62	1.57–40.26	59.6	9.31

нее 3 ед. ивы древовидной, представленной ивой козьей (*Salix caprea* L.), и северной (*S. borealis* Fries), в меньшем количестве – и трёхтычинковой (*S. triandra* L.), а также несколькими гибридами этих видов. Всего заложено 52 пробные площади и на них взято по одному среднему модельному дереву. При полевых работах использовали принятые в лесной таксации методы (Анучин, 1982). Фракционный состав фитомассы модельных деревьев определяли путем взятия образцов каждой фракции с применением термовесового метода с последующим пересчетом результатов на абсолютно сухую массу модельных деревьев (Гусев, 2002; Усольцев, 2007). Полная характеристика модельных деревьев опубликована ранее (Парамонов и др., 2022), а их статистическая характеристика дана в табл. 1.

Совмещение фактических данных о фитомассе деревьев ивы с таблицей хода роста (ТХР) ивняков, опубликованной ранее (Парамонов и др., 2021), выполнено по методике, предложенной при построении таблицы возрастной динамики фитомассы корней естественных сосняков и культур (Usoltsev, Vanclay, 1995).

Как и в упомянутом исследовании, посвященном определению массы корней сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), на пробных площадях для определения фитомассы отбирались средние модельные деревья. Поскольку место среднего дерева в ряду распределения по толщине стволов и фитомассе очень изменчиво (Поздняков и др., 1969), для более корректного совмещения фитомассы дерева с таблицами хода роста (ТХР) была применена двухэтапная процедура. На первом этапе рассчитывали трехфакторную аллометрическую модель зависимости фитомассы от возраста, диаметра ствола и

высоты дерева, а на втором полученную модель табулировали по средним значениям возраста, диаметра ствола и высоты древостоя согласно ТХР и результаты умножали на соответствующее число деревьев в ТХР (Usoltsev, Vanclay, 1995).

Обработка экспериментального материала выполнена по программе многофакторного регрессионного анализа Statgraphics-19 (2022).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По фактическим данным 52 деревьев (Парамонов и др., 2022) рассчитаны уравнения вида

$$\ln P_i = a_0 + a_1 \ln A + a_2 \ln D + a_3 \ln H, \quad (1)$$

где P_i – фитомасса i -й фракции (P_s, P_{bk}, P_f, P_b – соответственно фитомасса ствола в коре, коры ствола, листвы и ветвей в абсолютно сухом состоянии, кг; A – возраст дерева, лет; D – диаметр ствола на высоте груди, см; H – высота дерева, м (табл. 1). Включение в модель (1) объема ствола в качестве четвертой независимой переменной показало отсутствие ее статистической значимости по Стьюденту ($t = 0.40–0.98 < t_{05} = 1.96$). Причина, видимо, в так называемой мультиколлинеарности, когда объем ствола является функцией тех же трех массообразующих независимых переменных (A, D, H), что и фракции фитомассы. Характеристика моделей, полученных в результате регрессионного анализа, приведена в табл. 2.

Далее путем табулирования моделей (1) по средним значениям возраста, диаметра ствола и высоты древостоя с последующим умножением результата на соответствующую густоту ТХР (Парамонов и др., 2021) получена таблица возрастной динамики фитомассы ивняков (табл. 3).

Таблица 2. Результаты расчета моделей (1)**

Зависимая переменная	a_0^*	$\ln A$	$\ln D$	$\ln H$	$adjR^{2*}$	SE*
$\ln P_s$	-3.8993	0.1194	1.6781	1.0498	0.922	0.194
$\ln P_{bk}$	-5.1265	0.1427	1.3054	1.0710	0.893	0.197
$\ln P_f$	-2.3285	-0.2696	2.8822	-1.6757	0.717	0.368
$\ln P_b$	-2.9125	-0.3898	3.3261	-0.8351	0.760	0.441

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

* Свободный член скорректирован на логарифмическое преобразование по G. L. Baskerville (1972).

** Обозначения показателей см. в табл. 1.

Таблица 3. Возрастная динамика фитомассы ивы древовидной в условиях таёжной зоны северо-востока Европейского Севера по классам бонитета

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			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>I класс бонитета</i>									
5	2.4	3.0	5.857	10.2	1.81	0.47	3.16	2.02	7.46
10	5.0	6.1	3.719	36.8	9.35	1.82	8.79	2.41	22.37
15	7.3	8.6	3.221	78.6	22.96	3.93	14.86	2.67	44.41
20	9.2	10.8	2.786	124.4	38.86	6.10	20.20	2.80	67.96
25	11.0	12.5	2.412	163.2	53.64	7.99	22.46	2.57	86.67
30	12.4	14.0	2.050	189.6	64.24	9.19	23.45	2.36	99.24
35	13.7	15.3	1.715	204.0	70.82	9.82	22.84	2.07	105.55
40	14.8	16.3	1.470	210.4	74.58	10.12	21.50	1.81	108.01
45	15.7	17.2	1.275	212.7	76.55	10.20	20.28	1.61	108.63
<i>II класс бонитета</i>									
5	2.1	2.0	10.261	7.6	1.34	0.42	1.61	1.38	4.74
10	4.0	4.0	5.093	19.4	4.83	1.13	3.56	1.42	10.95
15	5.7	6.0	4.020	41.3	11.79	2.35	6.88	1.79	22.81
20	7.3	7.9	3.453	71.1	21.94	3.92	10.74	2.07	38.67
25	8.8	9.5	3.112	104.4	34.02	5.68	14.01	2.19	55.90
30	10.1	10.9	2.817	136.5	46.14	7.31	16.63	2.23	72.31
35	11.3	12.1	2.527	163.3	56.81	8.67	18.11	2.14	85.73
40	12.5	13.1	2.245	182.9	65.38	9.70	18.28	1.95	95.30
45	13.5	14.0	1.985	195.5	71.26	10.33	18.06	1.78	101.43
50	14.5	14.7	1.769	202.7	75.39	10.75	17.11	1.57	104.83
55	15.4	15.3	1.587	206.3	78.06	10.99	16.07	1.40	106.51
<i>III класс бонитета</i>									
5	1.5	1.4	6.360	2.1	0.31	0.11	0.40	0.54	1.36
10	3.0	3.1	6.979	14.1	3.12	0.82	2.66	1.51	8.11
15	4.4	4.6	5.974	31.5	8.38	1.87	5.25	1.91	17.41
20	5.7	5.9	5.305	52.7	15.62	3.16	7.68	2.08	28.54
25	6.9	7.1	4.748	76.3	24.22	4.56	9.94	2.17	40.89
30	8.1	8.1	4.366	100.9	33.85	6.07	11.55	2.12	53.60
35	9.1	8.9	4.152	125.0	43.62	7.56	12.83	2.09	66.11
40	10.1	9.7	3.835	147.2	53.02	8.91	13.73	2.00	77.66
45	11.0	10.3	3.614	166.0	61.47	10.12	14.05	1.88	87.53

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
50	11.9	10.9	3.310	180.1	68.28	11.02	13.97	1.73	94.99
55	12.7	11.4	3.010	187.9	72.65	11.54	13.45	1.57	99.22
60	13.5	11.9	2.642	188.0	73.98	11.58	12.51	1.37	99.45
65	14.2	12.3	2.266	179.0	71.51	11.08	11.13	1.16	94.88
<i>IV класс бонитета</i>									
10	2.2	2.0	9.976	7.5	1.47	0.47	1.15	1.03	4.12
15	3.4	3.1	9.778	20.8	5.22	1.39	2.87	1.54	11.01
20	4.5	4.2	8.279	36.8	10.47	2.46	4.71	1.81	19.45
25	5.6	5.1	7.496	55.1	17.21	3.74	6.22	1.87	29.04
30	6.6	6.0	6.711	75.0	24.85	5.07	7.76	1.94	39.61
35	7.5	6.8	6.124	95.0	32.85	6.38	9.09	1.96	50.28
40	8.4	7.4	5.748	113.5	40.87	7.70	9.76	1.87	60.20
45	9.2	8.0	5.253	128.7	47.71	8.73	10.23	1.78	68.46
50	9.9	8.5	4.799	139.5	52.96	9.48	10.33	1.67	74.43
55	10.6	8.9	4.361	145.7	56.62	9.98	9.95	1.50	78.06
60	11.3	9.2	3.949	147.5	58.67	10.23	9.22	1.32	79.43
65	11.9	9.5	3.527	145.8	59.04	10.18	8.50	1.16	78.88
70	12.5	9.8	3.108	141.7	58.32	9.96	7.75	1.01	77.03
75	13.0	10.0	2.783	136.0	56.81	9.64	6.99	0.88	74.32
80	13.5	10.2	2.475	129.4	54.80	9.25	6.28	0.76	71.09
<i>V класс бонитета</i>									
10	1.0	1.0	20.707	3.2	0.38	0.17	0.46	1.08	2.10
15	1.9	1.6	22.186	10.2	1.97	0.71	1.17	1.38	5.23
20	3.0	2.3	17.085	19.0	4.85	1.50	1.84	1.30	9.49
25	4.1	3.1	12.832	29.7	8.82	2.39	2.64	1.29	15.13
30	5.1	4.1	9.321	42.1	13.48	3.25	3.77	1.38	21.88
35	6.1	5.0	7.487	55.5	18.86	4.19	4.75	1.40	29.19
40	6.9	5.8	6.406	68.7	24.20	5.06	5.70	1.44	36.39
45	7.6	6.5	5.611	80.2	29.02	5.80	6.43	1.44	42.69
50	8.2	7.1	4.957	88.7	32.80	6.33	6.86	1.41	47.39
55	8.7	7.6	4.388	93.5	35.17	6.61	6.98	1.34	50.11
60	9.1	8.0	3.893	94.7	36.14	6.66	6.84	1.25	50.89
65	9.4	8.3	3.479	93.1	35.96	6.54	6.52	1.15	50.16
70	9.7	8.4	3.197	89.5	35.17	6.38	5.90	1.02	48.46
75	9.9	8.6	2.850	84.8	33.63	6.06	5.44	0.92	46.05
80	10.1	8.6	2.639	79.6	32.04	5.78	4.83	0.81	43.46

Ива занимает большие площади лесных земель во всем мире и представляет интерес сравнительный анализ наших данных и результатов оценки фитомассы древостоев ивы в других странах и регионах. В Швеции на заброшенных сельскохозяйственных угодьях в конце 1980 г. было создано 15 тыс. га плантаций ивы козьей. Каждые 3–5 лет деревья вырубали для переработки, а через 20–25 лет площади плантаций вновь засаживали. Для определения фракционного состава фитомассы было заложено 27 пробных площадей.

Средний возраст составил 37 ± 14 (от 5 до 66) лет, средний диаметр на высоте груди –

15.9 ± 7.1 (от 1.0 до 30.9) см, средняя густота – 1030 ± 727 (от 222 до 3000) деревьев/га, среднее значение надземной фитомассы – 95 ± 50 (от 4 до 203) т/га, при этом на долю ствола, ветвей и листвы приходилось соответственно 72, 28 и 2 % (Johansson, 2011). Согласно данным табл. 3, в возрасте 37 лет надземная фитомасса в I классе бонитета составила 107 т/га, во II – 91 т/га, а доли ствола, ветвей и листвы в надземной фитомассе соответственно 76, 22 и 2 %, что близко к шведским данным. В целом данные по фитомассе ивы в Швеции соответствуют нашим данным на уровне, среднем между I и II классами бонитета.

Основной массив мировых данных о фитомассе ивы получен в микроротационных плантациях и приходится на возраст от 2 до 3 лет, что находится за пределами возрастного диапазона нашей таблицы, поэтому правомерность их сопоставления не очевидна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По материалам 52 пробных площадей выполнена оценка надземной фитомассы ив в условиях Архангельской области, построены регрессионные модели зависимости фитомассы ивы от объёмобразующих таксационных показателей деревьев, полученные модели совмещены с таблицей хода роста ивняков и построена таблица возрастной динамики фитомассы ивовых насаждений. Сравнительный анализ полученных результатов с данными о продуктивности ив в Швеции показал, что при одном и том же возрасте древостоев запасы надземной фитомассы ивы козьей в Швеции соответствуют запасам фитомассы ивняков Архангельской области на уровне, среднем между I и II классами бонитета.

Публикация подготовлена по результатам научно-исследовательских работ, 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 учёные Поморья» по гранту № 01Ф-02-08/558, а также в рамках Государственного задания Ботанического сада УрО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Анучин Н. П. Лесная таксация. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 552 с.

Горбеев А. И., Лихацкий Ю. П. Влияние почвенно-гидрологических условий на продуктивность микроротационной плантации ивы корзиночной // Тр. СПбНИИЛХ. 2016. № 4. С. 98–108.

Гусев И. И. Моделирование экосистем. Архангельск: АГТУ, 2002. 112 с.

Демидова Н. А., Дуркина Т. М. Результаты испытания местных и интродуцированных видов рода *Salix* на Европейском Севере России // Науч. ведом. БелГУ. Сер.: Естеств. науки. 2012. Т. 140. № 21. С. 23–29.

Жижин С. М., Магасумова А. Г., Оплетав А. С. Зарастание древесной растительностью сельскохозяйственных угодий в южной подзоне тайги Республики Удмуртия // Вестн. Бурят. гос. с.-х. акад. 2021. Т. 63. № 2. С. 84–91.

Парамонов А. А., Третьяков С. В., Контев С. В. Таблицы хода роста нормальных ивовых древостоев таёжной зоны Северо-Востока Европейской части России // Тр. СПбНИИЛХ. 2021. № 2. С. 17–27.

Парамонов А. А., Усольцев В. А., Третьяков С. В., Контев С. В., Карабан А. А., Цветков И. В., Давыдов А. В., Цепордей И. С. Биомасса деревьев ивы и ее аллометрические модели в условиях Архангельской области // Леса России и хоз-во в них. 2022. № 4 (83). С. 10–19.

Поздняков Л. К., Протопопов В. В., Горбатенко В. М. Биологическая продуктивность лесов Средней Сибири и Якутии. Красноярск: Краснояр. кн. изд-во, 1969. 120 с.

Скворцов А. К. Ивы СССР: Систематический и географический обзор. М.: Наука, 1968. 262 с.

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

Фалин А. Ю. Содержание и доброкачественность дубильных веществ у трех видов рода *Salix* L. в Карелии // Тр. лесоинж. ф-та ПетрГУ. 2003. Т. 4. С. 141–143.

Шабуров В. И., Беляева И. В. Итоги работ по селекции ивовых на Урале // Леса Урала и хозяйство в них. Екатеринбург: УГЛТА, 1995. Вып. 18. С. 119–127.

Baskerville G. L. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass // Can. J. For. Res. 1972. V. 2. Iss. 1. P. 49–53.

Christersson L., Sennerby-Forsse L., Zsuffa L. The role and significance of woody biomass plantations in Swedish agriculture // For. Chron. 1993. V. 69. Iss. 6. P. 687–693.

Dixon R. K., Brown S., Houghton R. A., Solomon A. M., Trexler M. C., Wisniewski J. Carbon pools and flux of global forest ecosystems // Science. 1994. V. 263. N. 5144. P. 185–190.

Heller M. C., Keoleian G. A., Volk T. A. Life cycle assessment of a willow biomass cropping system // Biomass Bioenergy. 2003. V. 25. Iss. 2. P. 147–165.

Johansson T. Biomass of sallow (*Salix caprea* L.). Rep. 031. Uppsala: Swed. Univ. Agr. Sci., 2011. 32 p.

Krzyżniak M., Stolarski M., Waliszewska B., Szczukowski S., Tworowski J., Zaluski D., Snieg M. Willow biomass as feedstock for an integrated multi-product biorefinery // Industr. Crops & Products. 2014. V. 58. P. 230–237.

Mahecha M. D., Bastos A., Bohn F. J., Eisenhauer N., Feilhauer H., Hartmann H., Hickler T., Kalesse-Los H., Migliavacca M., Otto F. E. L., Peng J., Quaas J., Tegen I., Weigelt A., Wendisch M., Wirth C. Biodiversity loss and climate extremes — study the feedbacks // Nature. 2022. V. 612. P. 30–32.

Rowe R. L., Hanley M. E., Goulson D., Clarke D. J., Doncaster C. P., Taylor G. Potential benefits of commercial willow Short Rotation Coppice (SRC) for farm-scale plant and invertebrate communities in the agro-environment // Biomass Bioenergy. 2011. V. 35. Iss. 1. P. 325–336.

Sandak A., Sandak J., Waliszewska B., Zborowska M., Mleczek M. Selection of optimal conversion path for willow biomass assisted by near infrared spectroscopy // iForest. 2017. V. 10. Iss. 2. P. 506–514.

Statgraphics-19, 2022. <http://www.statgraphics.com/>

Usoltsev V. A., Vanclay J. K. Stand biomass dynamics of pine plantations and natural forests on dry steppe in Kazakhstan // Scand. J. For. Res. 1995. V. 10. P. 305–312.

YIELD TABLE OF WILLOW STANDS' PHYTOMASS OF ARKHANGELSK OBLAST

A. A. Paramonov¹, V. A. Usoltsev^{3,4}, S. V. Tretyakov^{1,2}, S. V. Koptev^{1,2},
A. A. Karaban^{1,2}, I. V. Tsvetkov^{1,2}, A. V. Davydov^{1,2}, I. S. Tsepordey⁴

¹ Northern Forestry Research Institute
Nikitova Str., 13, Arkhangelsk, 163062 Russian Federation

² M. V. Lomonosov Northern (Arctic) Federal University
Nabereznaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163062 Russian Federation

³ Ural State Forest Engineering University
Sibirskiy Trakt Str., 37, Yekaterinburg, 620100 Russian Federation

⁴ Botanical Garden, Russian Academy of Sciences, Ural Branch
8 Marta Str., 202a, Yekaterinburg, 620144 Russian Federation

E-mail: a.paramonov@sevniilh-arh.ru, Usoltsev50@mail.ru, s.v.tretyakov@narfu.ru, s.koptev@narfu.ru, karaban@sevniilh-arh.ru, i.tsvetkov@narfu.ru, davydov.a@edu.narfu.ru, ivan.tsepordey@yandex.ru

In Russia, the intensive growth of areas naturally overgrown with such species as willow (*Salix* L.), alder (*Alnus* Mill.), pine (*Pinus* L.), etc., increases the biodiversity of entire regions, but the contribution of these areas to the carbon balance and climate stabilization is mostly unknown. Especially critical in this regard is the situation with willow plantations, which was not included in the system of State accounting of the forest fund. Since the energy generated from willow plantations is CO₂ neutral, the use of this renewable and sustainable energy source has the potential to reduce global CO₂ emissions from fossil fuels. Willow phytomass can be used for the production of fuel in the form of chips, briquettes and pellets, and in some cases – for the production of bioethanol or wood gas. In addition to economic aspects, willow cultivation has a number of environmental advantages, such as the ability to accumulate toxins from polluted areas, improve landscaping and serve as hedges. To plan and manage forestry in willow plantations in the conditions of the North taiga subzone of Arkhangelsk Oblast and assess its contribution to the carbon balance, data on the biological productivity of willow trees and standards for assessing their phytomass are needed. The purpose of the study is to develop models and tables for assessing the structure and dynamics of the aboveground phytomass of the willow stands in the conditions of Arkhangelsk Oblast. To achieve it, the following tasks have been implemented: 52 sample plots have been established to assess aboveground phytomass of willows; regression models of the dependence of willow phytomass on the volume-forming inventory indicators of trees are constructed; the models obtained are combined with the yield table of willow stands and the table of age dynamics of willow phytomass is constructed according to site indices for the conditions of Arkhangelsk Oblast. A comparative analysis of the results obtained with data on the productivity of willows in Sweden showed that at the same age of stands, the stocks of aboveground phytomass of Swedish willow correspond to the stocks of phytomass of willows of Arkhangelsk Oblast at an average level between the I and II site productivity classes.

Keywords: willow plantations, aboveground phytomass of trees, regression model, growth progress tables.

How to cite: 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 // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2023. N. 2. P. 33–39 (in Russian with English abstract and references).