

Научная статья

УДК 630\*232.11

DOI: 10.37482/0536-1036-2023-6-31-43

## Надземная фитомасса древостоя в экспериментальных культурах сосны скрученной в Сыктывкарском лесничестве Республики Коми

Т.А. Пристова<sup>✉</sup>, канд. биол. наук, науч. сотр.; ResearcherID: [P-9788-2015](https://orcid.org/0000-0002-8266-8113).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8266-8113>

А.Л. Федорков, д-р биол. наук, вед. науч. сотр.; ResearcherID: [C-8811-2009](https://orcid.org/0000-0001-7800-7534).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7800-7534>

А.Б. Новаковский, канд. биол. наук, науч. сотр.; ResearcherID: [P-9739-2015](https://orcid.org/0000-0003-4105-7436).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4105-7436>

Институт биологии Коми научного центра УрО РАН, ГСП-2, ул. Коммунистическая, д. 28, г. Сыктывкар, Россия, 167982; pristova@ib.komisc.ru<sup>✉</sup>, fedorkov@ib.komisc.ru, novakovsky@ib.komisc.ru

Поступила в редакцию 09.06.21 / Одобрена после рецензирования 14.09.21 / Принята к печати 17.09.21

**Аннотация.** Цель настоящей работы – оценка и сравнительный анализ надземной фитомассы сосны скрученной (*Pinus contorta* Dougl.) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в экспериментальных культурах. Приведены результаты исследований экспериментальных культур сосны скрученной в Сыктывкарском лесничестве Республики Коми. Культуры заложены посадкой 2-летних сеянцев весной 2006 г. на сосновой вырубке 2004 г. площадью 1 га. В качестве контроля использованы сеянцы сосны местного происхождения. С помощью метода модельных деревьев проведена оценка надземной фитомассы обеих пород. Определены показатели влажности и содержания абсолютно сухого вещества компонентов фитомассы. Для большинства фракций фитомассы сосны скрученной содержание сухого вещества выше, чем у сосны обыкновенной. Масса модельных деревьев сосны обыкновенной в абсолютно сухом состоянии составляет от 3 до 17 кг, сосны скрученной – от 4 до 27 кг в зависимости от диаметра. Проведен регрессионный анализ данных по модельным деревьям. Показано, что для расчета общей надземной фитомассы и массы большинства ее фракций может быть использовано аллометрическое (степенное) уравнение. Исключение составляет масса сухих ветвей, для которых аллометрическая зависимость от диаметра ствола не обнаружена. Фитомасса в свежесрубленном состоянии составляет для сосны обыкновенной 21 т/га, для сосны скрученной – 32 т/га, в абсолютно сухом состоянии – 8,1 и 12,5 т/га соответственно. Структура надземной фитомассы исследуемых пород довольно схожа, за исключением хвои, доля участия которой у сосны скрученной выше, чем у сосны обыкновенной. Вес почти всех компонентов фитомассы сосны скрученной, кроме сухих сучьев, на 20–50 % выше по сравнению с сосной обыкновенной. Общая надземная фитомасса сосны скрученной в культурах при густоте посадки 2,5 тыс. шт./га в 1,5 раза превышает показатель для сосны обыкновенной. Полученные результаты необходимы для пополнения базы данных о продуктивности и в перспективе для оценки депонирования углерода искусственными насаждениями.

**Ключевые слова:** сосна скрученная, искусственные насаждения, надземная фитомасса, компоненты фитомассы, регрессионный анализ, Республика Коми

**Благодарности:** Работа выполнена в рамках государственного задания по теме «Зональные закономерности динамики структуры и продуктивности первичных и

антропогенно измененных фитоценозов лесных и болотных экосистем европейского северо-востока России», № 122040100031-8.

*Для цитирования:* Пристова Т.А., Федорков А.Л., Новаковский А.Б. Надземная фитомасса древостоя в экспериментальных культурах сосны скрученной в Сыктывкарском лесничестве Республики Коми // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 6. С. 31–43. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-6-31-43>

Original article

### Aboveground Stand Phytomass in Experimental Cultures of Lodgepole Pine in Syktyvkar Forestry of the Komi Republic

*Tatiana A. Pristova*<sup>✉</sup>, Candidate of Biology, Research Scientist; ResearcherID: [P-9788-2015](https://orcid.org/0000-0002-8266-8113), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8266-8113>

*Aleksey L. Fedorkov*, Doctor of Biology, Leading Research Scientist; ResearcherID: [C-8811-2009](https://orcid.org/0000-0001-7800-7534), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7800-7534>

*Alexander B. Novakovsky*, Candidate of Biology, Research Scientist; ResearcherID: [P-9739-2015](https://orcid.org/0000-0003-4105-7436), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4105-7436>

Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. Kommunisticheskaya, 28, Syktyvkar, 167982, Russian Federation; [pristova@ib.komisc.ru](mailto:pristova@ib.komisc.ru)<sup>✉</sup>, [fedorkov@ib.komisc.ru](mailto:fedorkov@ib.komisc.ru), [novakovsky@ib.komisc.ru](mailto:novakovsky@ib.komisc.ru)

Received on June 9, 2021 / Approved after reviewing on September 14, 2021 / Accepted on September 17, 2021

**Abstract.** The purpose of this work is to evaluate and comparatively analyze the above ground phytomass of lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl.) and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in experimental cultures. The results of studies of experimental cultures of lodgepole pine in Syktyvkar forestry of the Komi Republic are presented. The cultures were established by planting 2-year-old seedlings in spring 2006 on a pine clear-cut in 2004 with the area of 1 ha. Pine seedlings of local origin were used for control. The aboveground phytomass of both species was assessed using the model tree method. Moisture content and absolute dry matter content of phytomass components were determined. For the majority of phytomass fractions of lodgepole pine the dry matter content is higher than that of common pine. The weight of model trees of Scots pine in absolutely dry state ranges from 3 to 17 kg, lodgepole pine – from 4 to 27 kg depending on the diameter. Regression analysis of data on model trees was carried out. It is shown that the allometric (steppe) equation can be used to calculate the total aboveground phytomass and the mass of most of its fractions. The exception is the mass of dry branches, for which allometric dependence on trunk diameter was not found. The weight of phytomass in freshly cut condition is 21 t/ha for Scots pine, 32 t/ha for lodgepole pine, and 8.1 and 12.5 t/ha in absolutely dry condition, respectively. The structure of aboveground phytomass of the studied species is quite similar, except for needles, the share of which is higher in lodgepole pine than in Scots pine. The weight of almost all components of lodgepole pine phytomass, except for dry twigs, is 20–50 % higher compared to Scots pine. The total aboveground phytomass of lodgepole pine in cultures at a planting density of 2.5 t/ha is 1.5 times higher than that of Scots pine. The obtained results are necessary for replenishment of the database on productivity and in the future for estimation of carbon deposition by artificial plantations.

**Keywords:** lodgepole pine, forest plantations, aboveground phytomass, phytomass components, regression analysis, Komi Republic



**Acknowledgements:** The work was carried out within the framework of the state assignment on the theme “Zonal regularities of dynamics of structure and productivity of primary and anthropogenically modified phytocenoses of forest and bog ecosystems of the European North-East of Russia”, No. 122040100031-8.

**For citation:** Pristova T.A., Fedorkov A.L., Novakovskiy A.B. Aboveground Stand Phytomass in Experimental Cultures of Lodgepole Pine in Syktyvkar Forestry of the Komi Republic. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2023, no. 6, pp. 31–43. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-6-31-43>

### Введение

Важнейшей задачей лесного хозяйства является восстановление хвойных насаждений после рубок. Внедряемая в настоящее время модель интенсивного использования и воспроизводства лесов предусматривает ускоренное выращивание древесины, в т. ч. за счет введения быстрорастущих древесных пород. Одной из таких пород для таежной зоны России является сосна скрученная (*Pinus contorta* Dougl.) [9]. Естественный ареал сосны скрученной находится в западной части Северной Америки. По физико-механическим свойствам ее древесина близка к древесине сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и используется в основном для производства пиломатериалов и целлюлозы [18]. Первые попытки интродукции сосны скрученной в Европе были предприняты в XIX в. [8]. Масштабная интродукция начата во 2-й половине XX в. в Швеции, где к настоящему времени создано 675 тыс. га чистых и смешанных искусственных насаждений этой породы [7, 25]. В Республике Коми в 2004–2007 гг. заложена серия экспериментальных культур сосны скрученной [16]. На севере европейской части России проведено изучение эколого-биологических особенностей и роста сосны скрученной [5, 11, 17]. В целом исследования, выполненные как в Фенноскандии, так и в таежной зоне европейской части России, показали, что сосна скрученная превосходит сосну обыкновенную по скорости роста [6, 11, 17, 21, 23, 27, 28]. В отечественной литературе мы не обнаружили данных по оценке фитомассы сосны скрученной. Цель – оценка и сравнительный анализ надземной фитомассы сосны скрученной и сосны обыкновенной в экспериментальных культурах.

### Объекты и методы исследования

Исследования проводились в экспериментальных культурах сосны скрученной в 34-м квартале Краснозатонского участкового лесничества Сыктывкарского лесничества Республики Коми (61°40′ с. ш. 51°03′ в. д., 132 м над ур. м.). Категория лесокультурной площади – вырубка на месте сосняка бруснично-лишайникового 2004 г. Подготовка почвы проведена тракторным клином ТК-1 летом 2005 г. Посадка 2-летних сеянцев с закрытой корневой системой выполнена весной 2006 г., площадь участка – 1,0 га, почва – иллювиально-железистая подзолистая, общее количество сеянцев – 2531 шт. Исходный семенной материал сосны скрученной получен с 6 лесосеменных плантаций, созданных по географическому принципу в Швеции семенными потомствами плюсовых деревьев, отобранных в Канаде. В качестве контроля взяты сеянцы сосны обыкновенной местного происхождения. Посадочный материал обеих пород выращивался в полиэтиленовой теплице в одинаковых условиях.

На лесокультурной площади сеянцы высажены в линейные (рядовые) делянки, расположенные рандомизированно в 3-кратной повторности. Из 6 происхождений сосны скрученной для исследования было выбрано самое северное, показавшее лучшие рост и сохранность [23].

В год проведения работ на участке насчитывалось 36 видов сосудистых растений, в т. ч. 8 видов деревьев, 7 – кустарников и кустарничков, 16 – трав, 5 – мхов, а также 3 вида лишайников. Из древесно-кустарниковых пород произрастали *Betula pendula* Roth., *B. pubescens* Ehrh. и единичные экземпляры *Salix caprea* L., *Sorbus aucuparia* L., *Populus tremula* L. и *Picea obovata* Ledeb., имеющие семенное происхождение.

Общее проективное покрытие растений напочвенного покрова на участке составляло в среднем 90 %, варьируя от 60 до 100 %. Мхи занимали в среднем 55 % от общего проективного покрытия, при этом доминировали *Polytrichum commune* Hedw., *Pleurozium schreberi* (Willd ex Brid.) Mitt., *Dicranum polysetum* Sw. Превалирование мхов в живом напочвенном покрове связано с особенностью микрорельефа на участке: сочетание рядов с посадками сосны и междурядий (понижения). В междурядьях наблюдались более влажные условия, которые способствовали развитию мохового покрова. Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса в среднем составляло 45 %, варьируя от 15 до 80 %. Основная роль в данном ярусе принадлежала кустарничкам, их проективное покрытие достигало 55 % от общего, в среднем равняясь 30 %, с доминирующим положением *Vaccinium vitis-idaea* L. Среди трав были наиболее распространены *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth., *Chamerion angustifolium* (L.) Scop., *Luzula pilosa* (L.) Willd., *Agrostis gigantea* Roth. Папоротники, плауны и лишайники в живом напочвенном покрове встречались редко или единично (менее 1 %).

Для определения запасов фитомассы в экспериментальных культурах использован метод модельных деревьев [2, 12, 13, 26]. Отбор моделей пропорционально представительству, по одному среднему из каждой ступени толщины, является наиболее надежным [2]. Взятие 10 моделей на пробной площади сосновых культур обеспечивает достаточно точное выравнивание методом наименьших квадратов [14]. На 6 рядовых делянках проведен пересчет деревьев по 2-сантиметровым ступеням тощины (182 дерева сосны скрученной и 103 дерева сосны обыкновенной). В средней ступени толщины брали по две модели, в ступенях толщины 4, 8 и 10 см – по одной. Отобрано и проанализировано 10 модельных деревьев, в т. ч. 5 деревьев сосны скрученной и 5 – сосны обыкновенной. Отбор модельных деревьев для определения фитомассы произведен следующим образом: дерево спиливали на уровне корневой шейки, затем фиксировали его общую длину, диаметр ствола, расстояние от среза до 1-й сухой и 1-й живой ветвей, протяженность кроны [13]. После этого с дерева обрубали все ветви и взвешивали их вместе с хвоей, при этом с каждой части кроны отбирали по 2 ветви для последующих измерений. Ствол разделяли на 3–4 части в зависимости от высоты, взвешивали и от каждой его части выпиливали кружки для установления влажности. Образцы фракции фитомассы каждого модельного дерева высушивали при температуре 105 °С до абсолютно сухого состояния [13].

Регрессионные модели строили на основе аллометрического (степенного) уравнения [8] вида  $y = ad^b$  (где  $y$  – абсолютно сухой вес дерева или его фракции, кг;  $d$  – диаметр дерева, см;  $a$  и  $b$  – коэффициенты регрессии). Коэффициенты регрессии находили при помощи линейной модели от логарифмированных зна-

чений, поэтому коэффициент  $a$  домножался на поправку Баскервиля [20] вида  $\exp(\text{RSE}^2/2)$  (RSE – стандартная ошибка остатков регрессии). Расчеты моделей и визуализацию результатов проводили в программе R 3.5.1 [10].

Данные по фитомассе представлены на одно модельное дерево в килограммах и для всего насаждения – в тоннах на гектар абсолютно сухого вещества и в свежесрубленном состоянии. Запас фитомассы рассчитан на основе фактических данных, полученных для модельных деревьев. Сохранность культур в 12-летнем возрасте составила 80 и 88 % для сосны обыкновенной и сосны скрученной соответственно. Для корректной сравнительной оценки общей надземной фитомассы исследуемых пород густоту насаждения принимали равной 2 тыс. шт./га. Показатели влажности и содержания абсолютно сухого вещества фракций фитомассы приведены с ошибкой среднего значения.

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

Содержание влаги в отдельных фракциях древостоя является важным показателем, необходимым для оценки фитомассы древесных пород, и позволяет определить количество абсолютно сухого вещества в экспериментальных культурах. Влажность компонентов фитомассы сосны скрученной варьирует от 47 до 67 %, сосны обыкновенной – от 50 до 70 %. Различия между двумя исследуемыми породами по влажности древесины невелики (1–2 %) и статистически незначимы –  $p < 0,05$  (рис. 1). Влажность коры и ветвей сосны обыкновенной статистически значимо выше ( $p < 0,05$ ), чем у сосны скрученной.

Влажность хвои для сосны обыкновенной изменяется от 51 до 64 %, для сосны скрученной – от 52 до 61 %. Довольно близкие значения приводятся для хвои сосны обыкновенной в среднетаежных сосняках Республики Коми – от 45 до 62 % [4]. Более низкие показатели получены в Архангельской области: влажность хвои сосны скрученной – от 52 до 56 %, сосны обыкновенной – от 47 до 53 % [18]. Хвоя текущего года у обеих пород имеет влажность выше, чем хвоя последующих лет. Схожая тенденция наблюдалась и другими исследователями в таежной зоне, что объясняется повышенной интенсивностью протекания метаболических процессов в хвое 1-го года [5, 18]. Влажность хвои сосны скрученной разного возраста на 1–3 % превосходит влажность сосны обыкновенной (рис. 1), это согласуется с результатами других исследователей [17]. В культурах Архангельской области для хвои текущего года и 3–4-летней хвои сосны скрученной наблюдалась более высокая влажность по сравнению с хвоей сосны обыкновенной [17]. Согласно данным [17], влажность хвои 1-го года для обеих пород приблизительно одинакова, а для хвои сосны обыкновенной 2-го года – немного выше, чем для сосны скрученной.

Содержание абсолютно сухого вещества исследуемых компонентов фитомассы изменяется от 30 до 69 % (табл. 1). При этом для большинства фракций фитомассы сосны скрученной оно выше, чем для сосны обыкновенной (в среднем на 5 %). Довольно близкие данные приводятся для содержания абсолютно сухого вещества в хвое (46–47 %) и побегах (48–55 %) сосны обыкновенной в культурах Архангельской области [3]. Корреляционный анализ не выявил связи между диаметром ствола и содержанием абсолютно сухого вещества в компонентах фитомассы, что соответствует литературным данным для сосны обыкновенной [3].

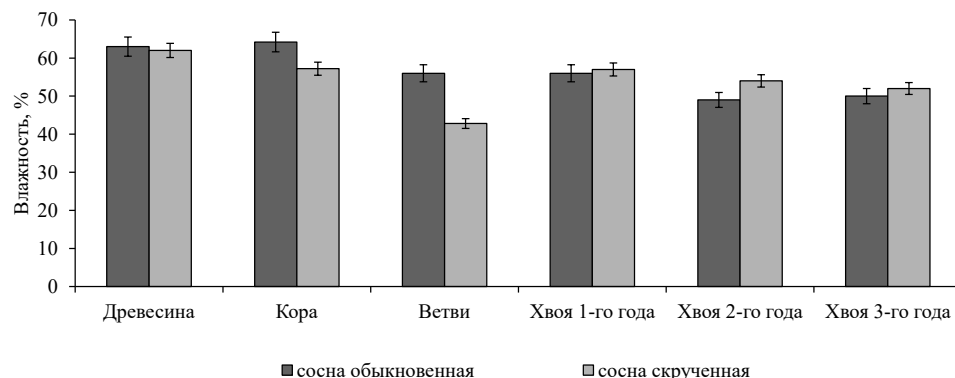


Рис. 1. Влажность компонентов фитомассы сосны обыкновенной и сосны скрученной

Fig. 1. Moisture content of phytomass components of Scots pine and lodgepole pine trees

Таблица 1

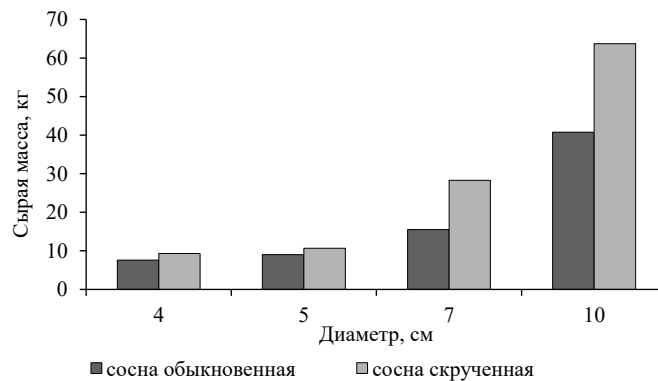
**Содержание (%) абсолютно сухого вещества в сырой массе фракций сосны обыкновенной и сосны скрученной в зависимости от диаметра ствола**  
**Content (%) of absolutely dry matter in the raw mass of fractions of Scots and lodgepole pine depending on trunk diameter**

Диаметр ствола на высоте 1,3 м, см	Фракция фитомассы					Среднее
	Хвоя	Охвоенные побеги	Неохвоенные побеги	Древесина	Кора	
<i>Сосна обыкновенная</i>						
4	50±2	39±1	35±1	44±1	33±1	40±5
5	49±6	40±1	47±2	37±1	42±2	43±4
6	42±3	37±1	41±2	33±1	30±1	37±4
7	47±2	40±1	47±3	37±1	35±2	41±5
10	52±3	45±2	50±3	34±1	39±2	44±6
Среднее	48±3	40±2	44±5	37±3	36±4	41±2
<i>Сосна скрученная</i>						
4	46±2	43±1	52±2	41±1	43±2	45±3
5	52±2	43±1	69±4	42±2	45±2	50±8
7	45±1	43±1	46±3	33±1	44±1	42±4
8	44±2	43±1	66±3	40±1	39±1	46±7
10	44±2	44±2	53±2	37±1	43±1	44±4
Среднее	47±2	43±1	57±8	39±3	43±2	46±2

Масса модельных деревьев в сыром состоянии в зависимости от диаметра ствола для сосны обыкновенной изменяется от 7,6 до 40,8 кг, сосны скрученной – от 9,3 до 63,7 кг (рис. 2). То есть масса деревьев сосны скрученной при близких значениях диаметра ствола выше, чем у сосны обыкновенной. Это различие составляет от 18 до 45 % от сырой массы в зависимости от диаметра. Можно предположить, что с увеличением диаметра ствола масса сосны скрученной в свежесрубленном состоянии возрастает более интенсивно, чем масса сосны обыкновенной. Сырораствующая масса модельных деревьев обеих пород при диаметре ствола до 5 см повышается в 1,2 раза, а более 5 см – в 1,6–1,8 раза.

Рис. 2. Сырораствующая масса модельных деревьев сосны обыкновенной и сосны скрученной

Fig. 2. Raw-growing mass of Scots pine and lodgepole pine model trees



Масса абсолютно сухого вещества модельных деревьев сосны обыкновенной с увеличением диаметра ствола возрастает от 3 до 17 кг, сосны скрученной – от 4 до 27 кг (табл. 2). По мере роста диаметра ствола модельного дерева масса практически всех компонентов фитомассы обеих пород повышается. Исключение составляют сухие сучья, для которых не наблюдается увеличения массы по мере возрастания диаметра. Это связано с тем, что сухие ветви формируются по достижении определенного запаса и накапливаются постепенно [2]. В стволовой древесине исследуемых модельных деревьев аккумулируется 30...52 %, в коре – 4...8 %, в хвое – 14...32 %, ветвях – 16...39 % от общей массы дерева (табл. 2). С увеличением диаметра стволов модельных деревьев соотношение компонентов фитомассы меняется. Так, у модельных деревьев сосны обыкновенной с диаметром ствола 6 см стволовая древесина составляет 50 %, с диаметром 10 см – 26 % от общей массы дерева. Для модельных деревьев обоих видов с диаметром ствола 10 см характерен рост доли ветвей и снижение доли стволовой древесины в общей массе дерева. Доля абсолютно сухого вещества одного дерева в пределах одной ступени толщины у сосны скрученной выше, чем у сосны обыкновенной, на 34–37 %. Например, масса модельных деревьев диаметром 10 см у сосны скрученной составляет 27,26 кг, у сосны обыкновенной – 17,26 кг а.с.в. (табл. 2). Доля участия отдельных компонентов в фитомассе одного дерева у сосны скрученной и сосны обыкновенной несколько различается. Для модельного дерева сосны скрученной диаметром 10 см характерна более высокая доля стволовой древесины (38 %) по сравнению с сосной обыкновенной (26 %). Масса сухих сучьев у модельных деревьев сосны скрученной значительно меньше, чем у сосны обыкновенной, и не превышает 2 % от массы дерева.

Согласно исследованиям зарубежных авторов, средняя масса модельного дерева сосны скрученной с диаметром ствола 7,0 см в северной Швеции составляет 10,4 кг [22], в северной Канаде – 11,5 кг [24], при диаметре 9,2 см в условиях Швеции – 15,6 кг а.с.в. [19], что согласуется с нашими данными (табл. 2).

Проведенный регрессионный анализ показал хорошую сходимость аллометрической модели  $y = ad^b$  с фактическими измерениями. Все полученные регрессионные коэффициенты являются статистически значимыми, а коэффициенты детерминации моделей ( $R^2$ ) колеблются в пределах 0,81–0,96 (табл. 3). Исключение составляет масса сухих ветвей, для которой построенные модели оказались статистически незначимыми по обоим видам сосны.

Таблица 2

**Распределение надземной фитомассы по фракциям в модельных деревьях  
сосны обыкновенной и сосны скрученной**  
**Distribution of aboveground phytomass by fractions in model trees of Scots pine and  
lodgepole pine, kg of absolutely dry matter**

Фитомасса по фракциям, кг а.с.в.								Всего живой фитомассы, кг а.с.в.	Итого, кг а.с.в.
Диаметр на высоте 1,3 м, см	Высота, м	Длина кроны, м	Хвоя	Ветви	Древе- сина	Кора	Сухие сучья		
<i>Сосна обыкновенная</i>									
4	4,1	3,1	0,63	0,43	1,37	0,19	0,01	2,62	2,63
5	4,5	3,8	0,54	1,13	1,50	0,30	0,28	3,47	3,75
6	4,8	3,5	0,61	0,60	1,47	0,18	0,22	2,86	3,08
7	5,1	4,1	0,86	1,49	3,10	0,39	0,35	5,84	6,19
10	5,5	4,7	5,55	6,08	4,50	0,81	0,32	16,94	17,26
<i>Сосна скрученная</i>									
4	4,6	4,1	1,01	0,92	1,80	0,26	0,01	3,99	4,00
5	4,5	4,4	1,09	1,22	2,23	0,27	0,01	4,81	4,82
7	5,4	4,2	3,58	2,83	4,04	0,60	0,09	11,05	11,14
8	6,5	5,3	3,13	3,89	7,64	0,74	0	15,40	15,40
10	7,2	6,7	4,84	10,73	10,29	1,16	0,24	27,02	27,26

Следует отметить, что в аллометрических уравнениях наряду с диаметром ствола используется высота дерева [2]. По нашим данным, между этими показателями существует четко выраженная прямая зависимость. Коэффициент корреляции составил  $r = 0,89$  ( $p = 0,042$ ) для сосны обыкновенной и  $r = 0,88$  ( $p = 0,047$ ) для сосны скрученной. Таким образом, одновременное использование в моделях обоих параметров является избыточным, и мы взяли только один из них – диаметр ствола.

Сравнение коэффициентов регрессии анализируемых пород показало большую скорость роста сосны скрученной по сравнению с сосной обыкновенной как для общей фитомассы, так и для ее отдельных компонентов (рис. 3). Для всех компонентов фитомассы построенные модели являются статистически значимыми, за исключением связи с массой сухих сучьев. Для них зависимость от диаметра ствола не обнаружена.

Фитомасса сосны в свежесрубленном состоянии на исследуемом участке экспериментальных культур к 15-летнему возрасту составляет для сосны обыкновенной – 21 т/га, для сосны скрученной – 32 т/га сырого веса. Надземная фитомасса 15-летних культур сосны обыкновенной в условиях средней тайги Архангельской области – 22 т/га сырого веса [3].

Общая надземная фитомасса деревьев исследуемых экспериментальных культур в абсолютно сухом состоянии составляет для сосны обыкновенной – 8,1 т/га а.с.в., для сосны скрученной – 12,5 т/га а.с.в. Структура надземной фитомассы для обеих пород довольно схожа: на долю стволовой древесины приходится 42–44 %, ветвей – 25–27 %, коры – 6–7 % от общих запасов фитомассы. В условиях южной тайги Архангельской области для 13-летних культур сосны обыкновенной соотношение этих компонентов фитомассы – 37, 14 и 10 % соответственно [1]. Доля участия хвои в формировании надземной фитомассы сосны скрученной – 25 % от общих запасов фитомассы, что на 6 % выше, чем у сосны обыкновенной.



Таблица 3

**Коэффициенты аллометрического уравнения и описание модели зависимости общей надземной фитомассы деревьев и ее компонентов (а.с.в.) от диаметра ствола для сосны обыкновенной и сосны скрученной**  
**Coefficients of the allometric equation and model description of dependence of total aboveground phytomass of trees and its components (absolutely dry matter) on trunk diameter for Scots pine and lodgepole pine**

Сосна	Описание						
	коэффициента уравнения				модели		
	Коэффициент	Значение	t-критерий	p-уровень	F-критерий	R <sup>2</sup>	p-уровень
<i>Общая надземная фитомасса</i>							
Обыкновенная	<i>a</i>	0,051*	4,228	0,024	42,387	0,934	0,007
	<i>b</i>	2,578**	6,511	0,007			
Скрученная	<i>a</i>	0,075*	4,692	0,018	79,006	0,963	0,003
	<i>b</i>	2,556**	8,889	0,003			
<i>Хвоя</i>							
Обыкновенная	<i>a</i>	0,003*	5,640	0,011	32,461	0,915	0,011
	<i>b</i>	3,232*	5,697	0,011			
Скрученная	<i>a</i>	0,036*	3,628	0,036	20,749	0,874	0,020
	<i>b</i>	2,193*	4,555	0,020			
<i>Ветви</i>							
Обыкновенная	<i>a</i>	0,004*	4,559	0,020	22,688	0,883	0,018
	<i>b</i>	3,345*	4,763	0,018			
Скрученная	<i>a</i>	0,008*	5,030	0,015	37,237	0,925	0,009
	<i>b</i>	3,063**	6,102	0,009			
<i>Стволовая древесина</i>							
Обыкновенная	<i>a</i>	0,107*	2,882	0,063	15,013	0,833	0,030
	<i>b</i>	1,701*	3,875	0,030			
Скрученная	<i>a</i>	0,041**	7,257	0,005	112,529	0,974	0,002
	<i>b</i>	2,426**	10,608	0,002			
<i>Кора</i>							
Обыкновенная	<i>a</i>	0,011*	4,741	0,018	12,831	0,811	0,037
	<i>b</i>	1,917*	3,582	0,037			
Скрученная	<i>a</i>	0,010**	7,868	0,004	46,224	0,939	0,007
	<i>b</i>	2,055**	6,799	0,007			
<i>Сухие сучья</i>							
Обыкновенная	<i>a</i>	0,002	1,586	0,211	1,372	0,314	0,326
	<i>b</i>	2,939	1,172	0,326			
Скрученная	<i>a</i>	0,013	0,957	0,409	0,186	0,058	0,695
	<i>b</i>	1,685	0,432	0,695			

\*, \*\* Коэффициенты, статистически значимые на уровне  $p < 0,05$  и  $p < 0,01$  соответственно.

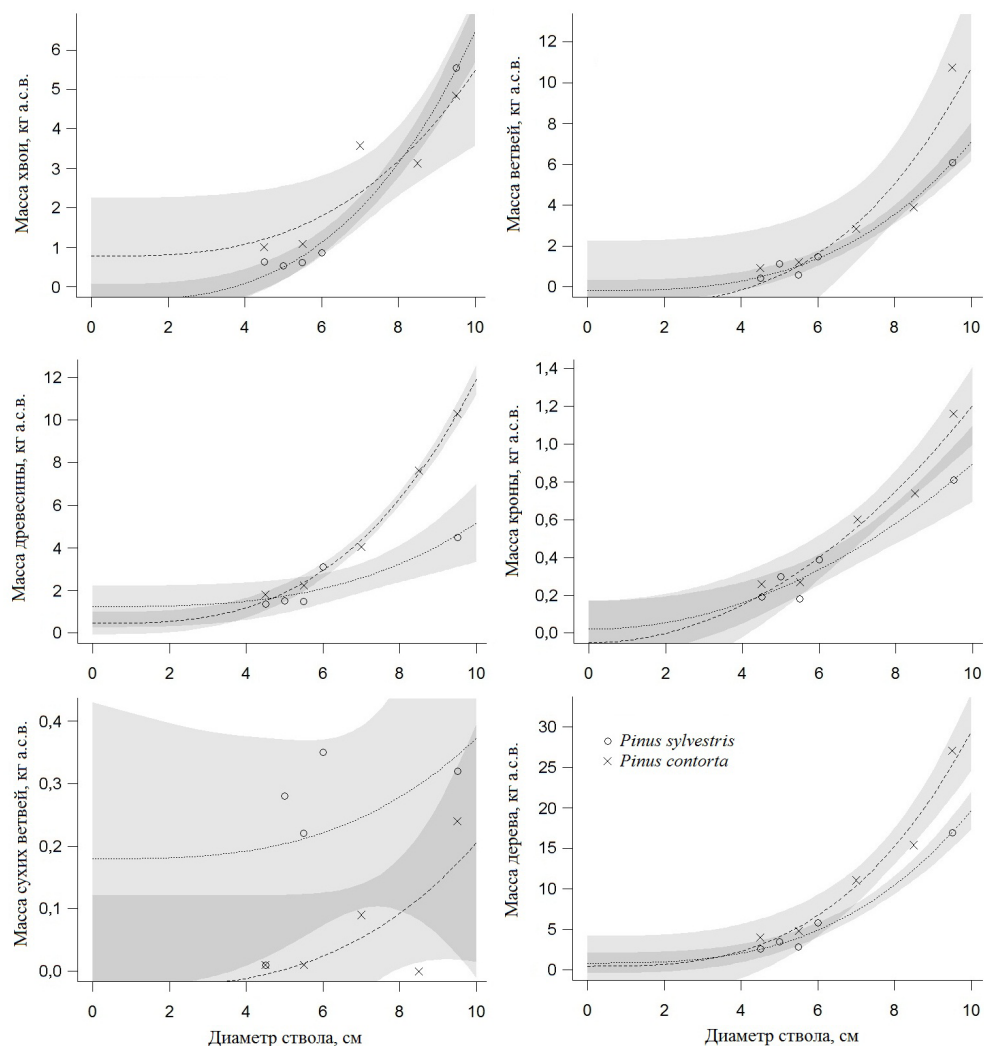


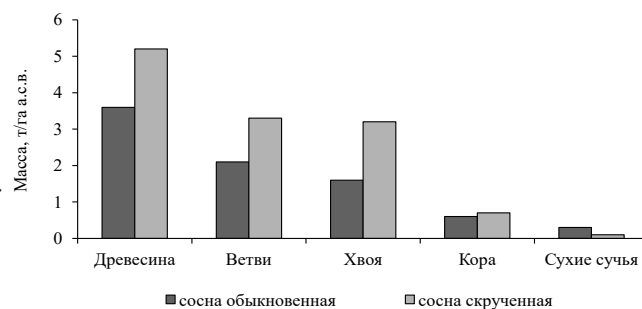
Рис. 3. Зависимость общей надземной фитомассы и ее компонентов от диаметра ствола для модельных деревьев сосны обыкновенной и сосны скрученной

Fig. 3. Dependence of total above-ground phytomass and its components on diameter for model trees of Scots pine and lodgepole pine

Масса почти всех компонентов надземной фитомассы сосны скрученной, за исключением сухих сучьев, на 20–50 % выше, чем у сосны обыкновенной (рис. 4). При этом масса стволовой древесины у сосны скрученной выше, чем у сосны обыкновенной, на 31 %. Это согласуется с данными ряда исследователей по объему ствола: сосна скрученная опережает сосну обыкновенную на 17–38 % [11, 15, 21]. Таким образом, сосна скрученная по запасам общей надземной фитомассы и ряду показателей превосходит сосну обыкновенную.

Рис. 4. Масса компонентов надземной фитомассы сосны обыкновенной и сосны скрученной, т/га а.с.в.

Fig. 4. Weight of components of aboveground phytomass of the studied species, t/ha of absolutely dry matter



### Выводы

1. Установлено, что надземная фитомасса сосны скрученной на участке экспериментальных культур в Сыктывкарском лесничестве Республики Коми при густоте посадки 2,5 тыс. шт./га составляет 12,5 т/га а.с.в., что в 1,5 раза больше, чем у сосны обыкновенной.

2. Превышение сосны скрученной над сосной обыкновенной по компонентам фитомассы составляет: для древесины – 31 %, для коры – 19 %, для хвои – 51 % и для ветвей – 39 %.

3. Построены регрессионные модели зависимости каждого компонента фитомассы сосны скрученной и сосны обыкновенной от диаметра дерева.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Бабич Н.А., Клевцов Д.Н., Евдокимов И.В. Зональные закономерности изменения фитомассы культур сосны: моногр. Архангельск: САФУ, 2010. 140 с.

Babich N.A., Klevtsov D.N., Evdokimov I.V. *Zonal Patterns of Changes in the Phytomass of Pine Plantations*. Arkhangelsk, Northern (Arctic) Federal University Publ., 2010. 140 p. (In Russ.).

2. Бабич Н.А., Мерзленко М.Д. Биологическая продуктивность лесных культур. Архангельск: АГТУ, 1998. 89 с.

Babich N.A., Merzlenko M.D. *Biological Productivity of Forest Plantations*. Arkhangelsk, AGTU Publ, 1998. 89 p. (In Russ.).

3. Бабич Н.А., Мерзленко М.Д., Евдокимов И.В. Фитомасса культур сосны и ели в Европейской части России. Архангельск, 2004. 112 с.

Babich N.A., Merzlenko M.D., Evdokimov I.V. *Phytomass of Pine and Spruce Plantations in the European Part of Russia*. Arkhangelsk, 2004. 112 p. (In Russ.).

4. Бобкова К.С., Галенко Э.П., Забоева И.В., Торлопова Н.В., Ивасишина Н.А., Кузин С.Н., Мартынюк З.П., Загирова С.В., Тужилкина В.В., Робакидзе Е.А., Сенькина С.Н., Мазура Н.С., Куприянова Е.Б., Мелехина Е.Н. Биопродукционный процесс в лесных экосистемах Севера / отв. ред. К.С. Бобкова, Э.П. Галенко; УрО РАН. Урал. отд-ние. КомиНЦ. Ин-т биологии. СПб.: Наука, 2001. 278 с.

Bobkova K.S., Galenko E.P., Zaboieva I.V., Torlopova N.V., Ivasishina N.A., Kuzin S.N., Martinuk Z.P., Zagirova S.V., Tuzhilkina V.V., Robakidze E.A., Senkina S.N., Mazura N.S., Kupriyanova E.B., Melekhina E.N. *Bioproduction Process in the Forest Ecosystems of the North*. Saint Petersburg, Nauka Publ., 2001. 278 p. (In Russ.).

5. Гутый Л.Н., Федорков А.Л. Экспериментальные культуры сосны скрученной в Сыктывкарском лесничестве Республики Коми // Изв. вузов. Лесн. журн. 2016. № 1. С. 48–54.

Gytyy L.N., Fedorkov A.L. Experimental Plantations of Longepole Pine in the Syktvykar Forestry in the Komi Republic. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2016, no. 1, pp. 48–54. (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2016.1.48>

6. Демидова Н.А., Дуркина Т.М., Гоголева Л.Г., Демиденко С.А., Быков Ю.С., Парамонов А.А. Рост и развитие сосны скрученной (*Pinus contorta* Loud. var. *latifolia* S. Wats) в условиях северной тайги // Тр. СПбНИИЛХ. 2016. № 2. С. 45–59.

Demidova N.A., Durkina T.M., Gogoleva L.G., Demidenko S.A., Bykov Yu.S., Paramonov A.A. Growth, and Development of a Lodgepole Pine (*Pinus contorta* Loud. Var *latifolia* S. Wats) in the Northern Boreal Forest. *Proceedings of the Saint Petersburg Forestry Research Institute*, 2016, no. 2, pp. 45–59. (In Russ.). <https://doi.org/10.21178/2079-6080.2016.2.42>

7. Дроздов Ю.И. Сосна скрученная в культурах европейской части России // Лесхоз. информ. 2002. № 9. С. 21–23.

Drozдов Yu.I. Lodgepole Pine Plantations in the Cultures of the European part of Russia. *Forestry Information*, 2002, no. 9, pp. 21–23. (In Russ.).

8. Кофман Г.Б. Рост и форма деревьев. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986. 211 с. Kofman G.B. *Growth and Shape of Trees*. Novosibirsk, Nauka Publ., 1986. 211 p. (In Russ.).

9. Мелехов И.С. Интродукция хвойных в лесном хозяйстве // Лесоведение. 1984. № 6. С. 72–78.

Melekhov I.S. Introduction of Coniferous Trees in Forestry. *Lesovedenie* = Russian Journal of Forest Science, 1984, no. 6, pp. 72–78. (In Russ.).

10. Москалев А.А., Новаковский А.Б. Статистические методы в экологии с использованием R, Statistica, Excel и SPSS. Сыктывкар: СыктГУ, 2014. 197 с.

Moskalev A.A., Novakovsky A.B. *Statistical Methods in Ecology using R, Statistica, Excel and SPSS*. Syktyvkar, SSU Publ., 2014. 197 p. (In Russ.).

11. Раевский Б.В., Пеккоев А.Н. Перспективы выращивания сосны скрученной в Южной Карелии // Инновации и технологии в лесном хозяйстве – 2013: материалы III междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 22–24 мая 2013 г. СПб., 2013. Ч. 2. С. 180–190.

Raevsky B.V., Pekkoiev A.N. Prospects for Growing Lodgepole Pine in Southern Karelia. *Innovations and Technologies in Forestry–2013: Materials of the III International Conference Scientific and Practical conference*. Saint Peterburg, 2013. Part 2, pp. 180–190. (In Russ.).

12. 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 Forests of Northern Eurasia: Methods, Database and its Applications*. Ekaterinburg, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2007. 636 p. (In Russ.).

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

Usoltsev V.A., Zalesov S.V. *Methods for Determining the Biological Productivity of Plantings*. Yekaterinburg, USFU Publ., 2005. 147 p. (In Russ.).

14. Уткин А.И., Ифанова М.Г., Ермолова Л.С. Первичная биологическая продуктивность культур сосны обыкновенной во Владимирской области // Лесоведение. 1981. № 4. С. 19–27.

Utkin A.I., Ifanova M.G., Ermolova L.S. Primary Biological Productivity of Common Pine Plantations in the Vladimir Region. *Lesovedenie* = Russian Journal of Forest Science, 1981, no. 4, pp. 19–27. (In Russ.).

15. Федорков А.Л., Гутий Л.Н. Состояние экспериментальных культур сосны скрученной в Республике Коми // Вестн. Ин-та биологии КомиНЦ УрО РАН. 2017. № 2(200). С. 25–31.

Fedorkov A.L., Gutiy L.N. The State of Experimental Plantations of Lodgepole Pine in the Komi Republic. *Vestnik instituta biologii Komi nauchnogo centra Ural'skogo otdeleniya Rossijskoj Akademii Nauk* = Bulletin of Institute of biology of the Komi Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2017, no. 2, pp. 25–31. (In Russ.). [https://doi.org/10.31140/j.vestnikib.2017.2\(200\).5](https://doi.org/10.31140/j.vestnikib.2017.2(200).5)

16. Федорков А.Л., Туркин А.А. Экспериментальные культуры сосны скрученной в Республике Коми // Лесоведение. 2010. № 1. С. 70–74.
- Fedorov A.L., Turkin A.A. Experimental Plantations of Lodgepole Pine in the Komi Republic. *Lesovedenie* = Russian Journal of Forest Science, 2010, no. 1, pp. 70–74. (In Russ.).
17. Феклистов П.А., Бiryukov С.Ю., Федяев А.Л. Сравнительные эколого-биологические особенности сосны скрученной и обыкновенной в северной подзоне европейской тайги. Архангельск: АГТУ, 2008. 118 с.
- 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, AGTU Publ., 2008. 118 p. (In Russ.).
18. Элайс Т.С. Североамериканские деревья: определитель / пер. с англ. Е.И. Рузановской; под ред. И.Ю. Коропачинского. Новосибирск: Гео, 2014. 959 с.
- Elais T.S. *North American trees: Determinant*. Novosibirsk, Geo Publ., 2014. 959 p. (In Russ.).
19. Backlund I., Bergsten U. Biomass Production of Dense Direct-Seeded Longepole Pine (*Pinus contorta*) at Short Rotation Periods. *Silva Fennica*, 2012, vol. 46, no. 4, pp. 609–623. <https://doi.org/10.14214/sf.914>
20. Baskerville G.L. Use of Logarithmic Regression in the Estimation of Plant Biomass. *Canadian Journal of Forest Research*, 1972, vol. 2, no. 1, pp. 49–53. <https://doi.org/10.1139/x72-009>
21. Elfving B., Ericsson T., Rosvall O. The Introduction of Lodgepole Pine for Wood Production in Sweden – a Review. *Forest Ecology and Management*, 2001, vol. 141, iss. 1-2, pp. 15–29. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00485-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00485-0)
22. Elfving B., Ulvcrona K.A., Egnell G. Biomass Equations for Lodgepole Pine in Northern Sweden. *Canadian Journal of Forest Research*, 2017, vol. 47, no. 1, pp. 89–96. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2016-0131>
23. 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. 10 p. <https://doi.org/10.14214/sf.1692>
24. Manning G.N., Massie M.R.C., Rudd J. Metric Single-Tree Weight Tables for the Yukon Territory. *Environment Canada, Canadian Forestry Service, Pacific Forest Research Centre*, Victoria, B.C., Inf. Rep. BC-X-250. 1984. 170 p.
25. Nilsson P., Cory N. Skogsdata, Aktuella Uppgifter om de Svenska Skogarna från Riksskogstaxeringen. *Forestry Statistics, Umeå, Sveriges Lantbruksuniversitet*, 2010. 119 p. (In Swedish).
26. Repola J. Biomass Equations for Scots Pine and Norway Spruce in Finland. *Silva Fennica*, 2009, vol. 43, no. 4, pp. 605–624. <https://doi.org/10.14214/sf.184>
27. Varmola M., Salminen H., Rikala R., Kerkela M. Survival and Early Development of Lodgepole pine. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2000, vol. 15, iss. 4, pp. 410–423. <https://doi.org/10.1080/028275800750172619>
28. Zhigunov A.V., Butenko O.Y. Estimating the Growth of 20-to 26-year-old Lodgepole Pine Plantations in the Leningrad Region of Russia. *Folia Forestalia Polonica*, 2019, vol. 61, iss. 1, pp. 58–63.

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