

УДК 630*5/6

DOI: 10.37482/0536-1036-2021-3-49-58

МОДЕЛЬ ОБЪЕМА СТВОЛА ИВЫ: МЕТА-АНАЛИЗ**В.А. Усольцев**^{1,2}, *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>**А.А. Парамонов**^{3,4}, *мл. науч. сотр., аспирант*; *ResearcherID*: [ABH-7242-2020](https://orcid.org/0000-0002-0961-221X),*ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-0961-221X>**С.В. Третьяков**^{3,4}, *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**^{3,4}, *д-р с.-х. наук, проф.*; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-5402-1953>**И.С. Цепордей**², *канд. с.-х. наук, науч. сотр.*; *ResearcherID*: [AAC-5377-2020](https://orcid.org/0000-0002-4747-5017),*ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-4747-5017>¹Уральский государственный лесотехнический университет, Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия, 620100; e-mail: Usoltsev50@mail.ru²Ботанический сад Уральского отделения РАН, ул. 8 Марта, д. 202 а, г. Екатеринбург, Россия, 620144; e-mail: Usoltsev50@mail.ru, ivan.tsepordey@yandex.ru³Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, ул. Никитова, д. 13, г. Архангельск, Россия, 163062; e-mail: vagner93@inbox.ru, s.v.tretyakov@narfu.ru, s.koptev@narfu.ru⁴Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: vagner93@inbox.ru, s.v.tretyakov@narfu.ru, s.koptev@narfu.ru

Аннотация. Прогнозы последствий глобального потепления стимулируют исследования углероддепонирующей способности растительного покрова. Ствол представляет собой основную часть биомассы дерева, и от точности характеристики объема ствола зависит возможность корректного мониторинга и предварительной оценки будущего состояния лесных ресурсов. В российском лесоустройстве ива не входила в число основных лесообразующих видов, и поэтому необходимости в разработке таксационных нормативов для нее не было. Однако в связи с возросшей актуальностью оценки углероддепонирующей функции лесов России и необходимостью учета вклада в углеродный баланс всех видов растительности возникла потребность в создании подобных нормативов. Это может быть обеспечено разработкой всеобщей модели (или таблицы), учитывающей морфологию ив в пределах всего рода *Salix* L. и построенной по опубликованным в разных регионах и странах данным. Объект исследования – данные об объемах стволов ивы, размещенные в свободном доступе в России, Казахстане, Болгарии и Норвегии в виде таблиц или регрессионных моделей. Насколько каждая локальная модель применима в других регионах неизвестно. Для снятия этой неопределенности нами использован мета-анализ как статистическая процедура, объединяющая результаты нескольких независимых исследований с целью нахождения общей закономерности. Получена универсальная модель объема стволов рода *Salix*, которая характеризуется высоким коэффициентом детерминации и может быть применена для оценки объема ствола любого вида данного рода с минимальными отклонениями от расчетных значений. Результаты направлены на повышение точности учета листовых насаждений при проведении лесоустроительных и мониторинговых работ, таксации древостоев на постоянных и временных пробных площадях. Применение унифицированных нормативов при использовании, воспроизводстве, охране и защите древостоев ивы древесной при всем многообразии ее видов позволит решить ряд практических вопросов.

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

Для цитирования: Усольцев В.А., Парамонов А.А., Третьяков С.В., Коптев С.В., Цепордей И.С. Модель объема ствола ивы: мета-анализ // Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 3. С. 49–58. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-3-49-58

Ключевые слова: род *Salix* L., объем ствола, всеобщая модель, мета-анализ, регрессионный анализ.

Введение

Основная часть биомассы дерева – это стволовая древесина, от точности оценки ее объема во многом зависит возможность корректного мониторинга и прогноза лесных ресурсов. Многочисленные модели и таблицы объема стволов для того или иного древесного вида разработаны на локальных эмпирических данных, их экстраполяция на регионы, расположенные в других лесорастительных условиях, может давать смещения оценок, следовательно, возникает вопрос о правомерности подобных заимствований и разработке обобщенных моделей и таблиц [10, 18].

Ситуация осложняется тем, что понятие объема ствола неоднозначное: в одних случаях в него включается весь ствол от пня до верхушки, в других учитывается лишь коммерческий объем, в который входит ствол, за исключением вершинной части, или добавляется объем ветвей либо пня. Чтобы оценки лесных ресурсов учеными разных стран были сопоставимыми, предпринимаются попытки гармонизации (согласования) объемных таблиц с помощью специальных корректировочных коэффициентов [16].

В российском лесоустройстве ива никогда не входила в число основных лесообразующих видов, ее ресурсы в данных Государственного учета лесного фонда отдельно не прописывались [4]. Необходимости разработки таксационных нормативов для этого растения не существовало, они отсутствовали в региональных и общероссийских (общесоюзных) справочниках. Однако в некоторых европейских странах и малолесном Казахстане учет ивовых (ветловых) насаждений осуществлялся, т. е. были и соответствующие таксационные нормативы.

Ива (ветла, ракита, лоза, лозина, верба, шелюга, краснотал, тальник) – *Salix* L. – самый многочисленный род древесных растений умеренных широт, насчитывает более 370 видов, произрастающих главным образом в прохладных областях Северного полушария, где ареал ее распространения заходит за полярный круг. В Северной Америке существует более 65 видов этого растения, из которых только 25 достигают размеров дерева (обычно высотой до 15 м), остальные представляют собой кустарники, однако и среди древовидных ив есть экземпляры высотой до 40 м и диаметром ствола более 0,5 м. В России наиболее часто встречаются 6 видов ивы: белая, или ветла (*S. alba* L.); трехтычинковая, или белотал (*S. triandra* L.); пятитычинковая, или чернотал (*S. pentandra* L.); козья, или бредина, ракита (*S. caprea* L.); пепельная (*S. cinerea* L.); остролистная, или шелюга, краснотал, верба (*S. acutifolia* Willd.).

В последнее время в связи с возросшей актуальностью оценки углероддепонирующей функции лесов Российской Федерации и необходимостью учета вклада в углеродный баланс всех видов растительности были разработаны объемные таблицы ивы древовидной для Северо-Запада нашей страны [8]. Однако применение этих региональных таблиц для всего ареала произрастания

ивы на территории России, как уже отмечалось, может дать существенные смещения в оценках. Род *Salix* отличается чрезвычайным видовым разнообразием, поэтому построение региональных таблиц для учета запаса ивовых насаждений потребует многих лет работы. Выходом может стать всеобщая модель (или таблица), учитывающая морфологию ив в пределах всего рода и построенная по опубликованным в разных регионах и странах данным.

Обычно информация об объеме стволовой древесины публикуется в виде регрессионных уравнений или таблиц, включающих в качестве входов таксационный диаметр и высоту дерева. Обобщение локальных ранее опубликованных уравнений и выведенных из них псевдо-данных (псевдо-наблюдений) относят к категории мета-анализа как метода синтеза данных как метода «анализа анализов» [15, 18]. Модели, выведенные на основании опубликованных ранее уравнений и являющиеся их синтезом, называют мета-моделями. Такой подход позволяет обойтись без получения оригинальных данных.

Основателем этого метода считается Джин Гласс [15]. Он был первым статистиком, который формализовал процедуру мета-анализа и ввел само это понятие. Несмотря на критику мета-анализа, такие его характеристики, как «упражнение в мега-глупости» [12], «гигантский шаг назад» [17] и «статистическая алхимия XXI века» [13], количество публикаций с применением этого метода непрерывно растет [19, 20], а область его использования охватывает диапазон от «астрономии до зоологии» [23]. Когда при анализе десятков научных работ обнаруживаются противоречия и взаимоисключающие выводы, то необходимость мета-анализа для снятия неопределенностей становится очевидной [15].

Цель исследования состоит в разработке унифицированной регрессионной модели объема ствола ивы (род *Salix*) посредством мета-анализа ранее опубликованных и «регенерированных» псевдо-данных, связанных с таксационным диаметром и высотой дерева.

Объекты и методы исследования

В мета-анализ включены данные шести 2-входных таблиц объема стволов и одной регрессионной 2-факторной модели (табл. 1).

Не все опубликованные материалы по объему ствола ивы могут быть включены в анализ. В частности, регрессионные модели, разработанные в Румынии [14], имеют в качестве независимых переменных таксационные диаметр и высоту дерева, но зависимая переменная представлена суммарным объемом древесины ствола и ветвей. Не могут быть вовлечены в анализ также 2-факторные регрессионные модели объема ствола ивы козьей, разработанные в Словакии [22]: они предназначены для таксации молодых (до 12 лет) деревьев и поэтому вместо диаметра на высоте груди используют в качестве независимой переменной диаметр у основания ствола.

Опубликованы данные о запасах биомассы нескольких видов ив на единице площади в Центральном Черноземье России [1, 5], регрессионные модели биомассы ивы козьей по фракционному составу [22] и нормативы для оценки ее биомассы (листвы, ветвей и коры), поедаемой оленем благородным, составленные для Национального парка Словакии в Татрах [21], но во всех перечисленных публикациях данные об объеме ствола отсутствуют.

Таблица 1

Характеристика опубликованных исходных данных объема ствола ивы, включенных в мета-анализ*

№	Страна или регион	Источник	Форма представления данных	Диапазоны	
				диаметра на высоте груди, см	высоты дерева, м
1	Северо-Запад РФ	[8]	Таблица	1–22	2–18
2	Казахстан, пойма р. Урал (1)	[9]	Таблица	8–40	6–20
3	Казахстан, пойма р. Урал (2)	[2]	Дополненная таблица	8–48	6–23
4	Казахстан, пойма р. Иртыш (1)	[6]	Таблица	8–80	12–27
5	Казахстан, пойма р. Иртыш (2)	[3]	Дополненная таблица	8–80	12–27
6	Болгария	[7]	Таблица	4–50	13–27
7	Норвегия	[11]	Уравнение	5 и выше	–

*Видовая принадлежность ив в большинстве публикаций не была указана.

Табличные данные об объеме ствола, распределенные по ступеням таксационного диаметра, и о высоте дерева из первых 6 источников (табл. 1) обработаны нами с использованием стандартной программы регрессионного анализа согласно принятой структуре модели:

$$\ln V = a + b \ln D + c \ln H + d (\ln D \cdot \ln H),$$

где V – объем ствола в коре, м³; D – диаметр ствола на высоте груди, см; H – высота дерева, м; a, b, c, d – регрессионные коэффициенты.

По мере уменьшения высоты дерева место замера диаметра ствола (обычно на высоте груди) смещается к апексу, простая 2-факторная аллометрия нарушается, тогда становится очевидной корреляция остатков в остаточной дисперсии. В результате этого в средней части диапазона диаметров расчетные значения зависимой переменной завышаются, а в верхней и нижней частях диапазона, напротив, занижаются. При введении в модель дополнительной переменной ($\ln D \cdot \ln H$) остаточная дисперсия становится равномерной.

Результаты исследования и их обсуждение

Зависимость объема ствола ивы козьей в Норвегии от таксационных диаметра и высоты дерева представлена не таблицей, а регрессионным уравнением, которое включает 4 независимые переменные в виде разных сочетаний D и H [11]. Поскольку подобная структура кардинально отличается от принятой нами, уравнение норвежской ивы было протабулировано по задаваемым ступеням D и H , и полученные мета-данные в количестве 50 определений вновь подвергнуты регрессионному анализу, но уже согласно приведенной выше модели. Сводка региональных мета-моделей представлена в табл. 2.

В результате объединения восстановленных мета-данных, по которым построены региональные модели (поз. 1–7 в табл. 2), и последующего регрессионного анализа объединенной совокупности в количестве 600 определений создана результирующая всеобщая мета-модель объема ствола для рода *Salix* (табл. 2).

Таблица 2

Характеристика мета-моделей для объема ствола ивы

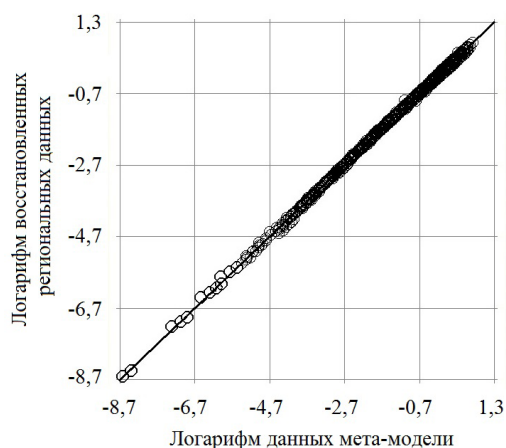
№*	Регрессионные коэффициенты мета-моделей				$adjR^{2**}$
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	
1	-8,8893	1,8289	0,4601	0,0795	1,000
2	-9,0354	1,8174	0,5353	0,0710	0,999
3	-9,4245	1,9027	0,7258	0,0243	0,999
4	-9,8517	2,2148	0,8427	-0,0711	1,000
5	-9,7936	2,2030	1,8169	-0,0653	1,000
6	-9,3624	2,0049	0,6806	-0,0028	1,000
7	-10,7245	2,2834	1,2827	-0,1430	0,999
Всеобщая модель	-9,0235	1,8557	0,5738	0,0435	0,999

*Номера позиций те же, что в табл. 1; ** $adjR^2$ – коэффициент детерминации, скорректированный на число переменных мета-моделей.

Полученная мета-модель объясняет 99,9 % варьирования региональных псевдо-данных (см. рисунок). Высокие значения коэффициента детерминации обусловлены тем, что некоторая доля варьирования зависимой переменной была удалена еще при первичном регрессионном анализе, поэтому мета-анализ и рассматривает не исходные данные, а псевдо-данные объема ствола [18]. Однако вследствие малой изменчивости полнодревесности ствола 2-факторные модели его объема, построенные по первичным данным диаметра и высоты ивы древовидной, характеризуются практически столь же высокой степенью детерминированности – 99,8 % [8].

Соотношение восстановленных региональных псевдо-данных объема стволов и данных всеобщей мета-модели

Ratio of restored regional pseudo-data of stem volume and data of the generic meta-model



Выполненный мета-анализ объема стволов лесообразующих видов Европы включал в себя зависимость объема ствола лишь от одной независимой переменной – таксационного диаметра. Полученные мета-модели объясняли варьирование региональных псевдо-данных для ели европейской, сосны обыкновенной и березы белой соответственно на 99,8; 99,6 и 98,2 % [18]. Несколько меньшие показатели детерминированности уравнений для европейских видов по сравнению с полученным нами показателем (99,9 %) объясняются однофакторной структурой модели, не учитывающей варьирование объема ствола в

связи с высотой дерева при одном и том же таксационном диаметре. Это подтвердил мета-анализ объема стволов куннингамии ланцетовидной (пихты китайской) в южных провинциях Китая по двум названным выше независимым переменным [24], выявивший более высокие показатели детерминации (98,7–99,0 %) по сравнению с моделью, учитывающей лишь таксационный диаметр (94,4–95,8 %).

Для практического использования полученная мета-модель протабулирована по задаваемым значениям таксационных диаметра и высоты ствола ивы (табл. 3).

Таблица 3

Таблица для определения объема ствола в коре ивы (род *Salix*) по высоте и диаметру ствола на высоте груди

D, см	H, м						
	4	8	12	16	20	24	28
2	0,00104	0,00161	0,00208	–	–	–	–
4	0,00375	0,00600	0,00791	0,00962	–	–	–
6	0,00795	0,0130	0,0173	0,0211	–	–	–
8	0,0136	0,0224	0,0300	0,0370	0,0434	–	–
10	0,0205	0,0342	0,0461	0,0570	0,0672	–	–
12	0,0288	0,0483	0,0655	0,0812	0,0960	0,110	–
14	0,0383	0,0648	0,0881	0,110	0,130	0,149	0,168
16	0,0491	0,0835	0,114	0,142	0,169	0,194	0,218
18	0,0610	0,104	0,143	0,179	0,212	0,244	0,275
20	0,0742	0,128	0,175	0,219	0,261	0,301	0,339
22	0,0886	0,153	0,210	0,264	0,314	0,363	0,410
24	0,104	0,180	0,249	0,312	0,373	0,431	0,486
26	0,121	0,210	0,290	0,365	0,436	0,504	0,570
28	0,139	0,242	0,334	0,421	0,504	0,583	0,660
30	0,157	0,275	0,382	0,482	0,577	0,668	0,756
32	0,178	0,311	0,432	0,546	0,654	0,758	0,859
34	–	0,349	0,486	0,614	0,737	0,854	0,969
36	–	0,389	0,542	0,686	0,824	0,956	1,085
38	–	0,431	0,602	0,762	0,916	1,063	1,207
40	–	–	0,664	0,842	1,012	1,176	1,336
42	–	–	–	0,926	1,114	1,295	1,471
44	–	–	–	1,013	1,220	1,419	1,613
46	–	–	–	1,105	1,331	1,549	1,761
48	–	–	–	1,200	1,446	1,684	1,916
50	–	–	–	–	1,566	1,825	2,077

Хотя полученная мета-модель объясняет 99,9 % варьирования региональных псевдо-данных, имеются систематические смещения последних отно-

сительно значений объема ствола ивы, полученных по мета-модели (табл. 4). Однако величина смещений в среднем составляет лишь 2 %, и ими можно пренебречь в случаях применения мета-модели при таксации ивовых насаждений в регионах России.

Таблица 4

Среднее смещение региональных псевдо-данных объема ствола ивы относительно значений, полученных табулированием мета-модели

Показатель	Северо-Запад РФ	Урал 1	Иртыш 1	Урал 2	Иртыш 2	Болгария	Норвегия
Среднее смещение	2,93	0,72	2,04	0,79	2,04	2,45	-2,16
Ошибка среднего смещения	±0,27	±0,52	±0,29	±0,41	±0,51	±0,25	±0,29

Заключение

Таким образом, на основе техники мета-анализа составлена таблица для определения объемов стволов ивы (род *Salix*) по их высоте и диаметру на высоте груди. Таблица характеризуется незначительными отклонениями объемов (около 2 %) от региональных значений и может быть использована для таксации ивовых насаждений на территории России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Горобец А.И. Продуктивность естественных ценозов и перспективы плантационного выращивания ивы в Центральной лесостепи: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Воронеж, 2019. 38 с.

Gorobets A.I. Productivity of Natural Coenoses and Prospects of Willow Plantation Growing in the Central Forest-Steppe: Dr. Biol. Sci. Diss. Abs. Voronezh, 2019. 38 p.

2. Гурский А.А., Токмурзин Т.Х. Сортиментная таблица для ветловых древостоев поймы р. Урал. Вариант 3 // Сортиментные и товарные таблицы для лесов Казахстана / отв. ред. А.А. Макаренко. Ч. II. Алма-Ата: Кайнар, 1987. С. 151–153.

Gurskiy A.A., Tokmurzin T.Kh. Specimen Table for Willow Stands in the Ural River Floodplain. Option 3. *Specimen and Commodity Tables for Forests of Kazakhstan*. Ed. by A.A. Makarenko. Part II. Alma-Ata, Kainar Publ., 1987, pp. 151–153.

3. Колтунова А.И., Макаренко А.А. Сортиментная таблица для ветловых древостоев поймы р. Иртыш. Вариант 3 / отв. ред. А.А. Макаренко. Сортиментные и товарные таблицы для лесов Казахстана. Ч. II. Алма-Ата: Кайнар, 1987. С. 156–159.

Koltunova A.I., Makarenko A.A. Specimen Table for Willow Stands in the Irtysh River Floodplain. Option 3. Ed. by A.A. Makarenko. *Specimen and Commodity Tables for Forests of Kazakhstan*. Part II. Alma-Ata, Kainar Publ., 1987, pp. 156–159.

4. Лесной фонд России (по данным государственного учета лесного фонда по состоянию на 1 января 2003 г.): справ. М.: ВНИИЛМ. 2003. 640 с.

Forest Fund of Russia (on the Base of the State Accounting of the Forest Fund as of January 1, 2003): Handbook. Moscow, VNIILM Publ., 2003. 640 p.

5. Логина Л.А. Продуктивность ивовых ценозов в Центральном Черноземье и перспективы создания энергетических плантаций: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Воронеж, 2007. 19 с.

Loginova L.A. *Productivity of Willow Coenoses in the Central Chernozem Region and Prospects for Creating Energy Plantations*: Dr. Agric. Sci. Diss. Abs. Voronezh, 2007. 19 p.

6. Макаренко А.А., Колтунова А.И. Объемы и выход деловой древесины по категориям крупности для ветловых древостоев поймы р. Иртыш // Справочник по таксации лесов Казахстана / отв. ред. А.А. Макаренко. Алма-Ата: Кайнар, 1980. С. 251–252.

Makarenko A.A., Koltunova A.I. Volumes and Yield of Commercial Wood by Size Categories for Willow Stands of the Irtysh River Floodplain. *Handbook of Forest Valuation in Kazakhstan*. Ed. by A.A. Makarenko. Alma-Ata. Kainar Publ., 1980, pp. 251–252.

7. Неделков С., Цанов Ц. Разредна обемна таблица за високостъблени насаждения от върба (Разрядная объемная таблица для высокоствольных насаждений ивы) // Наръчник на таксатора (Справочник таксатора) / ред. Я. Порязов, Т. Тончев, И. Добричов. София: Булварк. 2004. С. 402–403.

Nedyalkov S., Tsanov Ts. Volume Table for Full-Grown Willow Stands. *Forest Mensuration Handbook*. Ed. by Ya. Poryazov, T. Tonchev, I. Dobrichov. Sofia, Bulwark Publ., 2004, pp. 402–403.

8. Парамонов А.А., Третьяков С.В., Коптев С.В. Таблицы объемов стволов по диаметру и высоте ивы древовидной в северотаежном районе // Сиб. лесн. журн. 2020. № 3. С. 73–79.

Paramonov A.A., Tret'yakov S.V., Koptev S.V. Tables of Stem Volume. *Sibirskij Lesnoj Zurnal* [Siberian Journal of Forest Science], 2020, no. 3, pp. 73–79. DOI: <https://doi.org/10.15372/SJFS20200307>

9. Токмурзин Т.Х. Объемы и выход деловой древесины по категориям крупности для ветловых древостоев поймы р. Урал // Справочник по таксации лесов Казахстана / отв. ред. А.А. Макаренко. Алма-Ата: Кайнар, 1980. С. 248–250.

Tokmurzin T.Kh. Volumes and Yield of Commercial Wood by Size Categories for Willow Stands in the Ural River Floodplain. *Handbook of Forest Valuation in Kazakhstan*. Ed. by A.A. Makarenko. Alma-Ata, Kainar Publ., 1980, pp. 248–250.

10. Усольцев В.А., Колчин К.В., Азаренок В.А. О возможностях применения всеобщих и региональных аллометрических моделей при оценке фитомассы деревьев ели // Аграр. вестн. Урала. 2017. № 06(160). С. 33–37.

Usoltsev V.A., Kolchin K.V., Azarenok V.A. On Possibilities for Application of Generic and Regional Allometric Models When Estimating Spruce Tree Biomass. *Agrarnyj vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2017, no. 06(160), pp. 33–37.

11. Braastad H. Volumtabeller for bjørk [Volume Tables for Birch]. *Meddelelser fra det Norske Skogforsøksvesen*, 1966, vol. 21, no. 1, pp. 23–78.

12. Eysenck H.J. An Exercise in Mega-Silliness. *American Psychologist*, 1978, vol. 33(5), art. 517. DOI: <https://doi.org/10.1037/0003-066X.33.5.517.a>

13. Feinstein A.R. Meta-Analysis: Statistical Alchemy for the 21st Century. *Journal of Clinical Epidemiology*, 1995, vol. 48, iss. 1, pp. 71–79. DOI: [https://doi.org/10.1016/0895-4356\(94\)00110-C](https://doi.org/10.1016/0895-4356(94)00110-C)

14. Giurgiu V. O expresie matematica unica a relatiei diametru – înaltime – volum, pentru majoritatea speciilor forestiere din Romania [An Unique Mathematical Expression of the Relation Diameter-Height-Volume for Most of the Romanian Forest Tree Species]. *Silvicultura si Exploatarea Padurilor*, 1974, vol. 89, no. 4, pp. 173–178.

15. Glass G.V. Primary, Secondary, and Meta-Analysis of Research. *Educational Researcher*, 1976, vol. 5, no. 10, pp. 3–8. DOI: <https://doi.org/10.2307/1174772>

16. Gschwantner T., Alberdi I., Balázs A., Bauwens S., Bender S., Borota D. et al. Harmonisation of Stem Volume Estimates in European National Forest Inventories. *Annals of Forest Science*, 2019, vol. 76, art. 24. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0800-8>
17. Markow T.A., Clarke G.M. Meta-Analysis of the Heritability of Developmental Stability: A Giant Step Backward. *Journal of Evolutionary Biology*, 1997, vol. 10, iss. 1, pp. 31–37. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1420-9101.1997.10010031.x>
18. Muukkonen P. Generalized Allometric Volume and Biomass Equations for Some Tree Species in Europe. *European Journal of Forest Research*, 2007, vol. 126, iss. 2, pp. 157–166. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-007-0168-4>
19. Nakagawa S., Poulin R. Meta-Analytic Insights into Evolutionary Ecology: An Introduction and Synthesis. *Evolutionary Ecology*, 2012, vol. 26, iss. 5, pp. 1085–1099. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10682-012-9593-z>
20. O'Rourke K. An Historical Perspective on Meta-Analysis: Dealing Quantitatively with Varying Study Results. *Journal of the Royal Society of Medicine*, 2007, vol. 100, iss. 12, pp. 579–582. DOI: <https://doi.org/10.1177/0141076807100012020>
21. Pajtić J., Konôpka B. Quantifying Edible Biomass on Young *Salix caprea* and *Sorbus aucuparia* Trees for *Cervus elaphus*: Estimates by Regression Models. *Austrian Journal of Forest Science*, 2015, Nr. 2, S. 61–80.
22. Pajtić J., Konôpka B., Šebeň V. *Mathematical Biomass Models for Young Individuals of Forest Tree Species in the Region of the Western Carpathians*. Zvolen, National Forest Centre – Forest Research Institute Zvolen, 2018. 89 p.
23. Petticrew M. Systematic Reviews from Astronomy to Zoology: Myths and Misconceptions. *British Medical Journal*, 2001, vol. 322, pp. 98–101. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmj.322.7278.98>
24. Xia Z.-S., Zeng W.-S., Znu S., Luo H.-Z. Construction of Tree Volume Equations for Chinese Fir Plantations in Guizhou Province, Southwestern China. *Forest Science and Practice*, 2013, vol. 15, iss. 3, pp. 179–185. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11632-013-0304-9>

GENERIC MODEL OF WILLOW STEM VOLUME: A META-ANALYSIS

Vladimir A. Usoltsev^{1,2}, Doctor of Agriculture, Prof.; ResearcherID: [M-8253-2018](https://orcid.org/0000-0003-4587-8952),

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

Andrey A. Paramonov^{3,4}, Junior Research Scientist, Postgraduate Student;

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

Sergey V. Tretyakov^{3,4}, 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^{3,4}, Doctor of Agriculture, Prof.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5402-1953>

Ivan S. Tsepordey², Candidate of Agriculture, Research Scientist; ResearcherID: [AAC-5377-](https://orcid.org/0000-0002-4747-5017)

[2020](https://orcid.org/0000-0002-4747-5017), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4747-5017>

¹Ural State Forest Engineering University, Sibirskiy Trakt, 37, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation; e-mail: Usoltsev50@mail.ru

²Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. 8 Marta, 202a, Yekaterinburg, 620144, Russian Federation; e-mail: Usoltsev50@mail.ru, ivan.tsepordey@yandex.ru

³Northern Research Institute of Forestry, ul. Nikitova, 13, Arkhangelsk, 163062, Russian Federation; e-mail: vagner93@inbox.ru, s.v.tretyakov@narfu.ru, s.koptev@narfu.ru

⁴Northern (Arctic) Federal University Named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: vagner93@inbox.ru, s.v.tretyakov@narfu.ru, s.koptev@narfu.ru

Abstract. Current scenarios of the consequences of global warming stimulate research on the carbon-depositing capacity of vegetation cover. The stem is the main part of the tree biomass, and the accuracy of its volume assessment determines the possibility of correct monitoring and forecasting of forest resources. In the Russian forest management system, willow was not among the main forest-forming species, and therefore there was no need to develop valuation standards for it. However, due to the increased relevance of assessing the carbon-depositing function of Russian forests and the requirement to take into account the contribution to the carbon balance of all types of vegetation, there is a necessity to develop such standards. The solution can be found in the development of a generic model (or table) that takes into account the morphology of willows within the *Salix* L. genus and is based on data published in different regions and countries. The object of our research is data on the volume of willow stems, which is published and freely available in Russia, Kazakhstan, Bulgaria, and Norway in the form of tables or regression models. However, the extent to which each local model is applicable in other regions is unknown. To resolve this uncertainty, we used meta-analysis as a statistical procedure that combines the results of several independent studies in order to find a common pattern. As a result, we obtained a generic model of stem volume for the *Salix* genus, which is characterized by a high coefficient of determination and can be applied to estimate the stem volume of any species of this genus with minimum deviations from the calculated values. The results of the work are aimed at improving the accuracy of accounting deciduous stands during forest management and monitoring activities, valuation of stands on permanent and temporary trial plots. The implementation of unified standards for the use, reproduction, conservation and protection of willow stands with all the diversity of its species will solve a number of practical issues.

For citation: Usoltsev V.A., Paramonov A.A., Tretyakov S.V., Koptev S.V., Tsepordey I.S. Generic Model of Willow Stem Volume: A Meta-Analysis. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2021, no. 3, pp. 49–58. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-3-49-58

Keywords: *Salix* L. genus, stem volume, generic model, meta-analysis, regression analysis.