

Т.А. Пристова, А.Л. Федорков, А.Б. Новаковский

ЗАПАСЫ НАДЗЕМНОЙ ФИТОМАССЫ СОСНЫ СКРУЧЕННОЙ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ КУЛЬТУРАХ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

Введение. В настоящее время во многих странах при реализации стратегии низкоуглеродного развития создаются лесные углерододепонирующие плантации и так называемые «карбоновые фермы», где выращиваются быстрорастущие древесные породы, способные адаптироваться к меняющемуся климату [Tumenbayeva et al., 2018].

Растущее потребление биотоплива в мире, в том числе из древесной фитомассы, ставит задачу оценки её запасов. В Северной Европе в качестве источника древесной фитомассы для производства биотоплива рассматриваются лесные культуры (энергетические плантации) быстрорастущих древесных пород [Mola-Judego et al., 2017]. Для производства биотоплива (щепы, топливных гранул, брикетов и др.) часто используются стволы молодых деревьев с кроной, вырубаемые при проведении рубок ухода в молодняках [Repola, Ulvcrona, 2014].

В таёжной зоне европейской части России перспективной быстрорастущей породой является североамериканский вид – сосна скрученная (*Pinus contorta* Dougl.) [Феклистов и др., 2008; Раевский, 2015; Fedorkov, Gutiy, 2017; Demidova et al., 2020]. Многими исследователями показано, что сосна скрученная на севере России и в Северной Европе растёт быстрее, чем сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), и накапливает больший запас и фитомассу за один и тот же период времени, что может существенно сократить оборот рубки [Феклистов и др., 2008; Раевский, 2015; Пристова и др., 2023; Elfving et al., 2016; Fedorkov, Gutiy, 2017; Demidova et al., 2020]. Например, в Северной Швеции финальная рубка в искусственных насаждениях сосны скрученной проводится уже в 45-летнем возрасте [Manner, Lundström, 2024].

Существует ряд методов по определению фитомассы древостоя [Усолцев, Залесов, 2005; Zamolodchikov et al., 2003; Repola, 2009; Scheraschenko et al., 2018]. Одним из наиболее распространенных является метод модельных деревьев, который предполагает их рубку, поэтому на селекционных объектах (архивах клонов, испытательных и географических культурах, лесосеменных плантациях и др.) он не всегда может быть применен в связи с необходимостью сохранения деревьев для их последующего изучения и

размножения. В таких случаях применяются генерализованные аллометрические уравнения, исходным материалом для которых являются данные большого числа модельных деревьев, представляющих определённую территорию. В связи с различиями в закономерностях роста естественных и искусственных насаждений генерализованные аллометрические уравнения для этих двух категорий насаждений будут отличаться [Уткин и др., 1996; Бабич и др., 2010; Elfving et al., 2016]. Следует отметить, что в отечественной литературе мы не обнаружили данных по оценке фитомассы сосны скрученной, помимо опубликованных нами ранее [Пристова и др., 2023].

Цель работы – определение и сравнительная оценка надземной фитомассы сосны скрученной и сосны обыкновенной в экспериментальных культурах Республики Коми.

Материалы и методика исследований. Объекты исследования – экспериментальные культуры сосны скрученной в четырех лесничествах Республики Коми (рис. 1), созданные на участках различных категорий. Посадка семян с закрытой корневой системой произведена весной 2004 и 2006 гг. с различными вариантами размещения (табл. 1). В качестве контроля использованы семена сосны обыкновенной местного происхождения, которые выращивались в полиэтиленовой теплице вместе с сеянцами сосны скрученной, начиная от посева семян.

При закладке культур использована схема полного рендомизированного блока с линейными (рядовыми) делянками, высаженными в 6–12-кратной повторности. Согласно проведённым ранее исследованиям, из шести источников семян сосны скрученной (шесть лесосеменных плантаций, созданных по географическому принципу в Швеции), представленных в опыте, лучшие рост и сохранность показал один из самых северных (ЛСП Нарлинге), соответствующий провинции Юкон в Канаде, предназначенный для обеспечения семенами зоны 1 (рис. 1) [Fedorkov, Gutiy, 2017]. Хорошее состояние и рост культур этого происхождения отмечено также в Карелии [Раевский, 2015] и Архангельской области [Demidova et al., 2020].

Запасы надземной фитомассы в исследуемых экспериментальных В изучаемых экспериментальных культурах не проводились рубки ухода, которые обычно проводят в культурах сосны в 15-20-летнем возрасте. В связи с этим в настоящем исследовании были использованы деревья, не имеющие каких-либо дефектов ствола (двойные вершины, кривизна и т.д.) и отставания в росте, полагая, что при создании производственных культур именно такие деревья сформируют будущий древостой. В качестве опыта использована сосна скрученная из источника семян ЛСП Нарлинге, в качестве контроля – сосна обыкновенная местного происхождения. Измерения высот и диаметров (на высоте 1,3 м) в исследуемых культурах проводили в 2021–2023 гг.

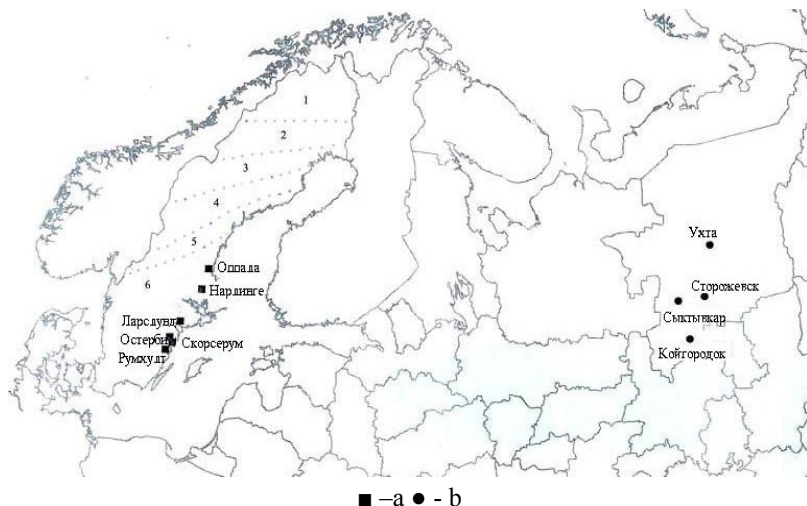


Рис. 1. Лесосеменные районы (1–6), лесосеменные плантации (ЛСП) сосны скрученной (а) в Швеции и экспериментальные культуры в Республике Коми (б)

Fig. 1. Seed zones (1-6) and seed orchards of lodgepole pine in Sweden and experimental plantations in the Komi Republic

Таблица 1

Характеристика объектов исследования
Characteristics of the research objects

Характеристика объектов	Лесничество			
	Сторожевское	Ухтинское	Койгородское	Сыктывкарское
№ участка	1	2	3	4
Год закладки	2004	2004	2004	2006
Площадь, га	1,8	2,0	0,9	1,1
Размещение, м	2,0×2,0	2,5×2	2×1,5	3,0×1,0
Посадочный материал	Однолетние сеянцы	Однолетние сеянцы	Однолетние сеянцы	Двухлетние сеянцы
Категория участка	С/х пользование	Карьер	Карьер	Вырубка (сосновая)
Координаты	61°53' с.ш. 52°45' в.д.	63°62' с.ш. 53°79' в.д.	60°20' с.ш. 51°30' в.д.	61°40' с.ш. 51°03' в.д.
Почва	Постагрогенная серогумусовая	Флювиогляциальные пески и супеси	Флювиогляциальные пески и супеси	Иллювиально-железистый подзол
Исходный тип насаждения	Сосняк лишайниковый	Сосняк лишайниковый	Сосняк брусничный	Сосняк бруснично-лишайниковый

Запасы надземной фитомассы в исследуемых экспериментальных культурах определяли методом «модельных деревьев» с последующим применением аллометрических уравнений для оценки отдельных фракций деревьев и фитомассы древостоя в целом [Бабич, Мерзленко, 1998; Усольцев, Залесов, 2005; Усольцев, 2007]. Отбор моделей пропорционально представительству, по одному среднему из каждой ступени толщины, является наиболее точным среди прочих [Бабич, Мерзленко, 1998]. С целью построения аллометрических уравнений использованы данные по 10 модельным деревьям сосны скрученной и сосны обыкновенной диаметром от 4 до 10 см, которые были представлены ранее для 15-летних культур сосны скрученной [Пристова и др., 2023]. Для использования в 20-летних культурах сосны скрученной в настоящей работе материалы по модельным деревьям были скорректированы с использованием дополнительных данных. Коэффициенты регрессии находили при помощи линейной модели от логарифмированных значений. Следует отметить, что в аллометрических уравнениях наряду с диаметром ствола часто используется высота дерева [Бабич, Мерзленко, 1998; Усольцев, 1988]. По нашим данным, между этими показателями существует четко выраженная прямая зависимость. Коэффициент корреляции (r) для сосны обыкновенной составил 0,89 ($p = 0,042$), для сосны скрученной – 0,88 ($p = 0,047$). Таким образом, одновременное использование в моделях обоих параметров является избыточным, поэтому учитывался только один из них – диаметр ствола. С помощью полученных аллометрических уравнений (табл. 2) рассчитана масса каждого дерева и компонента фитомассы, а затем определены их средние значения и стандартное отклонение для каждой исследуемой породы, отдельно для каждого лесничества. Оценку статистической значимости различий в надземной фитомассе между сосной скрученной и сосной обыкновенной проводили на основе t -критерия Стьюдента. Все расчеты проводили в статистической среде R (версия 4.4.1) [R..., 2024].

Данные по фитомассе представлены на одно дерево в килограммах, а также, для сравнимости, в тоннах на гектар абсолютно сухого вещества (т/га а.с.в.). Для проведения расчета фитомассы на всю площадь культур и корректной сравнительной оценки общей надземной фитомассы исследуемых пород на гектар, густоту насаждения принимали равной 2 тыс. шт./га. Густота насаждений в 20-летнем возрасте была принята условно одинаковой для всех участков и пород. При этом на основании данных предыдущего исследования, средняя сохранность культур по всем участкам при средней густоте посадки около 2,5 тыс. шт./га составила 80% для сосны обыкновенной и 88% для сосны скрученной [Федорков, Гутый, 2017].

Таблица 2

Коэффициенты аллометрического уравнения вида $y=ad^b$ и описание модели зависимости общей надземной фитомассы деревьев и ее компонентов от диаметра ствола для сосны обыкновенной и сосны скрученной

Coefficients of the allometric equation $y=ad^b$ and model description of dependence of total aboveground phytomass of trees and its components on trunk diameter for Scots pine and lodgepole pine

Порода	Коэффициенты аллометрического уравнения				Описание модели		
	Коэф-фициент	Значение	t-критерий	p-уровень	F-критерий	R ²	p-уровень
Общая надземная фитомасса							
Сосна обыкновенная	a	0,097	3,660	0,035	36,536	0,924	0,009
	b	2,149	6,044	0,009			
Сосна скрученная	a	0,131	5,312	0,013	124,098	0,976	0,002
	b	2,234	11,14	0,002			
Хвоя							
Сосна обыкновенная	a	0,025	8,900	0,003	72,358	0,96	0,003
	b	1,947	8,506	0,003			
Сосна скрученная	a	0,141	1,440	0,245	3,635	0,548	0,153
	b	1,425	1,907	0,153			
Живые ветви							
Сосна обыкновенная	a	0,031	2,458	0,091	6,15	0,672	0,089
	b	1,991	2,480	0,089			
Сосна скрученная	a	0,026	10,902	0,002	181,133	0,984	0,001
	b	2,354	13,459	0,001			
Стволовая древесина							
Сосна обыкновенная	a	0,039	5,043	0,015	40,393	0,931	0,008
	b	2,279	6,356	0,008			
Сосна скрученная	a	0,040	7,339	0,005	114,162	0,974	0,002
	b	2,460	10,685	0,002			
Кора							
Сосна обыкновенная	a	0,004	6,205	0,008	25,425	0,894	0,015
	b	2,500	5,042	0,015			
Сосна скрученная	a	0,010	8,902	0,003	59,41	0,952	0,005
	b	2,098	7,708	0,005			
Сухие ветви							
Сосна обыкновенная	a	0,001	1,366	0,265	0,975	0,245	0,396
	b	2,699	0,987	0,396			
Сосна скрученная	a	0,001	1,002	0,390	0,228	1,878	0,477
	b	1,878	0,477	0,666			

Примечание. d – диаметр ствола дерева на высоте 1.3 м

Результаты и обсуждение. В соответствии с проведенными таксационными измерениями средний диаметр сосны скрученной происхождения ЛСП Нарлинге, в зависимости от исследуемого участка, варьирует от 10,0 до 12,5 см, средняя высота – от 6,9 до 8,4 м; сосны обыкновенной – от 9,4 до 11,9 см и от 5,9 до 8,1 м, соответственно (табл. 3).

Таблица 3

Средние таксационные показатели сосны обыкновенной и сосны скрученной в 20-летних экспериментальных культурах

Average taxation indicators of Scots pine and lodgepole pine in experimental plantations

Лесничество	Сосна скрученная		Сосна обыкновенная	
	диаметр, см	высота, м	диаметр, см	высота, м
Сторожевское	11,9 ± 0,3	7,1 ± 0,1	10,0 ± 0,4	6,4 ± 0,2
Ухтинское	12,5 ± 0,4	7,8 ± 0,2	11,9 ± 0,3	7,2 ± 0,1
Койгородское	10,0 ± 0,4	6,9 ± 0,2	9,4 ± 1,0	5,9 ± 0,5
Сыктывкарское	11,7 ± 0,3	8,4 ± 0,1	11,4 ± 0,3	8,1 ± 0,1

Согласно расчетам, вес одного среднего дерева в исследуемых экспериментальных культурах в абсолютно сухом состоянии варьирует для сосны обыкновенной – от 14 до 22 кг/дерево, сосны скрученной – от 23 до 38 кг/дерево (табл. 4). По литературным данным различия в массе среднего дерева сосны скрученной и сосны обыкновенной небольшие. При более низких, чем в нашем эксперименте, значениях диаметра (7 см) в искусственных насаждениях Швеции вес одного дерева сосны скрученной составляет 10,4 кг, при более высоких значениях диаметра (15 см) – 72 кг/дерево [Elfving et al., 2016]; в естественных насаждениях Канады (провинция Юкон) при значениях диаметра 7 и 15 см – 11,5 и 75,6 кг/дерево соответственно [Manning et al., 1984]. Масса среднего дерева у сосны обыкновенной немного меньше: в Швеции при диаметре 7 см она составляет 10,2, при 15 см – 69,4 кг на одно дерево [Marklund, 1988]; похожие данные получены в Финляндии – 10,2 и 69,4 кг/дерево, соответственно [Repola, 2009]. Для 20-летних культур сосны обыкновенной в условиях среднетаежного Урала масса модельного дерева с диаметром 8,9 и 9,8 см составляет 13,6 и 19,47 кг соответственно [Усольцев, 2023], что довольно близко к полученным данным для среднего дерева (табл. 4). Согласно нашим данным, разница в массе среднего дерева между двумя породами, произрастающими в пределах одного участка, составляет от 41 до 57%.

Таблица 4

**Фитомасса надземной части среднего дерева сосны скрученной
и сосны обыкновенной в экспериментальных культурах**

**Phytomass of the aboveground part of lodgepole and Scots pine trees
in experimental plantations**

Компонент фитомассы	Сосна скрученная		Сосна обыкновенная		t	p
	Масса 1 дерева	%	Масса 1 дерева	%		
Сторожевское лесничество						
Стволовая древесина	18,5 ± 7,1	53,6	7,7 ± 3,3	51,7	7,8	<0,001
Кора	1,9 ± 0,6	5,5	1,3 ± 0,6	8,7	3,0	0,004
Живые ветви	9,2 ± 3,4	26,7	3,1 ± 1,2	20,8	9,9	<0,001
Сухие ветви	0,1 ± 0,1	0,3	0,5 ± 0,3	3,4	6,9	<0,001
Хвоя	4,8 ± 1,1	13,9	2,3 ± 0,8	15,4	9,9	<0,001
Всего	34,5 ± 12,1	100,0	14,9 ± 5,8	100,0	8,6	<0,001
Ухтинское лесничество						
Стволовая древесина	20,6 ± 7,5	54,1	11,5 ± 4,4	52,0	5,8	<0,001
Кора	2,0 ± 0,6	5,2	2,1 ± 0,9	9,5	0,2	0,870
Живые ветви	10,2 ± 3,5	26,8	4,4 ± 1,5	19,9	8,1	<0,001
Сухие ветви	0,1 ± 0,1	0,3	0,9 ± 0,4	4,1	12,9	<0,001
Хвоя	5,2 ± 1,1	13,6	3,2 ± 1,0	14,5	7,5	<0,001
Всего	38,1 ± 12,5	100,0	22,1 ± 7,4	100,0	6,5	<0,001
Койгородское лесничество						
Стволовая древесина	12,1 ± 4,9	51,7	7,0 ± 3,9	51,5	2,8	0,016
Кора	1,3 ± 0,4	5,6	1,2 ± 0,7	8,8	0,3	0,783
Живые ветви	6,1 ± 2,4	26,1	2,8 ± 1,4	20,6	4,4	<0,001
Сухие ветви	0,1 ± 0,1	0,4	0,5 ± 0,3	3,7	3,4	0,014
Хвоя	3,8 ± 0,9	16,2	2,1 ± 1,0	15,4	3,9	0,003
Всего	23,4 ± 8,6	100,0	13,6 ± 6,9	100,0	3,2	0,007
Сыктывкарское лесничество						
Стволовая древесина	17,7 ± 7,2	53,5	10,1 ± 2,7	51,8	5,9	<0,001
Кора	1,8 ± 0,6	5,4	1,8 ± 0,5	9,2	0,1	0,983
Живые ветви	8,8 ± 3,4	26,6	4,0 ± 0,9	20,5	8,5	<0,001
Сухие ветви	0,1 ± 0,1	0,3	0,7 ± 0,2	3,6	12,8	<0,001
Хвоя	4,7 ± 1,1	14,2	2,9 ± 0,6	14,9	8,4	<0,001
Всего	33,1 ± 12,0	100,0	19,5 ± 4,5	100,0	6,8	<0,001

Примечание. Жирным шрифтом выделены значимые различия (на уровне значимости $p < 0,05$)

Структура надземной массы среднего дерева исследуемых пород довольно схожа, на ствол (включая стволовую древесину и кору) приходится 59–62%, живые ветви – 20–27, хвою – 14–16% от общих запасов органического вещества в надземной части деревьев (табл. 4). Довольно близкие данные приводятся для сосны обыкновенной в 20-летних культурах Архангельской области: масса ствола составляет 67%, ветвей – 10%, хвои – 23% от общего запаса надземной части древостоя [Бабич и др., 2010]. Сравнение доли участия компонентов фитомассы между двумя видами показало, что разница в пределах одного участка между ними небольшая и не превышает 2% (табл. 4).

Значимые различия в структуре компонентов надземной фитомассы между сосной скрученной и сосной обыкновенной наблюдаются для всех частей дерева, за исключением коры. Сосна скрученная превышает по массе живых ветвей сосну обыкновенную в 2,2–3,0, стволов – в 1,7–2,4, хвои – в 1,6–2,1 раза (табл. 4). Наибольшая масса стволовой древесины (20,6 кг/дерево), живых ветвей (10,2 кг/дерево) и хвои (5,2 кг/га) для сосны скрученной отмечена для Ухтинского лесничества. При этом более высокие, по сравнению с сосной обыкновенной, показатели характерны для Сторожевского лесничества. Различие в массе хвои между древесными породами обусловлено рядом особенностей ассимиляционного аппарата сосны скрученной: длина хвоинки у нее на 20%, а масса до 50% больше, чем у сосны обыкновенной, кроме того, продолжительность жизни ее хвои в среднем на 1 год дольше [Феклистов и др., 2008].

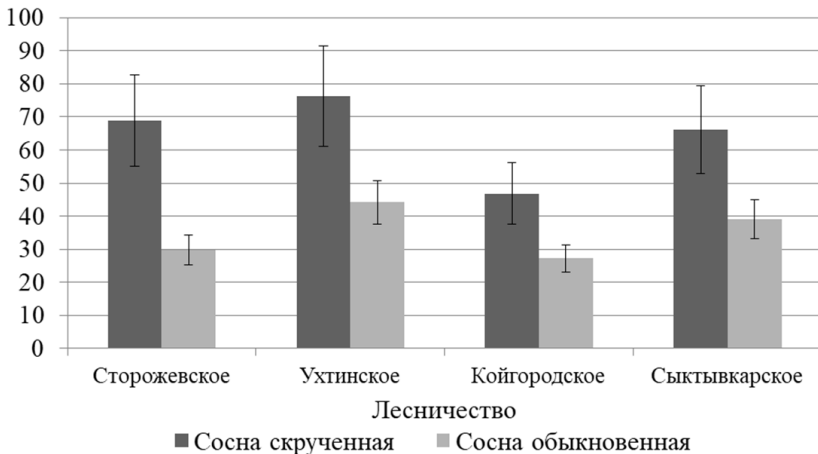


Рис. 2. Фитомасса сосны скрученной и сосны обыкновенной в экспериментальных культурах, т/га

Fig. 2. Phytomass of lodgepole pine and Scots pine in experimental crops, t/ha

Запасы надземной фитомассы исследуемых культур к 20-летнему биологическому возрасту составляют 46–76 т/га для сосны скрученной и 27–44 т/га для сосны обыкновенной (рис. 2). По данным других исследователей, в условиях Архангельской области для 22-летних посевов сосны обыкновенной приводятся близкие показатели – 28 т/га [Бабич и др., 2010].

Заключение. Таким образом, проведенные исследования показали, что к 20-летнему возрасту надземная фитомасса сосны скрученной, независимо от условий произрастания и категории лесокультурной площади, выше, чем у сосны обыкновенной местного происхождения. Наиболее высокие различия по массе стволовой древесины сосны скрученной, по сравнению с сосной обыкновенной, получены для экспериментальных культур, заложенных на сельскохозяйственных землях. Превышение сосны скрученной над сосной обыкновенной по массе стволовой древесины позволяет рекомендовать выращивание этой древесной породы в условиях средней тайги Республики Коми.

Сведения о финансировании исследования. Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН, тема «Средообразующая роль и продуктивность лесных и болотных экосистем европейского северо-востока России» (№ 125020501547-8).

Благодарности. Авторы выражают благодарность за помощь в проведении полевых работ к.б.н., научному сотруднику Института биологии Коми НЦ УрО РАН Плюсниной С.Н.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Бабич Н.А., Мерзленко Н.А. Биологическая продуктивность лесных культур. Архангельск: Изд-во АГТУ, 1998. 89 с.

Бабич Н.А., Клевицов Д.Н., Евдокимов И.В. Зональные закономерности изменения фитомассы культур сосны. Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет, 2010. 140 с.

Пристова Т.А., Федорков А.Л., Новаковский А.Б. Надземная фитомасса древостоя в экспериментальных культурах сосны скрученной в Сыктывкарском лесничестве Республики Коми // ИВУЗ. Лесной журнал. 2023. № 6. С. 31–43.

Раевский Б.В. Селекция и семеноводство сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и сосны скрученной (*Pinus contorta* Dougl. Ex Loud. var. *Latifolia* Engelm) на Северо-Западе таежной зоны России: дис. ... д-ра с-х. наук. СПб.: СПбГЛТА им. С.М. Кирова, 2015. 322 с.

Усольцев В.А. Рост и структура фитомассы древостоев. Новосибирск: Наука, 1988. 253 с.

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

Усольцев В.А. Фитомасса модельных деревьев для дистанционной и наземной таксации лесов Евразии: электронная база данных. Екатеринбург: Бот. сад УрО РАН, 2023. URL: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/12451> (дата обращения: 17.09.2024)

Усольцев В.А., Залесов С.В. Методы определения биологической продуктивности насаждений. Екатеринбург: УГЛТУ, 2005. 147 с.

Уткин А.И., Замолодчиков Д.Г., Гульбе Т.А., Гульбе Я.И. Аллометрические уравнения для фитомассы по данным деревьев сосны, ели, березы и осины в европейской части России // Лесоведение. 1996. №6. С. 36–46.

Федорков А.Л., Гутый Л.Н. Состояние экспериментальных культур сосны скрученной в Республике Коми // Вестник ИБ Коми НЦ УрО РАН. 2017. № 2. С. 25–31.

Феклистов П.А., Бирюков С.Ю., Федяев А.Л. Сравнительные эколого-биологические особенности сосны скрученной и обыкновенной в северной подзоне европейской тайги. Архангельск: АГТУ, 2008. 118 с.

Demidova N.A., Durkina N.M., Gogoleva L.G., Paramonov A.A. Lodgepole pine of Yukon origin in the European North of Russia // IOP Conf. Series: Earth and Environmental science. 2020. No. 574. Art. no. 012022. DOI: 10.1088/1755-1315/574/1/012022.

Elfving B., Ulvcrona K.A., Egnell G. Biomass equations for lodgepole pine in northern Sweden // Can. J. For. Res. 2016. Vol. 47. P. 89–96. DOI: 10.1139/cjfr-2016-0131.

Fedorov A., Gutiy L. Performance of lodgepole pine and Scots pine in field trials located in north-west Russia // Silva Fennica. 2017. Vol. 51, no. 1. Art. no. 1692. DOI: 10.14214/af.1692.

Manner J., Lundström H. The effect of forked trees on harvester time consumption in a *Pinus contorta* final-felling stand // Silva Fennica. 2024. Vol. 58, no. 4. Art. no. 24039. DOI: 10.14214/sf.24039.

Manning G.N., Massie M.R.C., Rudd J. Metric single-tree weight tables for the Yukon Territory. Canadian Forestry Service, Pacific Forest Research Centre, Victoria, B.C., Inf. Rep. BC-X-250, 1984. 170 p.

Marklund L.-G. Biomass functions for Scots pine, Norway spruce and birch in Sweden. Swedish University of Agricultural Sciences, Inst. för skogstaxering, 1988. 71 p.

Mola-Yudego B., Arevalo J., Díaz-Yanez O., Dimitriou I., Haapala A., Carlos Ferras Filho A., Selkimaki M., Valbuena R. Wood biomass potentials for energy in northern Europe: Forest or plantations? // Biomass and Bioenergy. 2017. No. 106. P. 95–103. DOI: 10.1016/j.biombioe.2017.08.021.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <http://www.R-project.org> (дата обращения: 14.08.2024)

Repola J. Biomass Equations for Scots pine and Norway spruce in Finland // *Silva Fennica*. 2009. Vol. 42, no. 4. P. 605–624. DOI: 10.14214/sf.184.

Repola J., Ulvcrona K.A. Modelling biomass of young and dense Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) dominated mixed forests in northern Sweden // *Silva Fennica*. 2014. Vol. 48, no. 5. Art. no. 1190. DOI: 10.14214/sf.1190.

Schepaschenko D., Moltchanova E., Shvidenko A., Blyshchik V., Dmitriev E., Martynenko O., See L., Kraxner F. Improved estimates of biomass expansion factors for Russian forests // *Forests*. 2018. Vol. 9, iss. 6. Art. no. 312. DOI: 10.3390/f9060312.

Tumenbayeva A.R., Sarsekova D.N., Malek S. Carbon sequestration of above-ground biomass of *Pinus sylvestris* L. in the green belt of the city of Astana // *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry*. 2018. Vol. 60 (3). P. 137–142. DOI: 10.2478/ffp-2018-0013.

Zamolodchikov D.G., Utkin A.I., Chestnykh O.V. Biomass conversion and expansion factors for major forest forming species in Russia // *Forest Mensurat. For. Invent.* 2003. No. 1. P. 119–127.

References

Babich N.A., Klevtsov D.N., Evdokimov I.V. Zonal patterns of changes in the phytomass of pine plantations. Arkhangelsk: Northern (Arctic) Federal University, 2010. 140 p. (In Russ.)

Babich N.A., Merzlenko N.A. Biological productivity of forest plantations. Arkhangelsk: Publishing house of AGTU, 1998. 89 p. (In Russ.)

Elfving B., Ulvcrona K.A., Egnell G. Biomass equations for lodgepole pine in northern Sweden. *Can. J. For. Res.*, 2016, vol. 47, pp. 89–96. DOI: 10.1139/cjfr-2016-0131.

Fedorkov A.L., Gutiy L.N. The state of experimental cultures of lodgepole pine in the Komi Republic. *Bulletin of the Komi Scientific Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*, 2017, no. 2, pp. 25–31. (In Russ.)

Fedorkov A. Gutiy L. Performance of lodgepole pine and Scots pine in field trials located in north-west Russia. *Silva Fennica*, 2017, vol. 51, no. 1, art. no. 1692. DOI: 10.14214/af.1692.

Feklistov P.A., Biryukov S.Yu., Fedyaev A.L. Comparative ecological and biological features of lodgepole and common pine in the northern subzone of the European taiga. Arkhangelsk: Arkhangelsk State Technical University, 2008. 118 p. (In Russ.)

Manner J., Lundström H. The effect of forked trees on harvester time consumption in a *Pinus contorta* final-felling stand. *Silva Fennica*, 2024, vol. 58, no. 4, art. no. 24039. DOI: 10.14214/sf.24039.

Manning G.N., Massie M.R.C., Rudd J. Metric single-tree weight tables for the Yukon Territory. Canadian Forestry Service, Pacific Forest Research Centre, Victoria, B.C., Inf. Rep. BC-X-250, 1984. 170 p.

Marklund L.-G. Biomass functions for Scots pine, Norway spruce and birch in Sweden. Swedish University of Agricultural Sciences, Inst. för skogstaxering, 1988. 71 p.

Mola-Yudego B., Arevalo J., Diaz-Yanez O., Dimitriou I. Haapala A., Carlos Ferras Filho A., Selkimaki M., Valbuena R. Wood biomass potentials for energy in northern Europe: Forest or plantations? *Biomass and Bioenergy*, 2017, no. 106, pp. 95–103. DOI: 10.1016/j.biombioe.2017.08.021.

Pristova T.A., Fedorkov A.L., Novakovsky A.B. Aboveground phytomass of a stand in experimental plantations of lodgepole pine in Syktyvkar forestry of the Komi Republic. *Forest Journal*, 2023, no. 6, pp. 31-43. (In Russ.)

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <http://www.R-project.org> (accessed: 14.08.2024)

Rayevsky B.V. Breeding and seed production of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl. ex Loud. var. *latifolia* Engelm) in the North-West of the taiga zone of Russia. Diss. ... Doc. Agr. Sci. St. Petersburg: St. Petersburg State Forest Technical University, 2015. 322 p. (In Russ.)

Repola J. Biomass Equations for Scots pine and Norway spruce in Finland. *Silva Fennica*, 2009, vol. 42, no. 4, pp. 605–624. DOI: 10.14214/sf.184.

Repola J., Ulvcrona K.A. Modelling biomass of young and dense Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) dominated mixed forests in northern Sweden. *Silva Fennica*, 2014, vol. 48, no. 5, art. no. 1190. DOI: 10.14214/sf.1190.

Schepaschenko D., Moltchanova E., Shvidenko A., Blyshchyk V., Dmitriev E., Martynenko O., See L., Kraxner F. Improved estimates of biomass expansion factors for Russian forests. *Forests*, 2018, vol. 9, iss. 6, art. no. 312. DOI: 10.3390/f.9060312.

Tumenbayeva A.R., Sarsekova D.N., Malek S. Carbon sequestration of above-ground biomass of *Pinus sylvestris* L. in the green belt of the city of Astana. *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry*, 2018, vol. 60 (3), pp. 137–142. DOI: 10.2478/ffp-2018-0013.

Usoltsev V.A. Growth and structure of phytomass of forest stands. Novosibirsk: Nauka, 1988. 253 p. (In Russ.)

Usoltsev V.A. Biological productivity of forests of Northern Eurasia. Methods, database and its applications. Ekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2007. 636 p. (In Russ.)

Usoltsev V.A. Phytomass of model trees for remote and ground-based forest taxation in Eurasia: electronic database. Ekaterinburg: Bot. garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. 2023. URL: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/12451> (accessed: 17.09.2024) (In Russ.)

Usoltsev V.A., Zalesov S.V. Methods for determining biological productivity of plantings. Yekaterinburg: Ural State Forestry Engineering university, 2005. 147 p. (In Russ.)

Utkin A.I., Zamolodchikov D.G., Gulbe T.A., Gulbe Ya.I. Allometric equations for phytomass based on data from pine, spruce, birch and aspen trees in the European part of Russia. *Forest science*, 1996, no. 6, pp. 36-46. (In Russ.)

Zamolodchikov D.G., Utkin A.I., Chestnych O.V. Biomass conversion and expansion factors for major forest forming species in Russia. *Forest Mensurat. for. Invent*, 2003, no. 1, pp. 119-127.

Материал поступил в редакцию 21.10.2024

Пристова Т.А., Федорков А.Л., Новаковский А.Б. Запасы надземной фитомассы сосны скрученной и сосны обыкновенной в экспериментальных культурах Республики Коми // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 256. С. 290–304. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.256.290-304

В статье даётся сравнение фитомассы двух древесных пород: сосны скрученной (*Pinus contorta* Dougl.), родиной которой является Северная Америка, и местной сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в экспериментальных культурах Сыктывкарского, Койгородского, Корткеросского и Ухтинского лесничеств Республики Коми, созданных в 2004–2006 гг. на 4 участках различных лесокультурных категорий. Исследования проводились с 2021 по 2023 гг. Расчеты запасов фитомассы проведены с использованием рассчитанных на основе модельных деревьев аллометрических уравнений. Вес одного среднего дерева в абсолютно сухом состоянии варьирует для сосны обыкновенной от 14 до 22 кг, для сосны скрученной – от 23 до 38 кг на одно дерево. К 20-летнему биологическому возрасту в надземной фитомассе культуры сосны скрученной накапливают от 46 до 76 т/га, сосны обыкновенной – от 27 до 44 т/га органического вещества. Показано, что по массе стволов в экспериментальных культурах, заложенных на сосновой вырубке и сельскохозяйственных землях, сосна скрученная максимально превышает сосну обыкновенную по сравнению с другими участками (рекультивированные карьеры). В целом результаты исследования показали, что превышение надземной фитомассы культур сосны скрученной по сравнению с сосной обыкновенной составляет от 25 до 45% на различных участках экспериментальных культур. Структура надземной фитомассы у исследуемых пород имеет схожий характер. Полученные результаты могут использоваться для пополнения базы данных по продуктивности лесных культур и для оценки депонирования углерода искусственными насаждениями в средней тайге.

Ключевые слова: искусственные насаждения, сосна скрученная (*Pinus contorta* Dougl.), аллометрические уравнения, фитомасса.

Pristova T.A., Fedorkov A.L., Novakovsky A.B. Aboveground Phytomass of Lodgepole Pine and Scots pine in Experimental Plantations of the Komi Republic. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoy Akademii*, 2025, iss. 256, pp. 290–304 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.256.290-304

The article is devoted to comparison the phytomass of two tree species: lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl.), native to North America, and local Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in experimental plantations of the Syktyvkar, Koygorodsky, Kortkerossky and Ukhta areas of the Komi Republic, established in 2004–2006 on 4 sites of different forest categories. The studies were conducted from 2021 to 2023. Calculations of phytomass reserves were carried out using model trees for allometric equations. The weight of one tree in an absolutely dry state varies for Scots pine from 14 to 22 kg, for lodgepole pine – from 23 to 38 kg per tree. By the age of 20 years, the aboveground phytomass of lodgepole pine trees accumulates from 46 to 76 t/ha, and that of Scots pine from 30 to 44 t/ha of organic matter. It is shown that by trunk mass in experimental plantations planted on pine clearings and agricultural lands, lodgepole pine maximally exceeds Scots pine compared to other areas (reclaimed quarries). In general, the results of the study showed that the excess of aboveground phytomass of lodgepole pine plantations, compared to Scots pine, is from 25 to 45% in different areas. The structure of aboveground phytomass of the species studied has a similar pattern. The results obtained can be used to replenish the database on the productivity of forest crops and to assess carbon deposition by forest plantations in the middle taiga.

Keywords: allometric equations, forest plantation, lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl.), phytomass.

ПРИСТОВА Татьяна Александровна – научный сотрудник Института биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской Академии наук, кандидат биологических наук. SPIN-код: P-9788-2015. ORCID: 0000-0002-8266-8113.

167982, ул. Коммунистическая, д. 28, г. Сыктывкар, Россия. E-mail: pristova@ib.komisc.ru.

PRISTOVA Tatiana A. – PhD (Biological), Research Scientist, Institute of Biology of Komi Scientific Centre, Ural Branch of the RAS. SPIN-code: P-9788-2015. ORCID: 0000-0002-8266-8113.

167982. Kommunisticheskaya str. 28. Syktyvkar. Russia. E-mail: pristova@ib.komisc.ru

ФЕДОРКОВ Алексей Леонардович – ведущий научный сотрудник Института биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской Академии наук, доктор биологических наук. SPIN-код: C-8811-2009. ORCID: 0000-0001-7800-7534.

167982, ул. Коммунистическая, д. 28, г. Сыктывкар, Россия. E-mail: fedorkov@ib.komisc.ru

FEDORKOV Aleksey L. – DSc (Biological), Leading Research Scientist, Institute of Biology of Komi Scientific Centre, Ural Branch of the RAS. SPIN-code: C-8811-2009. ORCID: 0000-0001-7800-7534.

167982. Kommunisticheskaya str. 28. Syktyvkar. Russia. E-mail: fedorkov@ib.komisc.ru

НОВАКОВСКИЙ Александр Борисович – научный сотрудник Института биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской Академии наук, кандидат биологических наук. SPIN-код: P-9739-2015. ORCID: 0000-0003-4105-7436.

167982, ул. Коммунистическая, д. 28, г. Сыктывкар, Россия. E-mail: novakovsky@ib.komisc.ru

NOVAKOVSKY Alexander B. – PhD (Biological), Research Scientist, Institute of Biology of Komi Scientific Centre, Ural Branch of the RAS. SPIN-code: P-9739-2015. ORCID: 0000-0003-4105-7436.

167982. Kommunisticheskaya str. 28. Syktyvkar. Russia. E-mail: novakovsky@ib.komisc.ru