



DOI: 10.21178/2079–6080.2025.3.65
УДК 582.475.1:581.456 (470.13–924.82)

Морфологическая характеристика хвои сосны скрученной и сосны обыкновенной в экспериментальных культурах Республики Коми

© С.Н. Плюснина, Т.А. Пристова, Р.Г. Гуляев

Morphological characteristics of lodgepole pine and Scots pine needles in experimental plantations of the Komi Republic

S.N. Plyusnina, T.A. Pristova, R.G. Gulyaev (Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences)

Studies were carried out in five 20-year experimental plantations of lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl.) on the territory of the Komi Republic. The plantations were planted as 1–2-year-old seedlings with a closed root system in 2004–2007 in forest cultivation areas of various origins: quarries, agricultural lands, pine and spruce clearings. The source material was six forest seed plantations established on a geographical basis in Sweden, using seed progeny of plus trees selected in Canada. Locally-origin Scots pine seedlings were used for control. The following parameters of the needles were assessed: lifespan, dry weight, length, width, thickness, surface area, surface density, dry matter content. It was revealed that, depending on forest conditions, the life expectancy of needles in experimental cultures in the middle taiga subzone of the Komi Republic is 4–6 years for lodgepole pine, and 3–4 years for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). It is shown that, regardless of the origin of the forest-culture area, the needles of lodgepole pine on average statistically significantly ($p < 0.001$) surpassed the locally occurring Scots pine in absolute dry weight, length and surface area by 1.4 times. Interspecific differences in such indices as width and thickness of needles have no definite directionality. Dry matter content in needles of both species has no statistically significant differences. Age-related changes in needle mass were established. A positive correlation between the needle mass and the content of dry matter in it was shown. A number of determined indicators are influenced by forest conditions, and they are more pronounced in the Scotch pine than in the lodgepole pine.

Keywords: lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl.), Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), experimental plantations, needles, length, width, thickness, surface area and dry weight

Морфологическая характеристика хвои сосны скрученной и сосны обыкновенной в экспериментальных культурах в Республике Коми

С.Н. Плюснина, Т.А. Пристова, Р.Г. Гуляев

Проведены исследования 20-летних экспериментальных культур интродуцированного вида – сосны скрученной (*Pinus contorta* Dougl.) – на территории Республики Коми. Культуры высажены 1–2-летними сеянцами с закрытой корневой системой в 2004–2007 гг. на лесокультурных площадях различного происхождения: карьерах, землях сельхозпользования, сосновой и еловой вырубках. Исходным материалом послужили шесть лесосеменных плантаций, созданных по географическому принципу в Швеции, с использованием семенных потомств плюсовых деревьев, отобранных в Канаде. В качестве контроля использованы сеянцы сосны обыкновенной, с использованием семян местного происхождения. Проведена оценка следующих параметров хвои: продолжительность жизни, масса, длина, ширина, толщина, площадь поверхности, поверхностная плотность, содержание сухого вещества. Выявлено, что в зависимости от лесорастительных условий продолжительность жизни хвои в экспериментальных культурах в подзоне средней тайги Республики Коми составляет 4–6 лет у сосны скрученной, и 3–4 года – у сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Показано, что, независимо от происхождения лесокультурной площади, хвоя сосны скрученной в среднем статистически значимо ($p < 0,001$) превосходит сосну обыкновенную местного происхождения по массе, длине и площади поверхности примерно в 1,4 раза. Межвидовые отличия по таким показателям, как ширина и толщина хвои не имеют определенной направленности. Содержание сухого вещества в хвое у обеих пород не имеют статистически значимых различий. Установлены возрастные изменения массы хвои. Показана положительная корреляционная связь между массой хвои и содержанием в ней сухого вещества. На ряд определяемых показателей оказывают влияние лесорастительные условия, при этом у сосны обыкновенной они проявляются в большей степени, чем у сосны скрученной.

Ключевые слова: сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), сосна скрученная (*Pinus contorta* Dougl.), экспериментальные культуры, хвоя, морфометрические показатели хвои

Плюснина Светлана Николаевна – научный сотрудник, канд. биол. наук
E-mail: pljushnina@ib.komisc.ru

Пристова Татьяна Александровна – научный сотрудник, канд. биол. наук
E-mail: pristova@ib.komisc.ru

Гуляев Роман Геннадьевич – старший лаборант-исследователь
E-mail: gulyaev@ib.komisc.ru

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук

167000, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28

Введение

Восстановление хвойных насаждений после рубок – важнейшая задача лесного хозяйства. В последние годы Рослесхоз держит курс на увеличение доли искусственного лесовосстановления. В Республике Коми в 2022 г. объемы создания лесных культур увеличены до 3,5 тыс. га [5]. Модель интенсивного использования и воспроизводства лесов, которая внедряется в настоящее время, предусматривает ускоренное выращивание древесины, в том числе за счёт введения быстрорастущих древесных пород. Для таёжной зоны РФ одной из таких пород является сосна скрученная (*Pinus contorta* Dougl.). Её естественный ареал находится в западной части Северной Америки [9, 27]. Согласно исследованиям, проведённым в Фенноскандии и таежной зоне европейской части России, сосна скрученная превосходит сосну обыкновенную (*Pinus sylvestris* L.) по скорости роста, производит больше надземной фитомассы [6, 13, 19, 21, 22, 23, 25, 26, 27]. При этом масса хвои у среднего дерева сосны скрученной в культурах превышает сосну обыкновенную в 1,5–2 раза, что обусловлено видоспецифичностью и особенностями ассимилирующих органов этой породы [12, 19, 21]. В культурах сосны скрученной и сосны обыкновенной морфометрические показатели хвои на европейском Севере изучены в Архангельской области [18], для Республики Коми исследования начаты недавно и опубликованы первые данные в рамках изучения межвидовых различий в структуре хвои интродуцированной и аборигенной пород на примере Сторожевского лесничества [11].

Целью работы является сравнительная оценка морфометрических показателей хвои сосны скрученной и сосны обыкновенной экспериментальных культурах сос-

ны скрученной, произрастающих в различных лесорастительных условиях на территории Республики Коми.

Объекты и методы исследования

В 2004–2007 гг. в Республике Коми была заложена серия экспериментальных культур сосны скрученной [17, 18]. Исходным материалом послужили 6 лесосеменных плантаций, созданных по географическому принципу в Швеции, с использованием семенных потомств плюсовых деревьев, отобранных в Канаде [23]. В качестве контроля использованы сеянцы сосны обыкновенной местного происхождения, которые выращивались в полиэтиленовой теплице вместе с сеянцами сосны скрученной, начиная от посева семян. Оба вида сосны были высажены 1–2-летними сеянцами с закрытой корневой системой на лесокультурных площадях разных категорий. Характеристика экспериментальных культур представлена в таблице 1.

Исследования проводили с 2021 по 2023 г. Для изучения ассимиляционного аппарата сосны скрученной и сосны обыкновенной с 10–15 деревьев на каждом участке срезали ветки из средней части кроны с южной стороны. На отобранных ветвях отделяли фракции хвои по возрасту. Затем из них отбирали по 20 хвоинок и измеряли линейкой длину хвои ($n \geq 200$) с точностью до 0,5 мм. Измерения проводили для каждого возраста хвои отдельно для пород и исследуемых участков. Далее составляли смешанную пробу, отбирая по 30 хвоинок каждой возрастной фракции, у которых сначала измеряли длину, а затем на поперечных срезах от центра хвоинки, под оптическим микроскопом Axiovert 200 M (Carl Zeiss, Германия) определяли толщину и ширину (рис. А) с применением программы ZEN 2011 (Carl Zeiss, Германия).

Таблица 1

Характеристика экспериментальных культур сосны скрученной на территории Республики Коми

Характеристика объектов	Участковое лесничество (лесничество)				
	Подъельское (Сторожевское)	Койгородское (Койгородское)	Городское (Ухтинское)	Краснозатонское (Сыктывкарское)	Сыктывкарское (Сыктывкарское)
№ участка	1	2	3	4	5
Год закладки	2004	2004	2004	2006	2007
Площадь, га	1,8	0,9	2,0	1,1	1,1
Размещение, м	2,0 × 2,0	2,0 × 1,5	2,5 × 2,0	3,0 × 1,0	3,0 × 1,0
Посадочный материал	1-летние сеянцы	1-летние сеянцы	1-летние сеянцы	2-летние сеянцы	2-летние сеянцы
Категория участка	С/х пользование	Карьер	Карьер	Вырубка (сосновая)	Вырубка (еловая)
Координаты	61°53' с. ш. 52°45' в. д.	60°20'21 с. ш. 51°30'51 в. д.	63°62' с. ш. 53°79' в. д.	61°40' с. ш. 51°03' в. д.	61°39' с. ш. 50°41' в. д.
Почва	Постагро-генная серогумусовая	Флювиогляциальные пески и супеси	Флювиогляциальные пески и супеси	Иллювиально-железистый подзол	Типичная подзолистая на двучленных отложениях
Исходный тип насаждения	Сосняк лишайниковый	Сосняк брусничный	Сосняк лишайниковый	Сосняк бруснично-лишайниковый	Ельник кисличный

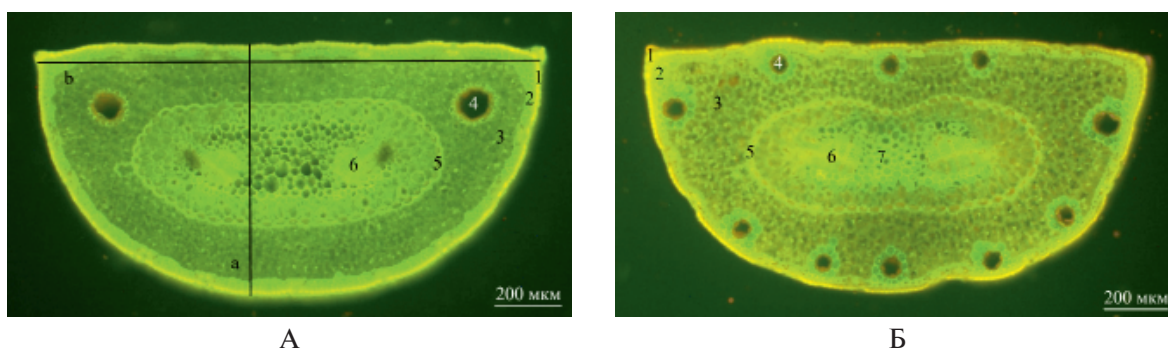


Рис. Поперечный срез хвои сосны скрученной (А) и сосны обыкновенной (Б):
 1 – эпидерма, 2 – гиподерма, 3 – мезофилл, 4 – смоляной ход, 5 – эндодерма,
 6 – проводящий пучок, 7 – межпучковая склеренхима;
 а – толщина хвоинки; б – ширина хвоинки

Полученные данные по параметрам хвоинок использовали для определения их площадей поверхности ($n = 30$) по формуле [2]:

$$S = 5,14 \times l \times \left(\frac{a}{2} + \frac{b}{4} \right),$$

где S – площадь поверхности хвоинки, мм²; a – толщина хвоинки, мм; l – длина хвоинки, мм; b – ширина хвоинки, мм.

С побегов разных возрастных фракций у каждого дерева отбирали по 10 хвоинок по отдельным возрастным фракциям и взвешивали их на электронных весах с точностью 0,001 г ($n = 200$). Затем хвоинки сушили при температуре 105 °С до состояния абсолютно сухого вещества (а.с.в.) и снова взвешивали. Полученные данные использовали для определения содержания абсолютно сухого вещества в одной хвоинке. Статистическая обработка полученных данных включала определение средней арифметической величины, ее стандартной ошибки и достоверности различий.

Результаты и их обсуждение

Продолжительность жизни хвои – важный диагностический признак, и его изменчивость для сосны сопряжена не только с положением побега в кроне и возрастом дерева, но и с географическим местоположением насаждения [10]. В пределах исследуемых экспериментальных культур в подзоне средней тайги продолжительность жизни хвои сосны обыкновенной составляет 3–4 года, сосны скрученной – 4–6 лет. В большинстве случаев в пределах одного участка хвоя сосны скрученной живет как минимум на год дольше, чем хвоя местной аборигенной сосны. Средние показатели продолжительности жизни хвои могут отличаться на участках различного происхождения. Так, у сосны скрученной в Сыктывкарском участковом лесничестве (исходный тип насаждения ельник кисличный) средняя продолжительность жизни

хвои составляет 3,9, а у сосны обыкновенной – 3,0 года; в Краснозатонском участковом лесничестве (исходный тип насаждения сосняк бруснично-лишайниковый) – 4,6 и 3,6 года соответственно. Согласно данным архангельских исследователей [19], в условиях подзоны северной тайги средняя продолжительность жизни хвои сосны скрученной составляет 4,9, сосны обыкновенной – 3,7 года. В естественных средне-таежных сосняках Республики Коми хвоя доживает до 4–6 лет [6].

Согласно полученным данным, длина хвоинки существенно варьирует: у сосны скрученной от 33 (Койгородское участковое лесничество) до 101 мм (Подъельское и Краснозатонское участковые лесничества), у сосны обыкновенной от 15 (Подъельское участковое лесничество) до 78 мм (Сыктывкарское участковое лесничество). Хвоя сосны скрученной по длине превышает сосну обыкновенную на разных объектах в 1,2–1,6 раза в ($p < 0,001$) (табл. 2).

Средние значения длины хвои в экспериментальных культурах у сосны скрученной варьируют от $56,2 \pm 0,8$ мм (Краснозатонское участковое лесничество) до $77,2 \pm 1,3$ мм (Городское участковое лесничество), сосны обыкновенной – от $39,9 \pm 0,8$ мм (Краснозатонское участковое лесничество) до $54,8 \pm 0,5$ мм (Городское участковое лесничество), коэффициент вариации для сосны скрученной составляет 13–14 %, для сосны обыкновенной – 8–16 %.

Усредненное значение длины хвои разного возраста на всех исследуемых культурах у сосны скрученной составляет $65,5 \pm 1,2$ ($Cv = 8,8$), у сосны обыкновенной – $46,5 \pm 1,2$ мм ($Cv = 10,7$). Таким образом, средняя для лесничеств длина хвои сосны скрученной в 1,4 раза выше, чем у сосны обыкновенной. Минимальные различия по этому признаку чаще отмечаются для Сыктывкарского участкового лесничества (см. табл. 2).

Таблица 2

Морфометрические показатели хвои сосны скрученной и сосны обыкновенной
на исследуемых объектах

Год жизни	Длина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм	Площадь поверхности, мм ²	Масса, мг а. с. в.	Содержание а. с. в., %
<i>Койгородское участковое лесничество</i>						
Сосна скрученная						
1	67,4 ± 0,5	1,59 ± 0,03	0,83 ± 0,02	283,0 ± 9,0	14,0 ± 1,1	36,8 ± 3,0
2	65,6 ± 0,8	1,52 ± 0,02	0,78 ± 0,02	288,9 ± 12,6	21,5 ± 2,1	47,3 ± 5,8
3	66,1 ± 0,8	1,64 ± 0,02	0,86 ± 0,01	302,1 ± 9,9	20,5 ± 0,6	47,1 ± 3,5
4	58,9 ± 0,7	1,73 ± 0,02	0,90 ± 0,01	282,7 ± 7,0	23,2 ± 3,2	47,9 ± 3,0
5	71,0 ± 0,8	1,68 ± 0,04	0,83 ± 0,01	319,6 ± 1,6	25,1 ± 4,0	49,0 ± 3,3
Среднее	65,8 ± 2,0	1,63 ± 0,04	0,84 ± 0,02	295,3 ± 7,0	20,9 ± 1,9	45,6 ± 2,2
Сосна обыкновенная						
1	46,7 ± 0,6 ³	1,58 ± 0,04	0,75 ± 0,02 ²	192,8 ± 7,3 ³	9,4 ± 0,8 ²	34,8 ± 2,5
2	43,0 ± 0,8 ³	1,51 ± 0,02	0,77 ± 0,01	209,3 ± 6,9 ³	12,7 ± 1,7 ²	49,0 ± 6,3
3	42,1 ± 0,6 ³	1,62 ± 0,03	0,78 ± 0,01 ³	215,1 ± 8,4 ³	15,8 ± 2,5	47,1 ± 0,1
Среднее	43,9 ± 1,4 ³	1,57 ± 0,03	0,77 ± 0,01 ¹	205,7 ± 6,7 ³	12,6 ± 1,8 ¹	43,6 ± 4,6
<i>Сытывкарское участковое лесничество</i>						
Сосна скрученная						
1	60,2 ± 0,7	1,50 ± 0,03	0,74 ± 0,01	230,5 ± 5,8	17,2 ± 1,3	42,5 ± 1,3
2	62,2 ± 0,8	1,44 ± 0,02	0,70 ± 0,01	227,0 ± 6,4	20,1 ± 1,0	43,8 ± 1,0
3	72,0 ± 1,0	1,55 ± 0,03	0,75 ± 0,02	282,2 ± 8,8	23,8 ± 1,0	45,6 ± 1,6
4	76,9 ± 1,0	1,71 ± 0,03	0,82 ± 0,01	331,0 ± 10,0	26,7 ± 1,0	47,9 ± 1,5
5	61,2 ± 0,9	1,66 ± 0,01	0,77 ± 0,01	251,7 ± 3,7	28,0 ± 1,2	48,9 ± 0,5
Среднее	66,5 ± 3,4	1,57 ± 0,05	0,76 ± 0,02	264,5 ± 19,3	23,2 ± 2,0	45,7 ± 1,2
Сосна обыкновенная						
1	50,2 ± 0,8 ³	1,64 ± 0,03 ³	0,74 ± 0,01	201,3 ± 6,4 ³	10,4 ± 0,9 ³	42,3 ± 2,2
2	52,8 ± 0,8 ³	1,63 ± 0,04 ³	0,75 ± 0,01 ²	212,4 ± 7,7	15,0 ± 1,4 ²	45,6 ± 1,5
3	54,4 ± 1,1 ³	1,62 ± 0,03 ³	0,77 ± 0,01	220,9 ± 7,9 ³	21,3 ± 1,8	47,5 ± 5,4
Среднее	52,5 ± 1,2 ³	1,63 ± 0,01	0,75 ± 0,01	211,5 ± 5,7	15,6 ± 3,2 ²	45,1 ± 1,5
<i>Краснозатонское участковое лесничество</i>						
Сосна скрученная						
1	59,9 ± 0,4	1,53 ± 0,02	0,79 ± 0,01	245,3 ± 5,0	13,8 ± 1,3	39,3 ± 0,7
2	68,1 ± 0,8	1,42 ± 0,02	0,73 ± 0,01	226,4 ± 3,9	18,4 ± 1,5	42,4 ± 1,2
3	56,2 ± 0,8	1,53 ± 0,02	0,79 ± 0,01	265,6 ± 7,5	23,0 ± 1,7	44,1 ± 0,6
4	66,1 ± 0,6	1,74 ± 0,02	0,86 ± 0,01	348,7 ± 6,6	25,7 ± 2,8	44,8 ± 1,4
5	73,7 ± 1,3	1,63 ± 0,02	0,84 ± 0,01	313,6 ± 6,3	24,9 ± 8,6	46,5 ± 2,0
Среднее	64,8 ± 3,1	1,57 ± 0,05	0,80 ± 0,02	279,9 ± 22,5	21,2 ± 2,2	43,4 ± 1,2

Год жизни	Длина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм	Площадь поверхности, мм ²	Масса, мг а. с. в.	Содержание а. с. в., %
<i>Сосна обыкновенная</i>						
1	44,4 ± 0,3 ³	1,48 ± 0,02	0,69 ± 0,01 ³	156,2 ± 3,3 ³	9,2 ± 0,2 ²	37,0±2,0
2	43,4 ± 0,5 ³	1,48 ± 0,02 ¹	0,67 ± 0,01 ³	148,4 ± 2,5 ³	9,2 ± 1,9 ³	43,7±4,7
3	39,9 ± 0,2 ³	1,48 ± 0,03	0,74 ± 0,01 ³	166,1 ± 4,7 ³	16,5 ± 2,2 ¹	42,8±2,1
Среднее	42,6 ± 1,4 ³	1,48 ± 0,02	0,70 ± 0,02 ³	156,9 ± 5,1 ³	11,6 ± 2,4 ¹	41,2±2,1
<i>Подбельское участковое лесничество</i>						
<i>Сосна скрученная</i>						
1	62,1 ± 0,4	1,37 ± 0,02	0,71 ± 0,01	236,6 ± 9,6	15,3 ± 0,9	37,8±3,0
2	61,3 ± 0,5	1,52 ± 0,01	0,78 ± 0,01	271,7 ± 11,4	19,6 ± 2,0	39,8±2,1
3	58,0 ± 0,6	1,56 ± 0,02	0,80 ± 0,01	233,0 ± 8,4	18,4 ± 1,3	42,6±1,7
Среднее	60,5 ± 1,3	1,48 ± 0,06	0,76 ± 0,03	247,1 ± 12,3	17,8 ± 1,3	40,1±1,4
<i>Сосна обыкновенная</i>						
1	38,5 ± 0,2 ³	1,34 ± 0,02	0,66 ± 0,01 ³	146,4 ± 4,2 ³	7,7 ± 0,4 ³	40,7±2,2
2	44,7 ± 0,2 ³	1,45 ± 0,01 ³	0,69 ± 0,01 ³	183,5 ± 6,0 ³	12,2 ± 0,7 ²	42,8±1,9
3	41,5 ± 0,2 ³	1,55 ± 0,02	0,75 ± 0,01 ²	174,3 ± 5,2 ³	11,8 ± 0,7 ³	44,0±2,3
Среднее	41,6 ± 1,8 ³	1,45 ± 0,06	0,70 ± 0,03	168,1 ± 11,2 ³	10,6 ± 1,4 ¹	42,5±1,0
<i>Городское участковое лесничество</i>						
<i>Сосна скрученная</i>						
1	64,8 ± 0,7	1,50 ± 0,02	0,77 ± 0,01	271,8 ± 6,7	15,7 ± 1,6	40,8±1,1
2	65,4 ± 0,8	1,56 ± 0,02	0,80 ± 0,01	280,7 ± 6,9	20,3 ± 1,4	43,5±1,3
3	67,1 ± 0,8	1,58 ± 0,03	0,81 ± 0,01	298,4 ± 10,7	24,9 ± 1,2	44,1±1,6
4	77,2 ± 1,3	1,77 ± 0,02	0,92 ± 0,01	359,2 ± 8,4	28,4 ± 1,7	46,0±5,5
5	64,3 ± 1,9	1,73 ± 0,01	0,86 ± 0,01	284,6 ± 7,5	23,4 ± 1,2	49,6±1,8
Среднее	67,8 ± 2,4	1,63 ± 0,05	0,83 ± 0,03	298,9 ± 15,7	22,5 ± 2,2	44,8±1,5
<i>Сосна обыкновенная</i>						
1	41,7 ± 0,5 ³	1,74 ± 0,04 ³	0,82 ± 0,02	198,4 ± 9,1 ³	10,2 ± 1,3 ¹	42,6±2,0
2	46,5 ± 0,4 ³	1,82 ± 0,03 ³	0,83 ± 0,01	214,5 ± 6,3 ³	15,6 ± 1,2 ¹	46,3±1,8
3	54,8 ± 0,5 ³	1,87 ± 0,03 ³	0,88 ± 0,01 ³	260,6 ± 8,1 ³	22,4 ± 1,3	47,7±2,1
4	53,2 ± 0,7 ³	1,86 ± 0,01 ²	0,86 ± 0,01 ³	244,9 ± 3,7 ³	20,6 ± 2,9 ¹	49,8±0,6
Среднее	49,1 ± 3,0 ³	1,82 ± 0,03 ¹	0,85 ± 0,01	229,6 ± 14,1 ³	17,2 ± 2,7	46,6±1,5

Примечание. Различия между породами статистически значимы при: ¹⁾ – $p \leq 0,05$; ²⁾ – $p \leq 0,01$; ³⁾ – $p \leq 0,001$.

Следует отметить, что в культурах сосны скрученной в Архангельской области средние значения длины хвоинки немного ниже, чем полученные нами, и составляют 50–60 мм [19]. Возможно, это связано с бо-

лее суровыми условиями произрастания, поскольку культуры заложены в подзоне северной тайги. Согласно исследованиям этих же авторов у сосны обыкновенной средняя длина хвоинки – около 40 мм, то

есть в 1,3–1,5 раза меньше, чем у сосны скрученной [19].

Ширина хвоинки в исследуемых культурах у обеих пород в среднем составляет 1,6 мм, варьируя от 1,2 до 2,0 мм у сосны скрученной и от 1,1 до 2,3 мм у сосны обыкновенной. Сосна скрученная не всегда превосходит сосну обыкновенную по ширине и толщине хвои, что отражается на средних значениях для разновозрастной хвои. Толщина хвои в среднем составляет 0,8 мм для обеих пород, варьируя от 0,5 до 1,1 мм у сосны скрученной и от 0,6 до 1,1 мм у сосны обыкновенной.

Поверхность растений, их органов, тканей, клеток и органелл может выступать связующим звеном для биологических систем разного уровня организации в растительном мире [16]. Площадь поверхности листа используется при расчетах значительного числа параметров, в том числе при расчете поверхностной плотности листа – отношения сухой массы листа к его площади поверхности [16]. Показатель варьирует у сосны скрученной от 178 до 453 мм², у сосны обыкновенной – от 98 до 356 мм². Средняя площадь поверхности разновозрастной хвои для всех лесничеств у сосны скрученной составляет 280 мм², у сосны обыкновенной – 197 мм². У обоих видов максимальные средние значения показателя наблюдаются в Городском участковом лесничестве. В связи с тем, что длина хвои сосны скрученной всегда значительно превосходит сосну обыкновенную, незначительное преимущество сосны обыкновенной по ширине или толщине хвои не приводит к ее превосходству по площади поверхности (см. табл. 2).

В среднем масса одной хвоинки сосны скрученной варьирует от 14 до 28 мг, сосны обыкновенной – от 8 до 22 мг в зависимости от возраста и условий произрастания. Средняя масса одной хвоинки, рассчитанная для всех участков, у сосны скрученной составляет $21,4 \pm 0,91$ мг, у сосны обыкновенной – $13,8 \pm 1,2$ мг. Масса хвои зависит от ее размеров и плотности слагающих ее тканей. Плотность тканей зависит, в том числе, от возра-

ста хвои и ее структуры: чем старше хвоя, тем толще клеточные стенки в ее тканях; чем сильнее развита механическая ткань, тем больше толстостенных клеток. В связи с этим масса молодой хвои, как правило, ниже, чем у хвои более старшего возраста. Например, в Койгородском лесничестве хвоя сосны обыкновенной третьего года жизни, несмотря на меньшую длину, имеет на 10 % большую массу, чем хвоя первого года жизни. В Сыктывкарском участковом лесничестве масса хвои сосны скрученной пятого года жизни на 38 % тяжелее хвои текущего года. Для разновозрастной хвои в пределах одного вида и участка масса не зависит от ее длины. Однако средняя длина хвои сосны скрученной, как упоминалось выше, в 1,4 раза превышает длину хвои сосны обыкновенной, что приводит к более высоким значениям ее массы. У сосны скрученной масса одной хвоинки больше, чем у сосны обыкновенной. В зависимости от характера объекта это различие изменяется от 23 до 50 %, составляя в среднем для изучаемых культур 36 %. Это согласуется с исследованиями, проведенными в культурах сосны скрученной в Архангельской области: масса одной хвоинки у сосны скрученной больше, чем у сосны обыкновенной в среднем на 50 % [19]. В целом масса хвои сосны скрученной по участкам варьирует меньше ($C_v = 20,4$ %), чем у сосны обыкновенной ($C_v = 33,5$ %). Разница в массе зрелой хвои (второй год и старше) на разных участках может составлять до 29 % у сосны скрученной и до 45 % – у сосны обыкновенной. Для культур сосны скрученной Архангельской области исследователи также отмечают, что масса средней хвоинки в зависимости от условий произрастания может отличаться, при этом различие может составлять более 40 % для сосны скрученной и 16 % – для сосны обыкновенной [19].

Поверхностная плотность листа является интегральным показателем содержания структурных и функциональных элементов мезо-

структуры листа [9], ее значение имеет генетическую обусловленность [1]. Средние значения отношения абсолютно сухой массы к площади поверхности хвои варьируют в зависимости от участка: у сосны скрученной от 0,070 до 0,088 мг/мм², у сосны обыкновенной от 0,061 до 0,073 мг/мм². При этом минимальные значения характерны для хвои в культурах Койгородского и Подъельского участковых лесничеств. Усредненное значение для сосны скрученной чуть больше, чем у сосны обыкновенной, составляя 0,076 и 0,068 мг/мм² соответственно. Однако различия статистически не значимы.

Содержание сухого вещества в ассимилирующих органах связано с эффективностью

фотосинтеза, активностью транспирации, водоудерживающей способностью и устойчивостью растений в целом [7]. Использование этого показателя в искусственных насаждениях считается целесообразным для применения в комплексной оценке селекционных объектов (ЛСП, архив клонов), для косвенной характеристики их продуктивности и репродуктивной активности [3]. Содержание сухого вещества у хвои всех возрастов сосны скрученной в среднем для всех исследуемых участков составляет $44,9 \pm 2,7$ %, сосны обыкновенной – $43,9 \pm 3,5$ %, варьируя от 31,7 до 52,3% и от 33,3 до 53,7 % соответственно (табл. 3).

Таблица 3

Варьирование содержания абсолютно сухого вещества в хвое сосны скрученной и сосны обыкновенной в экспериментальных культурах

Год жизни хвои	Содержание абсолютно сухого вещества в хвое, %		
	Минимальное	Максимальное	Среднее
Сосна скрученная			
1	31,74	44,77	$39,85 \pm 1,80$
2	32,98	50,93	$44,25 \pm 1,54$
3	39,85	51,34	$45,24 \pm 1,13$
4	43,71	48,40	$46,66 \pm 1,26$
5	44,80	52,34	$48,49 \pm 1,00$
Среднее	-	-	$44,90 \pm 2,70$
Сосна обыкновенная			
1	33,33	46,41	$39,16 \pm 3,28$
2	38,21	51,19	$46,17 \pm 1,51$
3	40,20	53,73	$46,28 \pm 1,73$
Среднее	-	-	$43,87 \pm 3,50$

Согласно представленным результатам, разница в минимальных и максимальных значениях данного показателя в пределах одного возраста хвои может достигать 18 % у сосны скрученной и 14 % у сосны обыкновенной.

У хвои обоих видов сосны усредненный показатель для всех участков увеличивается с возрастом. Как правило, эта тенденция сохра-

няется практически для всех исследуемых объектов (см. табл. 2). Например, у сосны скрученной в культурах Подъельского участкового лесничества хвоя 1 года жизни содержит 40,8 % а. с. в., 2 года – 43,5; 3 года – 44,1; 4 года – 46,0; 5 года – 49,6 %. Возможно, это связано со снижением обводненности хвои с возрастом. Показано, что для среднетаежных естественных сосняков Республики Коми ха-

рактарно уменьшение этого показателя по мере ее старения с 76 до 46 % [14], что обусловлено уменьшением водоудерживающих и водопоглощающих свойств биокolloидов тканей растений [15].

Существенных и статистически значимых различий между сосной скрученной и сосной обыкновенной по содержанию в хвое сухого вещества в пределах одного участка не наблюдается. Например, хвоя первого года жизни сосны скрученной в Койгородском лесничестве содержит $36,8 \pm 3,0$ % а. с. в., сосны обыкновенной – $34,8 \pm 2,5$ %, а хвоя 3 года жизни у обеих пород одинаково – 47,1 % а. с. в. (см. табл. 2). Содержание сухого вещества положительно коррелирует с массой одной хвоинки, при этом коэффициент корреляции составляет для сосны скрученной 0,81, для сосны обыкновенной – 0,71.

Различные виды сосен отличаются по анатомическому строению хвои, поэтому при определении вида ее морфологические и анатомические признаки принимаются в качестве диагностических [10]. Согласно представленным данным, отличия в изученных показателях хвои между сосной скрученной и сосной обыкновенной связаны в первую очередь с их видовой принадлежностью.

Нами ранее на примере Сторожевского лесничества (Подъельского участкового лесничества) были описаны межвидовые различия в морфологии и анатомии этих пород [11]. Показано, что по длине хвои сосна скрученная превосходит сосну обыкновенную на 28 % ($p < 0,001$), а по площади сечения – на 15 % ($p < 0,001$), число устьиц на 1 мм длины хвои у сосны скрученной меньше на 17 %. Сходство у обеих пород проявляется в том, что на поперечном срезе хвои наибольшую площадь занимает основная фотосинтезирующая ткань – мезофилл (44–48 %) (см. рис.).

Однако в мезофилле хвои сосны скрученной в этих культурах закладывается от 0 до 4-х смоляных ходов, а у сосны обыкновенной – от 3 до 15. Сосна скрученная отличается формированием двух-четырёхрядной гиподермы и слабым развитием межпучковой склеренхимы. Кроме того, выявлено, что охвоенность побегов третьего года жизни и доля сохранившихся на них брахибластов у сосны скрученной на 61 % больше [11].

Выводы

Проведено сравнение морфометрических показателей хвои между сосной скрученной и сосной обыкновенной в экспериментальных культурах на территории Республики Коми. Наиболее значимые различия наблюдаются для показателей длины и массы хвоинки: у сосны скрученной они выше, чем у сосны обыкновенной. Выявлена положительная корреляционная связь между массой хвои и содержанием в ней сухого вещества. Показаны закономерные изменения массы хвои в зависимости от возраста. Определено, что лесорастительные условия оказывают влияние на некоторые из изученных показателей, при этом у сосны скрученной их влияние проявляется в меньшей степени, чем у сосны обыкновенной.

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).

Авторы выражают искреннюю благодарность за всестороннюю помощь при выполнении работы д-ру биол. наук Алексею Леонардовичу Федоркову, под научным руководством которого были заложены экспериментальные культуры сосны скрученной в Республике Коми.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абдуллаев, Х.А. Индексы фотосинтеза в селекции хлопчатника / Х.А. Абдуллаев, Х.Х. Каримов. – Душанбе : Дониш, 2001. – 267 с.

2. Базилевич, Н.И. Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах / Н.И. Базилевич, А.А. Титлянова, В.В. Смирнов, Л.Е. Родин [и др.]; ред. А.А. Роде. М. : Изд-во «Мысль», 1978. – 182 с.
3. Бессчетнова, Н.Н. Содержание сухого вещества в хвое клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной / Н.Н. Бессчетнова // Лесной вестник. – 2011. – № 5 (81). – С. 15–19.
4. Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Республики Коми в 2022 году» : гос. доклад / Минприроды Республики Коми [и др.]; под общ. ред. ГБУ РК «ТФИ РК». Сыктывкар : Минприроды Республики Коми. – 2023. – 164 с.
5. Демидова, Н.А. Рост и развитие сосны скрученной (*Pinus contorta* Loud. var. *latifolia* S. Wats) в условиях северной тайги / Н.А. Демидова, Т.М. Дуркина, Л.Г. Гоголева [и др.] // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. – 2016. – № 2. – С. 45–59. – DOI: <https://doi.org/10.21178/2079-6080.2016.2.42>.
6. Ильчуков, С.В. Морфометрические параметры ассимиляционного аппарата высоковозрастных сосен / С.В. Ильчуков, Н.В. Торлопова // Вестник института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. – 2008. – № 9 (131). – С. 8–10.
7. Лир, Х. Физиология древесных растений / Х. Лир, Г. Польстер, Г.-И. Фидлер. – М. : Лесная промышленность, 1974. – 424 с.
8. Мелехов, И.С. Интродукция хвойных в лесном хозяйстве / И.С. Мелехов // Лесоведение. – 1984. – № 6. – С. 72–78.
9. Миракилов, Х.М. Удельная поверхностная плотность листа стародавних и современных сортов тонковолокнистого хлопчатника / Х.М. Миракилов, Б.Б. Гиясидинов // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – 2013. – Т. 56, № 3. – С. 250–255.
10. Правдин, Л.Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция / Л.Ф. Правдин. – М. : Наука, 1964. – 190 с.
11. Плюснина, С.Н. Структура хвои сосны скрученной *Pinus contorta* Dougl. и сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. в экспериментальных культурах / С.Н. Плюснина, А.Л. Федорков, Р.Г. Гуляев // Лесной вестник. – 2024. – Т. 28, № 1. – С. 46–55.
12. Пристова, Т.А. Надземная фитомасса древостоя в экспериментальных культурах сосны скрученной в Сыктывкарском лесничестве Республики Коми / Т.А. Пристова, А.Л. Федорков, А.Б. Новаковский // Изв. вузов. Лесной журнал. – 2023. – № 6. – С. 31–43.
13. 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 : дисс. ... д-ра с-х. наук (спец. 06.03.01). СПб. : СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, 2015. – 322 с.
14. Сенькина, С.Н. Водный обмен растений / Биопродукционный процесс в лесных экосистемах Севера / С.Н. Сенькина / под. ред. Бобковой К.С., Галенко Э.П. – СПб. : Наука, 2001. – 278 с.
15. Сулейманов, И.Г. Состояние и роль воды в растении / И.Г. Сулейманов. – Казань, 1974. – 180 с.
16. Уткин, А.И. Площадь поверхности лесных растений: сущность, параметры, использование / А.И. Уткин, Л.С. Ермолова, И.А. Уткина. – М. : Наука, 2008. – 292 с.
17. Федорков, А.Л. Состояние экспериментальных культур сосны скрученной в Республике Коми / А.Л. Федорков, Л.Н. Гутый // Вестник ИБ Коми НЦ УрО РАН. – 2017. – № 2. – С. 25–31.
18. Федорков, А.Л. Экспериментальные культуры сосны скрученной в Республике Коми / А.Л. Федорков, А.А. Туркин // Лесоведение. – 2010. – № 1. – С. 70–74.
19. Феклистов, П.А. Сравнительные эколого-биологические особенности сосны скрученной и обыкновенной в северной подзоне европейской тайги / П.А. Феклистов, С.Ю. Бирюков, А.Л. Федяев. – Архангельск : Арханг. гос. техн. ун-т, 2008. – 118 с.

20. Demidova, N.A. Lodgepole pine of Yukon origin in the European North of Russia / N.A. Demidova, N.M. Durkina, L.G. Gogoleva, A.A. Paramonov // IOP Conf. Series: Earth and Environmental science. – 2020. – N 574. – P. 1–8. – DOI: <http://doi.org/10.1088/1755-1315/574/1/012022>.
21. Elfving, B. The introduction of lodgepole pine for wood production in Sweden – a review / B. Elfving, T. Ericsson, O. Rosvall // Forest Ecology and Management. – 2001. – № 141 (1–2). – P. 15–29.
22. Elfving, B. Biomass equations for lodgepole pine in northern Sweden / B. Elfving, K.A. Ulvcrone, G. Egnell // Can. J. For. Res. – 2016. – Vol. 47. – P. 89–96. – DOI: <http://doi.org/10.1139/cjfr-2016-0131>.
23. Fedorkov, A. Performance of lodgepole pine and Scots pine in field trials located in north-west Russia / A. Fedorkov, L. Gutiy // Silva Fennica. – 2017. – Vol. 51. – N. 1. – P. 1–10. – DOI: <http://doi.org/10.14214/af.1692>.
24. Manner, J. The effect of forked trees on harvester time consumption in a *Pinus contorta* final-felling stand / J. Manner, H. Lundstrom // Silva Fennica. – 2024. – Vol. 58. – N 4. – 8 p. – DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.24039>.
25. Nilsson, P. Skogsdata 2010, Aktuella uppgifter om de svenska skogarna från Riksskogstaxeringen / P. Nilsson, N. Cory // Forestry statistics 2010. Umeå, Sveriges Lantbruksuniversitet. – 2010. – 119 p.
26. Varmola, M. Survival and early development of Lodgepole pine / M. Varmola, H. Salminen, R. Rikala, M. Kerkela // Scandinavian Journal of Forest Research. – 2000. – N 15. – P. 410–423.
27. Zhigunov, A.V. Estimating the growth of 20- to 26-year-old lodgepole pine plantations in the Leningrad Region of Russia / A.V. Zhigunov, O.Yu. Butenko // Folia Forestalia Polonica. Series A-Forestry. – 2019. – Vol. 61. – № 1. – P. 58–63.

REFERENCES

1. Abdullaev H.A., Karimov H.H. Indices of photosynthesis in cotton breeding. Dushanbe, Donish, 2001, 267 p. (In Russian).
2. Bazilevich N.I. Titlyanova A.A., Smirnov V.V., Rodin L.E., Nechaeva N.T., Levin F.I. Methods for studying biological circulation in various natural zones. Ed. A.A. Rode. Moscow, Mysl Publishing House, 1978, 182 p. (In Russian).
3. Besschetnova N.N. Dry matter content in the needles of clones of plus trees of Scots pine. *Forest Bulletin [Lesnoj vestnik]*, 2011, no. 5 (81), pp. 15–19. (In-Russian).
4. State report “On the state of the environment of the Komi Republic in 2022”: state report. Ministry of Natural Resources of the Komi Republic [and others]; under the general editorship of the State Budgetary Institution of the Komi Republic “TFI RK”. Syktyvkar, Ministry of Natural Resources of the Komi Republic, 2023, 164 p. (In Russian).
5. Demidova N.A., Durkina T.M., Gogoleva L.G., Demidenko S.A., Bykov Yu.S., Paramonov A.A. Growth and development of lodgepole pine (*Pinus contorta* Loud. var. *latifolia* S. Wats) in the northern taiga. *Proceedings of the St. Petersburg Forestry Research Institute [Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyajstva]*, 2016, no. 2, pp. 45–59. DOI: <https://doi.org/10.21178/2079-6080.2016.2.42>. (In Russian).
6. Ilchukov S.V., Torlopova N.V. Morphometric parameters of the assimilation apparatus of old-growth pines. *Bulletin of the Institute of Biology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences [Vestnik instituta biologii Komi nauchnogo centra Ural'skogo otdeleniya RAN]*, 2008, no. 9 (131), pp. 8–10. (In Russian).
7. Lier H., Polster G., Fiedler G.-I. Physiology of woody plants. Moscow, Forest industry, 1974, 424 p. (In Russian).

8. Melekhov I.S. Introduction of conifers in forestry. *Forestry [Lesovedenie]*, 1984, no. 6, pp. 72–78. (In Russian).
9. Mirakilov H.M., Giyasidinov B.B. Specific surface density of the leaf of ancient and modern varieties of fine-fiber cotton. *Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan [Doklady Akademii nauk Respubliki Tadjikistan]*, 2013, vol. 56, no. 3, pp. 250–255. (In Russian).
10. Pravdin L.F. Scots pine. Variability, intraspecific taxonomy, and selection. Moscow, Science, 1964, 190 p. (In Russian).
11. Plyusnina S.N., Fedorkov A.L., Gulyaev R.G. Structure of needles of lodgepole pine *Pinus contorta* Dougl. and Scots pine *Pinus sylvestris* L. in experimental cultures. *Forest Bulletin [Lesnoj vestnik]*, 2024, vol. 28, no. 1, pp. 46–55. (In Russian).
12. Pristova T.A., Fedorkov A.L., Novakovskiy A.B. Aboveground phytomass of the stand in experimental cultures of lodgepole pine in the Syktyvkar forestry of the Komi Republic. *News of the universities. Forestry journal [Izv. vuzov. Lesnoj zhurnal]*, 2023, no. 6, pp. 31–43. (In Russian).
13. Raevskiy 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 northwest taiga zone of Russia. Dissertation for the degree of Doctor of Agricultural Sciences (specialist 06.03.01). St. Petersburg, S.M. Kirov State Forest Technical University, 2015, 322 p. (In Russian).
14. Senkina S.N. Water exchange of plants / Bioproduction process in forest ecosystems of the North. Ed. Bobkova K.S., Galenko E.P. St. Petersburg, Science, 2001, 278 p. (In Russian).
15. Suleimanov I.G. The state and role of water in plants. Kazan, 1974, 180 p. (In Russian).
16. Utkin A.I., Ermolova L.S., Utkina I.A. Surface area of forest plants: essence, parameters, use. Moscow, Science, 2008, 292 p. (In Russian).
17. Fedorkov A.L., Gutiy L.N. The state of experimental cultures of lodgepole pine in the Komi Republic. *Bulletin of the Institute of Biology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences [Vestnik IB Komi NC URO RAN]*, 2017, no. 2, pp. 25–31. (In Russian).
18. Fedorkov A.L., Turkin A.A. Experimental cultures of lodgepole pine in the Komi Republic. *Forestry [Lesovedenie]*, 2010, no. 1, pp. 70–74. (In Russian).
19. Feklistov P.A., Biryukov S.Yu., Fedyaev A.L. Comparative ecological and biological characteristics of lodgepole and Scots pine in the northern subzone of the European taiga. Arkhangelsk, Arkhangelsk State Technical University, 2008, 118 p. (In Russian).
20. 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, pp. 1–8. DOI: <http://doi.org/10.1088/1755-1315/574/1/012022>.
21. Elfving B., Ericsson T., Rosvall O. The introduction of lodgepole pine for wood production in Sweden – a review. *Forest Ecology and Management*, 2001, no. 141 (1–2), pp. 15–29.
22. Elfving B., Ulvcróna K. A., Egnell G. Biomass equations for lodgepole pine in northern Sweden. *Can. J. For. Res.*, 2016, vol. 47, pp. 89–96. DOI: <http://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, pp. 1–10. DOI: <http://doi.org/10.14214/af.1692>.
24. 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, 8 p. DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.24039>.
25. Nilsson P., Cory N. Skogsdata 2010, Aktuella uppgifter om de svenska skogarna från Riksskogstaxeringen. Forestry statistics 2010. Umeå, Sveriges Lantbruksuniversitet, 2010, 119 p.

26. Varmola M., Salminen H., Rikala R., Kerkela M. Survival and early development of Lodgepole pine. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2000, no. 15, pp. 410–423.
27. Zhigunov A.V., Butenko O.Yu. Estimating the growth of 20- to 26-year-old longepole pine plantations in the Leningrad Region of Russia. *Folia Forestalia Polonica. Series A-Forestry*, 2019, vol. 61, no. 1, pp. 58–63.

Статья поступила в редакцию 26.05.2025