

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

ФГБУН «Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук»
(Институт биологии Коми НЦ УрО РАН), Россия, 167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28

pplusnina@ib.komisc.ru

Приведены данные по морфологии и анатомии хвои сосны скрученной *Pinus contorta* Dougl. и сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L., произрастающих в экспериментальных культурах в подзоне средней тайги Республики Коми. Установлено, 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 %. Показано, что на поперечном срезе хвои наибольшую площадь занимает основная фотосинтезирующая ткань — мезофилл: у сосны скрученной — 48 %, у сосны обыкновенной — 44 %. В мезофилле хвои сосны скрученной закладывается от 0 до 4 смоляных хода, а у сосны обыкновенной — от 3 до 15. Сосна скрученная отличается формированием двух-четырёхрядной гиподермы и слабым развитием межпучковой склеренхимы. Выявлено, что охвоенность двухлетних побегов и доля сохранившихся на них брахибластов на 61 % больше у сосны скрученной. Крупные размеры и сохранность фотосинтезирующих органов на побегах обеспечивают высокую интенсивность роста интродукта, дают преимущество перед аборигенной породой при накоплении биомассы и свидетельствуют об успешной адаптации сосны скрученной к условиям подзоны средней тайги. Полученные результаты расширяют имеющиеся сведения по анатомии хвои сосны скрученной и вариативности структурных признаков у исследованных видов. Изученные параметры по морфологии побегов и сохранности ассимиляционного аппарата могут использоваться при оценке состояния сосны скрученной при интродукции.

Ключевые слова: *Pinus contorta*, *Pinus sylvestris*, экспериментальные культуры, морфология и анатомия хвои

Ссылка для цитирования: Плюснина С.Н., Федорков А.Л., Гуляев Р.Г. Структура хвои сосны скрученной *Pinus contorta* Dougl. и сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. в экспериментальных культурах // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 1. С. 46–55. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-1-46-55

Сосна скрученная *Pinus contorta* Dougl. и сосна обыкновенная *Pinus sylvestris* L. — двухвойные сосны, представители самого крупного рода *Pinus* в семействе Pinaceae. Оба вида имеют обширные естественные ареалы: сосна скрученная в западной части Северной Америки [1], сосна обыкновенная — в Евразии [2]. В таежных условиях Северо-Запада России в культурах было выявлено превосходство по объему ствола сосны скрученной северного происхождения над сосной обыкновенной [3, 4]. Одной из причин преимущества сосны скрученной над сосной обыкновенной считается более продолжительный период роста [5, 6]. Морфология побегов сосны скрученной в границах естественного ареала подробно описана в работе [7], репродуктивная биология — в работе [8]. Оценены возобновление сосны скрученной в культурных посадках в Швеции [9] и всхожесть семян в испытательных культурах на юге Карелии [5], изучен ход роста интродукта и показано преимущество сосны скрученной по производитель-

ности перед сосной обыкновенной на плантациях на юге Карелии [10], в Архангельской области [11] и в Республике Коми [3, 12]. Сосна скрученная рассматривается как равноценная альтернатива сосне обыкновенной для озеленения малых северных городов европейской части России [13]. Несмотря на широкое распространение и активную интродукцию сосны скрученной в Европе [14, 15], сведения о структуре хвои приводятся в единичных работах [16, 17], чаще рассматривается ее морфология [4]. Напротив, структура хвои сосны обыкновенной описана подробно [18–20], в том числе в зависимости от воздействия абиотических факторов [21–23]. Структурные особенности хвои как основного фотосинтезирующего органа помогут объяснить возможные причины превосходства в скорости роста сосны скрученной над сосной обыкновенной в таежных условиях.

Цель работы

Цель работы — выявление особенностей морфолого-анатомической структуры хвои сосны скрученной *Pinus contorta* Dougl. и сосны обыкновенной

новенной *Pinus sylvestris* L. в экспериментальных культурах в подзоне средней тайги Республики Коми.

Материалы и методы

В 2004 г. в Республике Коми была заложена серия экспериментальных культур из шести происхождений сосны скрученной *Pinus contorta* var. *latifolia*, выращенной из семян, заготовленных на лесосеменных плантациях Швеции, которые были заложены по географическому принципу семенными потомствами плюсовых деревьев, отобранных в Канаде. В качестве контроля использовали семена сосны обыкновенной местного происхождения. Для посадки использовали однолетние сеянцы, выращенные в полиэтиленовых теплицах [3]. Показано, что высота деревьев, диаметр и объем их ствола, а также доля стволов без дефектов больше у сосны скрученной северного происхождения [3]. Преимущество сосны скрученной северного происхождения отмечено также для северной тайги [4]. В настоящей работе материал для проведения исследований собран в экспериментальных культурах Сторожевского лесничества (подзоны средней тайги, 61°53' с. ш., 52°53' в. д.), с деревьев сосны скрученной из семян шведского происхождения Нарлинге (60°03' с. ш., 17°01' в. д.), показавшего наибольшее превосходство над сосной обыкновенной по высоте, диаметру и объему ствола [3], и с деревьев сосны обыкновенной из семян местного происхождения. Подробная характеристика экспериментальных культур приведена в работах [24, 25].

Для морфологических и анатомических исследований срезали ветви с южной стороны средней части кроны с 10 деревьев каждого вида в августе 2021 г. На однолетних побегах II и III порядков ветвления определяли длину годичных побегов ($n \geq 20$), число хвои на побеге ($n \geq 20$), длину хвои ($n \geq 400$), число рядов устьиц ($n = 300$), число устьиц на 1 мм длины ряда в средней части хвои ($n = 1800$). На побегах разного возраста определяли охвоенность и сохранность брахибластов.

Листовые следы растений являются частью проводящей системы стебля [26]. У сосны листовые следы связывают центральный цилиндр и укороченный побег. Подсчет числа листовых следов на продольном срезе годичных секций (побегов) ствола позволяет точно определить число сформировавшейся хвои и используется при ретроспективной оценке параметров ее сохранности у сосны обыкновенной [27].

Метод изучения листовых следов позволяет определить время жизни хвои на побеге, однако требует трудоемкого препарирования ствола дерева. В настоящей работе приведены результаты

определения доли сохранившихся брахибластов с хвоей относительно числа сформировавшихся брахибластов на годичных побегах ветвей II и III порядков ветвления. Это позволило оценить интенсивность потери хвои побегом в течение нескольких лет. Число заложённых укороченных побегов определяли по числу рубцов, оставшихся после естественного опадения и удаления их при подсчете сохранившихся. Рубцы брахибластов хорошо определяются при внешнем осмотре побегов длительное время.

На поперечных срезах однолетней хвои анализировали следующие показатели:

- толщину, ширину и площадь сечения хвои;
- абсолютные и относительные площади сечений: эпидерма + гиподерма, смоляные ходы с клетками обкладки, мезофилл, эндодерма, центральный цилиндр, проводящие пучки ($n = 300$ для каждого параметра);
- толщину клеток эпидермы, гиподермы, мезофилла, проводящих элементов ксилемы и флоэмы.

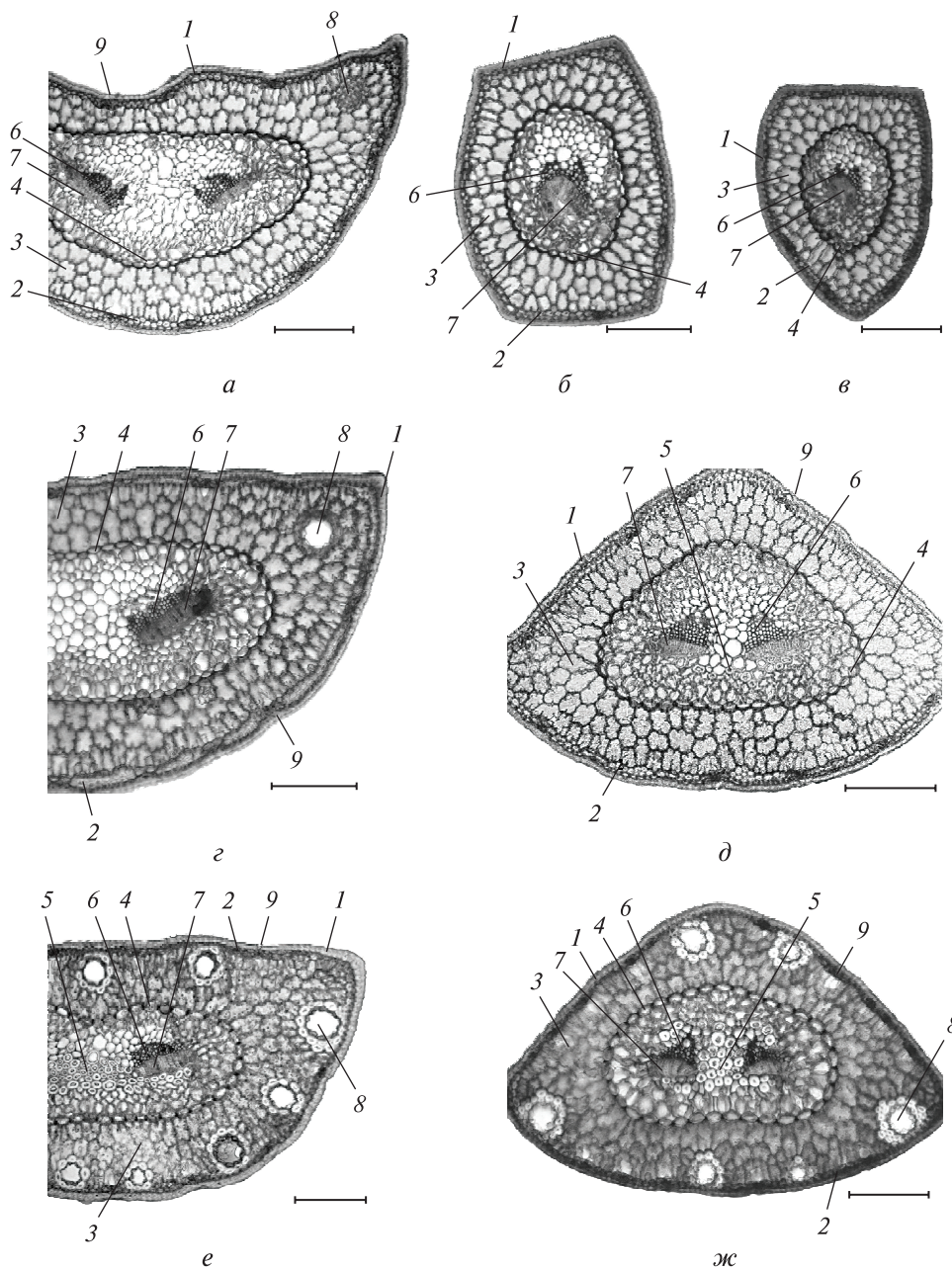
Поперечные срезы для приготовления временных препаратов получали из средней трети хвои. Срезы просматривали под микроскопом Axiovert 200 M (Carl Zeiss, Германия). Фотосъемку проводили цифровой камерой AxioCam ERc 5s (Carl Zeiss, Германия), морфометрические измерения — с помощью программы ZEN 2011 (Carl Zeiss, Германия).

Значимость различий между сосной обыкновенной и сосной скрученной оценивали с помощью *t*-критерия Стьюдента. Для статистического анализа использовали пакет программ Statistica 6.0.

Результаты и обсуждение

Морфология побегов и хвои. У обоих исследуемых видов на удлинённых побегах (ауксипластах) формируются укороченные побеги (брахибласты), несущие преимущественно по две хвоинки. Однако и у сосны обыкновенной, и у сосны скрученной встречаются треххвойные брахибласты: в первом случае — редко и в малом количестве, во втором — до 50 % общего их числа на годичном побеге. Кроме того, у сосны скрученной крайне редко формируются и четыреххвойные брахибласты, где две хвоинки имеют нормальную длину и площадь сечения, а оставшиеся две отличаются меньшими размерами (рисунок, а–в).

Анализ полученных данных показал (табл. 1), что средние значения по длине годичного побега интродуцента на 14...16 % превышают таковые у аборигенного вида, однако различия не значимы вследствие высокой вариабельности признака (20...48 %). Полностью сформированная одно- и двухлетняя хвоя сосны скрученной превосходит хвою сосны обыкновенной по длине на 27 и 28 %



Поперечный срез хвои сосны скрученной (а-д) и сосны обыкновенной (е, ж): 1 — эпидерма; 2 — гиподерма; 3 — мезофилл; 4 — эндодерма; 5 — межпучковая склеренхима; 6 — ксилема; 7 — флоэма; 8 — смоляные ходы; 9 — устьице; размер масштабной линейки 200 мкм
 Needle cross section of lodgepole pine (a-d) and Scots pine (e, ж): 1 — epidermis; 2 — hypodermis; 3 — mesophyll; 4 — endodermis; 5 — sclerenchyma; 6 — xylem; 7 — phloem; 8 — resin ducts; 9 — stomata; the scale bar is 200 μm

соответственно ($p \leq 0,001$). Ранее показано [28], что в условиях северной тайги длина хвои сосны скрученной на 40 % больше, чем у сосны обыкновенной. Терминальные побеги сосны скрученной по длине также превосходили сосну обыкновенную на 40 %, при этом боковые, как отмечают авторы, отличались незначительно.

Охвоенность однолетних побегов в экспериментальных культурах Сторожевского лесничества между видами не отличается и составляет в среднем 1,5–1,6 хвоинок на 1 мм длины. Однако

потеря хвои у аборигенной сосны происходит интенсивнее и охвоенность двухлетних побегов снижается в 3,8 раза относительно однолетних. На двухлетних побегах сосны обыкновенной число сохранившихся брахибластов, несущих хвою, в среднем было в 2,5 раза ниже по сравнению с интродуцентом (см. табл. 1). Показано [29], что в условиях Архангельской области у сосны скрученной в возрасте 10 лет охвоенность побегов в 1,5–2,2 раза больше, чем у сосны обыкновенной.

Т а б л и ц а 1

Морфологическая характеристика годовых побегов сосны

The morphology of annual pine shoots

| Параметр | Возраст побега | <i>Pinus sylvestris</i> | <i>Pinus contorta</i> |
|-------------------------------|----------------|-------------------------|-----------------------|
| | | Длина стебля, мм | Однолетний |
| | Двухлетний | 104,7 ± 8,6 | 124,9 ± 5,6 |
| Длина хвои, мм | Однолетний | 44,7 ± 0,2 | 61,3 ± 0,5* |
| | Двухлетний | 41,5 ± 0,2 | 58,0 ± 0,6* |
| Число хвои на годичном побеге | Однолетний | 121 ± 6 | 143 ± 13 |
| | Двухлетний | 41 ± 5 | 130 ± 17* |
| Охвоенность побега, шт./мм | Однолетний | 1,60 ± 0,04 | 1,52 ± 0,08 |
| | Двухлетний | 0,42 ± 0,04 | 1,09 ± 0,12* |
| Сохранность брахибластов, % | Однолетний | 92,7 ± 0,8 | 91,0 ± 2,5 |
| | Двухлетний | 24,2 ± 2,1 | 61,7 ± 6,1* |

*Различия между породами статистически значимы при уровне $p \leq 0,001$.

Т а б л и ц а 2

Морфологическая характеристика однолетней хвои сосны

The morphology of one-year-old pine needle

| Параметр | Плоско-выпуклая хвоя | | Двугранно-выпуклая хвоя |
|---------------------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
| | <i>Pinus sylvestris</i> | <i>Pinus contorta</i> | <i>Pinus contorta</i> |
| Ширина хвои, мм | 1,45 ± 0,006 | 1,52 ± 0,008 | 1,51 ± 0,023 |
| Толщина хвои, мм | 0,69 ± 0,003 | 0,78 ± 0,003 | 0,90 ± 0,013 |
| Площадь сечения хвои, мм ² | 0,82 ± 0,007 | 0,97 ± 0,009 | 0,86 ± 0,023 |
| Число рядов устьиц | 20,4 ± 0,17 | 18,8 ± 0,16 | 16,2 ± 0,29 |
| Число устьиц в 1 мм ряда | 11,9 ± 0,03 | 10,7 ± 0,03 | 10,1 ± 0,08 |
| Число устьиц на 1 мм хвои | 241,8 | 201,2 | 163,6 |
| Число смоляных ходов | 7,9 ± 0,10 | 1,8 ± 0,04 | 1,4 ± 0,17 |
| Число смоляных ходов min...max | 3...15 | 0...4 | 0...3 |

Примечание. Для всех параметров различия между породами статистически значимы при уровне $p \leq 0,001$.

У обоих видов продольные ряды устьиц, контролирующих обмен газов (водяного пара, CO₂ и др.) между внутренними тканями и атмосферой [26], формируются на всех гранях хвоинки. При этом интенсивность газообмена зависит и от количества устьиц [30]. Сосна обыкновенная на 17 % ($p < 0,001$) превосходит сосну скрученную по суммарному числу устьиц на 1 мм длины хвои как за счет числа рядов, так и за счет плотности

Т а б л и ц а 3

Анатомическая характеристика однолетней хвои сосны

Anatomical characteristics of one-year-old pine needles

| Параметр | Плоско-выпуклая хвоя | | Двугранно-выпуклая хвоя |
|--|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
| | <i>Pinus sylvestris</i> | <i>Pinus contorta</i> | <i>Pinus contorta</i> |
| Относительная площадь на поперечном срезе хвои, %* | | | |
| Эпидерма + гиподерма | 16,8 ± 0,08 | 19,4 ± 0,08 | 20,3 ± 0,25 |
| Мезофилл | 43,9 ± 0,16 | 47,7 ± 0,13 | 48,0 ± 0,26 |
| Эндодерма | 5,9 ± 0,03 | 4,5 ± 0,04 | 4,7 ± 0,14 |
| Центральный цилиндр | 23,4 ± 0,13 | 25,6 ± 0,12 | 24,6 ± 0,22 |
| Проводящие пучки | 2,6 ± 0,02 | 3,0 ± 0,03 | 3,2 ± 0,07 |
| Смоляные ходы + клетки обкладки | 9,9 ± 0,12 | 2,7 ± 0,07 | 2,4 ± 0,29 |
| Радиальный диаметр на поперечном срезе хвои, мкм | | | |
| Эпидерма | 18,4 ± 0,31 | 17,2 ± 0,19* | 16,6 ± 0,47 |
| Гиподерма | 12,7 ± 0,23 | 10,5 ± 0,18* | 10,4 ± 0,32 |
| Мезофилл | 57,2 ± 0,77 | 61,8 ± 0,97* | 60,2 ± 1,54 |
| Эндодерма | 26,2 ± 0,40 | 22,6 ± 0,39* | 21,2 ± 0,37 |
| Трахеиды ксилемы | 8,5 ± 0,29 | 8,9 ± 0,30 | 9,8 ± 0,27 |
| Ситовидные клетки флоэмы | 6,1 ± 0,23 | 5,4 ± 0,20* | 5,5 ± 0,17 |
| Число клеток в проводящем пучке | | | |
| Трахеиды ксилемы | 41,1 ± 2,7 | 53,6 ± 2,6* | 66,8 ± 1,8 |
| Ситовидные клетки флоэмы | 60,0 ± 4,2 | 63,5 ± 2,8 | 60,3 ± 2,2 |

*Различия между породами статистически значимы при уровне $p \leq 0,05$.

расположения устьиц в ряду (табл. 2). В условиях северной тайги среднесуточная транспирация сосны скрученной на 10 % ниже таковой у сосны обыкновенной [31].

На поперечном срезе хвои изучаемых видов в случае двуххвойных брахибластов плоско-выпуклая (рисунк, *з, е*), у треххвойных — двугранно-выпуклая (рисунк, *д, ж*). В первом случае сосна скрученная превосходит сосну обыкновенную по площади сечения на 15 %, по толщине — на 12 % (см. табл. 2). Порядок расположения тканей у обоих видов схож (рисунк, *з, е*), сосна обыкновенная и сосна скрученная отличаются по степени их развития (табл. 3). Под эпидермой у сосны обыкновенной на гранях формируется однослойная гиподерма, в районе ребер — чаще двухслойная, у сосны скрученной по всему периметру — двух-четырёхрядная, при этом второй и последующие внутренние ряды клеток сильно склерифицированы.

Несмотря на значимо меньшие радиальные размеры клеток (см. табл. 3) как покровной ткани эпидермы, так и расположенной под ней механической — гиподермы, сосна скрученная превосходит сосну обыкновенную по значениям относительной площади сечения комплекса этих тканей на поперечном срезе хвои (см. табл. 3). Это связано с многорядностью гиподермы у сосны скрученной.

Относительная площадь мезофилла (основной фотосинтезирующей ткани) на поперечном сечении хвои мало различается по породам (см. табл. 3) и составляет 43...46 % у сосны обыкновенной и 44...50 % у сосны скрученной. По периферии мезофилла закладываются смоляные каналы (ходы), окруженные клетками обкладки, которые у сосны обыкновенной имеют сильно утолщенные клеточные стенки. У евразийского вида сосны чаще всего смоляные каналы примыкают к гиподерме, число их сильно варьирует (см. табл. 2): в экспериментальных культурах Сторожевского лесничества в хвое встречалось от 3 до 15 смоляных каналов. У североамериканского вида они отделены от гиподермы клетками ассимиляционной паренхимы (мезофилла), число их значительно меньше — от 0 до 4. Суммарная абсолютная площадь сечения смоляных ходов с клетками обкладки на поперечном срезе хвои сосны скрученной в 3 раза меньше, чем у сосны обыкновенной. В связи с этим полностью сформированная хвоя сосны скрученной статистически значимо уступает сосне обыкновенной по их относительной площади (см. табл. 3). Перераспределение относительных площадей происходит преимущественно в пользу мезофилла.

Мезофилл складчатый, между гиподермой и эндодермой клетки формируют по 2–3 ряда с адаксиальной и абаксиальной сторон. Эндодерма отделяет фотосинтезирующую ткань от комплекса проводящих и запасающих тканей — центрального (проводящего) цилиндра. Сосна скрученная превосходит сосну обыкновенную по размерам клеток мезофилла и эндодермы на 7 и 14 % соответственно ($p \leq 0,001$). Помимо размеров, клетки эндодермы отличаются характером утолщения оболочки. У сосны обыкновенной утолщения отмечены только на радиальных стенках (пояски Каспари), у сосны скрученной утолщены радиальные и внешняя тангентальная (периклиальная) стенки.

У обоих видов формируются по два проводящих пучка (см. рисунок), между которыми является межпучковая склеренхима. Последняя у сосны скрученной слабо выражена. Сочетание большой длины со слабым развитием механической ткани (клеток обкладки смоляных ходов и межпучковой склеренхимы) может приводить к

формированию характерной, слегка извилистой и скрученной формы хвои. Напротив, клеточные стенки склеренхимы центрального цилиндра у сосны обыкновенной сильно утолщены (см. рисунок, *e*). Ксилема расположена на адаксиальной, флоэма — на абаксиальной стороне. Проводящие элементы формируют ряды, которые чередуются с рядами клеток паренхимы. Сосна скрученная статистически значимо ($p \leq 0,01$) превосходит сосну обыкновенную по числу водопроводящих элементов ксилемы (см. табл. 3), в основном за счет их числа в ряду ($p \leq 0,001$), что, в свою очередь, происходит за счет хорошей сохранности элементов протоксилемы. Сосна обыкновенная характеризуется более крупными ситовидными клетками ($p \leq 0,05$).

Треххвойные брахибласты у сосны скрученной встречаются чаще и в большем объеме, чем у аборигенной породы. Это позволило провести сравнительный морфолого-анатомический анализ плоско-выпуклой и двугранно-выпуклой хвои сосны скрученной (см. табл. 2, 3). В последнем случае хвоинки в одном пучке отличаются между собой углом между двумя гранями: у двух он больше, чем у третьей. Все три хвоинки в поперечном сечении формируют фигуру, близкую к кругу, так же, как и две хвоинки у двуххвойных брахибластов. Средняя площадь сечения двугранно-выпуклой хвои сосны скрученной меньше плоско-выпуклой на 13 %, однако за счет большей толщины, площадь сечения всей хвои в треххвойном брахибласте превышает на 25 % таковую в двуххвойном. Суммарное число устьиц на 1 мм длины меньше на 19 % по причине снижения количества рядов на гранях (см. табл. 2). Относительные площади тканей на поперечном срезе имеют близкие значения у двух форм хвои сосны скрученной (см. табл. 3).

Интересно, что даже у двух редуцированных хвоинок четыреххвойных брахибластов сосны скрученной сохраняется практически весь набор тканей (см. рисунок, *b*, *v*).

Согласно базе данных World Flora Online [32] *Pinus contorta* Douglas ex Loudon представлена разновидностями: var. *contorta*, var. *latifolia* Engelm. ex S. Watson и var. *murrayana* (Balf.) Engelm. В отечественной литературе достаточно подробно описана анатомия хвои сосны Мюррея, вероятно, одной из указанных выше разновидностей сосны скрученной [16, 17]. Такие видовые анатомические признаки сосны скрученной, как формирование двух смоляных каналов, их паренхиматическое расположение, утолщение не только радиальных, но и внешней тангентальной стенки эндодермы, слабое развитие межпучковой склеренхимы, упоминаются в этих двух работах. По данным наших исследований, в хвое *Pinus*

contorta var. *latifolia* формируется до четырех смоляных каналов, при этом в 74 % случаев их два. Более чем в 10 % случаев каналы отсутствовали. Возможно, поэтому хвоя сосны скрученной в некоторых источниках описана как не имеющая смоляных каналов [2]. Меньшее количество смолообразующих структур по сравнению с сосной обыкновенной отмечено и для древесины сосны Мюррея [16], что является причиной снижения ее смолистости, но, соответственно, повышает ее ценность для целлюлозно-бумажной промышленности. Как показали результаты проведенных нами исследований, при просмотре неокрашенных срезов хвои в режиме флуоресценции характер свечения содержимого смоляных ходов отличается у изучаемых сосен. Это свидетельствует о разном химическом составе секрета, что подтверждается имеющимися в литературе данными [33]: в условиях Центрального ботанического сада НАН Беларуси в составе эфирных масел у *Pinus murrayana* и *Pinus sylvestris* преобладают монотерпеноиды, однако у сосны Мюррея их доля на 21 % больше, чем у сосны обыкновенной. В первом случае среди монотерпеноидов значительную долю составляют β -пинен и лимонен, а во втором — α -пинен и 3-карен. В отличие от сосны скрученной хвоя сосны обыкновенной характеризуется значительным накоплением сесквитерпеноидов. Известно, что эфирные масла, входящие в состав смолы хвойных, выполняют защитные функции, поскольку токсичны для большинства травоядных и насекомых-вредителей [34], обладают антифунгальной активностью [35]. Одной из причин лучшей приживаемости сосны скрученной является более высокая устойчивость к грибным болезням, таким как снежное шютте и сосновый вертун [14]. Возможно, отличия в содержании вторичных метаболитов в органах и тканях рассмотренных видов являются одной из причин разной устойчивости к патогенам и вредителям. Как показано в работе [36], накопление минеральных элементов в надземных органах сосны скрученной также имеет свои особенности: более низкое содержание азота и калия в ассимилирующих органах и более высокая концентрация минеральных элементов в древесине и ствольной коре по сравнению с сосной обыкновенной.

Выводы

1. В средней тайге сосна скрученная, произрастающая в экспериментальных культурах в Сторожевском лесничестве, превосходит сосну обыкновенную по длине, ширине, толщине и площади сечения хвои, а также по ее сохранности у двухлетних побегов.

2. Сосна скрученная уступает сосне обыкновенной по количественным характеристикам

устыиц и числу смоляных каналов, участие которых в сложении хвои в 3,7 раза меньше, чем у сосны обыкновенной.

3. Перераспределение парциальных объемов тканей в хвое сосны скрученной происходит в пользу механической ткани — гиподермы — за счет увеличения числа ее рядов. В пользу парциальных объемов мезофилла и центрального цилиндра отходят небольшие доли, однако все показанные различия между видами значимы.

4. Большие размеры и сохранность фотосинтезирующих органов на побегах интродукта относительно аборигенной породы способствуют высокой интенсивности роста, обеспечивают преимущество при накоплении биомассы и свидетельствуют об успешной адаптации сосны скрученной к условиям подзоны средней тайги.


Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН «Зональные закономерности динамики структуры и продуктивности первичных и антропогенно измененных фитоценозов лесных и болотных экосистем европейского Северо-Востока России» (122040100031-8).

Список литературы

- [1] Элайс Т.С. Североамериканские деревья: определитель / под ред. И.Ю. Коропачинского. Новосибирск: Изд-во Центрального сибирского ботанического сада СО РАН, 2014. 959 с.
- [2] Козубов Г.М., Муратова Е.Н. Современные голосеменные (морфолого-систематический обзор и кариология) / под ред. А.А. Яценко-Хмелевского. Л.: Наука, 1986. 192 с.
- [3] Fedorkov A., Gutiy L. Performance of lodgepole pine and Scots pine in field trials located in north-west Russia // *Silva Fennica*, 2017, v. 51, no. 1, 10 p. Article id 1692. DOI: 10.14214/sf.1692
- [4] Феклистов П.А., Бирюков С.Ю., Федяев А.Л. Сравнительные эколого-биологические особенности сосны скрученной и обыкновенной в северной подзоне европейской тайги. Архангельск: Изд-во Архангельского государственного технического университета, 2008. 118 с.
- [5] Мордась А.А., Раевский Б.В. Всхожесть семян и рост сосны скрученной в Карелии // *Лесоведение*, 1992. № 1. С. 89–94.
- [6] Fedorkov A. Variation in shoot elongation patterns in *Pinus contorta* and *Pinus sylvestris* in north-west Russia // *Scandinavian J. of Forest Research*, 2010, v. 25, no. 3, pp. 208–212. DOI: 10.1080/02827581.2010.491229
- [7] Structure and Composition of Subalpine Conifers in the Emerald Lake Watershed, Sequoia National Park, California // *Madroño*, 2018, v. 65, no. 2, pp. 80–88.
- [8] Owens J.N. The reproductive biology of lodgepole pine // *Forest Genetics Council of British Columbia*. Canada, 2006, 66 p. URL: <http://www.fgcouncil.bc.ca/ExtNote7-Final-web.pdf>. (дата обращения 26 декабря 2022 г.).
- [9] Jacobson S., Hannerz M. Natural regeneration of lodgepole pine in boreal Sweden // *Biol Invasions*, 2020, v. 22, pp. 2461–2471. DOI: 10.1007/s10530-020-02262-0

- [10] Раевский Б.В. Ход роста смешанных культур сосны скрученной и сосны обыкновенной в южной Карелии // Известия Коми научного центра УрО РАН, 2010. № 1 (1). С. 31–38.
- [11] 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 // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2016. № 2. С. 45–59.
- [12] Демидова Н.А., Дуркина Т.М., Гоголева Л.Г., Быков Ю.С., Парамонов А.А. Рост сосны скрученной (*Pinus contorta* Loud. var. *latifolia* S. Wats.) в Сторожевском лесничестве Республики Коми // Лесохозяйственная информация, 2017. № 1. С. 24–33. URL: <http://lhi.vniilm.ru/>
- [13] Бабич Н.А., Андропова М.М. Сосна скрученная – перспективный интродуцент для озеленения малых северных городов // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал, 2014. № 6 (342). С. 155–160.
- [14] Elfving B., Ericsson T., Rosvall O. The introduction of lodgepole pine for wood production in Sweden — a review // Forest Ecology and Management, 2001, v. 141, pp. 15–29. DOI: [org/10.1016/S0378-1127\(00\)00485-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00485-0)
- [15] Backlund I., Bergsten U. Biomass Production of Dense Direct-Seeded Lodgepole Pine (*Pinus contorta*) at Short Rotation Periods // Silva Fennica, 2012, 46(4), pp. 609–623.
- [16] Косиченко Н.Е., Куцевалов М.А. Особенности анатомической структуры хвои и древесины сосны Мюррея // Генетика, селекция, семеноводство и интродукция лесных пород: сб. науч. тр. ЦНИИЛГиС. Воронеж: Изд-во ЦНИИЛГиС, 1977. Вып. 4. С. 87–89.
- [17] Нестерович Н.Д., Дерюгина Т.Ф. Структурные особенности листьев хвойных. Минск: Наука и техника, 1986. 43 с.
- [18] Цельникер Ю.Л., Малкина И.С., Ковалев А.Г., Чмора С.Н., Мамаев В.В., Молчанов А.Г. Рост и газообмен CO₂ у лесных деревьев. М.: Наука, 1993. 256 с.
- [19] Liesche J., Martens H.J., Schulz A. Symplasmic transport and phloem loading in gymnosperm leaves // Protoplasma, 2011, v. 248, pp. 181–190.
- [20] Плюснина С.Н., Тужилкина В.В. Структурно-функциональная характеристика фотосинтетического аппарата подроста *Pinus sylvestris* (Pinaceae) в подзоне средней тайги европейского Северо-Востока // Ботанический журнал, 2021. Т. 106. № 11. С. 1072–1084.
- [21] Smith H.J., Davis D.D. Histological changes induced in Scotch pine needles by sulfur dioxide // Phytopathology, 1978, v. 68, pp. 1711–1716.
- [22] Тужилкина В.В., Плюснина С.Н. Структурно-функциональные изменения хвои сосны в условиях аэротехногенного загрязнения // Лесоведение, 2020. № 6. С. 537–547.
- [23] Федорков А.Л. Изменчивость признаков анатомического строения хвои сосны и ее устойчивость к техногенному и климатическому стрессу // Экология, 2002. № 1. С. 70–72.
- [24] Ковалева В.А., Виноградова Ю.А., Пристова Т.А., Федорков А.Л. Характеристика микрометричного комплекса в подстилке экспериментальных культур сосны скрученной (*Pinus contorta* Dougl.) // Принципы экологии, 2023. № 2. С. 67–77. DOI: [10.15393/j1.art.2023.13642](https://doi.org/10.15393/j1.art.2023.13642)
- [25] Пристова Т.А., Федорков А.Л. Видовой состав и фитомасса растений напочвенного покрова в экспериментальных культурах сосны скрученной в Республике Коми // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2023. № 1. С. 40–53. DOI: [10.21178/2079-6080.2023.1.40](https://doi.org/10.21178/2079-6080.2023.1.40)
- [26] Эверт Р.Ф. Анатомия растений Эзау. Меристемы, клетки и ткани растений: строение, функции и развитие. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. 600 с.
- [27] Федорков А.Л. Ретроспективная оценка параметров сохранности хвои у сосны обыкновенной // Экология, 2002. № 6. С. 478–480.
- [28] Феклистов П.А., Бирюков С.Ю., Федяев А.Л. Сравнительные эколого-биологические особенности сосны скрученной и обыкновенной в северной подзоне европейской тайги. Архангельск: Изд-во Архангельского государственного технического университета, 2008. С. 116.
- [29] Демидова Н.А., Дуркина Т.М., Гоголева Л.Г., Васильева Н.Н. Древесные растения европейской флоры в коллекции дендрологического сада ФБУ «Севниилх» // Труды по интродукции и акклиматизации растений. Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук. Ижевск, 2021. С. 58–62.
- [30] Hetherington A.M., Woodward F.I. The role of stomata in sensing and driving environmental change // Nature, 2003, v. 424, pp. 901–908.
- [31] Феклистов П.А., Бирюков С.Ю. Транспирация хвои сосны скрученной и обыкновенной в условиях Архангельской области // Вестник Поморского университета. Серия. Естественные и точные науки, 2007. № 2. С. 86–90.
- [32] Cite taxon page as 'WFO: *Pinus contorta* Douglas ex Loudon, 2022. Available at: <http://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0000481330#synonyms> (дата обращения 27 декабря 2022 г.).
- [33] Шпак С.И., Ламоткин С.А., Ламоткин А.И., Скаковский Е.Д., Гайдукевич О.А., Котов А.А. Изменчивость состава эфирных масел в роду *Pinus* // Химия и технология органических веществ, 2008. № 4. С. 292–296.
- [34] Хелдт Г.-В. Биохимия растений. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. 471 с.
- [35] Cavaleiro C., Pinto E., Goncalves M.J., Salgueiro L. Antifungal activity of Juniperus essential oils against dermatophyte, Aspergillus and Candida strains // J. Appl. Microbiol., 2006, v. 100, pp. 1333–1338.
- [36] Пристова Т.А., Федорков А.Л. Элементный состав *Pinus contorta* Dougl. и *Pinus sylvestris* L. в экспериментальных культурах Сыктывкарского лесничества Республики Коми // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2023. № 245. С. 55–70. DOI: [10.21266/2079-4304.2023.245.55-70](https://doi.org/10.21266/2079-4304.2023.245.55-70)

Сведения об авторах

Плюснина Светлана Николаевна  — канд. биол. наук, науч. сотр. Института биологии Коми НЦ УрО РАН, pljusnina@ib.komisc.ru

Федорков Алексей Леонардович — д-р биол. наук, вед. науч. сотр. Института биологии Коми НЦ УрО РАН, fedorkov@ib.komisc.ru

Гуляев Роман Геннадьевич — ст. лаборант Института биологии Коми НЦ УрО РАН, gulyaev@ib.komisc.ru

Поступила в редакцию 12.01.2023.

Одобрено после рецензирования 14.04.2023.

Принята к публикации 28.11.2023.

NEEDLE STRUCTURE OF *PINUS CONTORTA* DOUGL. AND *PINUS SYLVESTRIS* L. IN EXPERIMENTAL CULTURES

S.N. Plyusnina , A.L. Fedorkov, R.G. Gulyaev

Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences, 28, Kommunisticheskaya st., 167982, Syktyvkar, Russia

pljusnina@ib.komisc.ru

The paper presents data on the needle morphology and anatomy of lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl.) and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) growing in experimental cultures in the middle taiga subzone of the Komi Republic. It was shown that lodgepole pine exceeds Scots pine by 28 % in needles length ($p < 0,001$), and by 15 % in needles cross-sectional area ($p < 0,001$). The number of stomata per 1 mm of needle length in lodgepole pine is 17 % less, and the number of resin canals in needles is 77 % less. Lodgepole pine is characterized by a multi-row hypodermis, thickening of the tangential and radial walls of endoderm cells, poorly developed sclerenchyma of the central cylinder, and a greater number of water-conducting xylem elements by 23 % ($p < 0,01$) than Scots pine. The radial dimensions of the mesophyll cells are larger, and the epidermis, hypodermis, endoderm and sieve cells of the phloem are smaller in lodgepole pine than in Scots pine ($p \leq 0,05$). The large needles cross-sectional area of lodgepole pine is provided by the large size of the mesophyll cells and the multi-row nature of the hypodermis. It is shown that the foliation rate of two-year-old shoots and the proportion of brachyblasts preserved on them are 61 % higher in lodgepole pine. Three-needle brachyblasts and very rarely four-needle brachyblasts are found on the shoots of *Pinus contorta* more often than on *Pinus sylvestris*. The large size and preservation of photosynthetic organs on the shoots of the introduced species relative to the native species contribute to high growth intensity, give an advantage in biomass accumulation, and indicate successful adaptation of lodgepole pine to the conditions of the middle taiga subzone.

Keywords: *Pinus contorta*, *Pinus sylvestris*, experimental cultures, needle, morphology, anatomy

Suggested citation: Plyusnina S.N., Fedorkov A.L., Gulyaev R.G. *Struktura khvoi sosny skruchennoy Pinus contorta* Dougl. i sosny obyknovennoy *Pinus sylvestris* L. v eksperimental'nykh kul'turakh [Needle structure of *Pinus contorta* Dougl. and *Pinus sylvestris* L. in experimental cultures]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 1, pp. 46–55. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-1-46-55

References

- [1] Elays T.S. *Severoamerikanskije derev'ya: opredelitel'* [North American Trees: Key]. Novosibirsk: Tsentral'nyy sibirskiy botanicheskiy sad SO RAN, 2014, 959 p.
- [2] Kozubov G.M., Muratova E.N. *Sovremennye golosemennye (morfologo-sistematicheskiy obzor i kariologiya)* [Modern gymnosperms (morphological and systematic review and karyology)]. Leningrad: Nauka, 1986, 192 p.
- [3] Fedorkov A., Gutiy L. Performance of lodgepole pine and Scots pine in field trials located in north-west Russia. *Silva Fennica*, 2017, v. 51, no. 1, 10 p. Article id 1692. DOI: 10.14214/sf.1692
- [4] Feklistov P. A., Biryukov S. Yu., Fedyaev A. L. *Sravnitel'nye ekologo-biologicheskie osobennosti sosny skruchennoy i obyknovennoy v severnoy podzone evropeyskoy taygi* [Comparative ecological and biological features of lodgepole and Scots pine in the northern subzone of the European taiga]. Arkhangel'sk: Arkhangel'skiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet, 2008, 118 p.
- [5] Mordas' A.A., Raevskiy B.V. *Vskhozhest'semyan i rost sosny skruchennoy v Karelii* [Seed germination and tree growth in *Pinus contorta* plantations in Karelia]. *Lesovedenie* [Forestry], 1992, no. 1, pp. 89–94.
- [6] Fedorkov A. Variation in shoot elongation patterns in *Pinus contorta* and *Pinus sylvestris* in north-west Russia. *Scandinavian J. of Forest Research*, 2010, v. 25, no. 3, pp. 208–212. DOI: 10.1080/02827581.2010.491229
- [7] Structure and Composition of Subalpine Conifers in the Emerald Lake Watershed, Sequoia National Park, California. *Madroño*, 2018, v. 65, no. 2, pp. 80–88.

- [8] Owens J.N. The reproductive biology of lodgepole pine // Forest Genetics Council of British Columbia. Canada, 2006, 66 p. Available at: <http://www.fgcouncil.bc.ca/ExtNote7-Final-web.pdf>. (accessed 26.12.2022).
- [9] Jacobson S., Hannerz M. Natural regeneration of lodgepole pine in boreal Sweden. *Biol Invasions*, 2020, v. 22, pp. 2461–2471. DOI: 10.1007/s10530-020-02262-0
- [10] Raevskiy B.V. *Khod rosta smeshannykh kul'tur sosny skruchennoy i sosny obyknovennoy v yuzhnoy Karelii* [Growth and development of Lodgepole Pine and Scotch Pine provenances in mixed plantings in South Karelia]. *Izvestiya Komi nauchnogo tsentra UrO RAN* [Bulletin of the Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences], 2010, no. 1 (1). pp. 31–38.
- [11] Demidova N.A., Durkina T.M., Gogoleva L.G., Demidenko S.A., Bykov Yu.S., Paramonov A.A. *Rost i razvitie sosny skruchennoy (Pinus contorta Loud. var. latifolia S. Wats) v usloviyakh severnoy taygi* [Growth and development of a lodgepole pine (*Pinus contorta* Loud. var. *latifolia* S. Wats) in a northern boreal forest]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva* [Papers of the St. Petersburg Forestry Research Institute], 2016, no. 2, pp. 45–59.
- [12] Demidova N.A., Durkina T.M., Gogoleva L.G., Bykov Yu.S., Paramonov A.A. *Rost sosny skruchennoy (Pinus contorta Loud. var. latifolia S. Wats.) v Storozhhevskom lesnichestve Respubliki Komi* [Lodgepole Pine (*Pinus contorta* Loud. var. *latifolia* S. Wats.) growth in the Republic of Komi]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forest management information], 2017, no. 1, pp. 24–33.
- [13] Babich N.A., Andronova M.M. *Sosna skruchennaya — perspektivnyy introdutsent dlya ozeleneniya malyykh severnykh gorodov* [Lodgepole Pine — a Perspective Introduced Species for Greening of Northern Smaller Cities]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2014, no. 6 (342), pp. 155–160.
- [14] Elfving B., Ericsson T., Rosvall O. The introduction of lodgepole pine for wood production in Sweden — a review. *Forest Ecology and Management*, 2001, v. 141, pp. 15–29. DOI: [org/10.1016/S0378-1127\(00\)00485-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00485-0)
- [15] Backlund I., Bergsten U. Biomass Production of Dense Direct-Seeded Lodgepole Pine (*Pinus contorta*) at Short Rotation Periods. *Silva Fennica*, 2012, no. 46(4), pp. 609–623.
- [16] Kosichenko N. E., Kutsevalov M. A. *Osobennosti anatomicheskoy struktury khvoi i drevesiny sosny Myurreya* [Features of the anatomical structure of the needles and wood of Murray pine] *Genetika, selektsiya, semenovodstvo i introduktsiya lesnykh porod: sb. nauch. tr. TsNIILGiS* [Genetics, selection, seed production and introduction of forest species. Collected papers]. Voronezh: TsNIILGiS, 1977, v. 4, pp. 87–89.
- [17] Nesterovich N.D., Deryugina T.F. *Strukturnye osobennosti list'ev khvoynyykh* [Structural features of coniferous leaves]. Minsk: Nauka i tekhnika, 1986, 43 p.
- [18] Tsel'niker Yu. L., Malkina I.S., Kovalev A.G., Chmora S.N., Mamaev V.V., Molchanov A.G. *Rost i gazoobmen SO₂ u lesnykh derev'ev*. Moscow: Nauka, 1993, 256 p.
- [19] Liesche J., Martens H.J., Schulz A. Symplasmic transport and phloem loading in gymnosperm leaves. *Protoplasma*, 2011, v. 248, pp. 181–190.
- [20] Plyusnina S.N., Tuzhilkina V.V. *Strukturno-funktsional'naya kharakteristika fotosinteticheskogo apparata podrosta Pinus sylvestris (Pinaceae) v podzone sredney taygi evropeyskogo Severo-Vostoka* [Structural and functional characteristics of the photosynthetic apparatus of *Pinus sylvestris* (Pinaceae) undergrowth in the middle taiga subzone of the European Northeast]. *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical journal], 2021, v. 106, 11, pp. 1072–1084.
- [21] Smith H.J., Davis D.D. Histological changes induced in Scotch pine needles by sulfur dioxide. *Phytopathology*, 1978, v. 68, pp. 1711–1716.
- [22] Tuzhilkina V.V., Plyusnina S.N. *Strukturno-funktsional'nye izmeneniya khvoi sosny v usloviyakh aerotekhnogennoy zagryazneniya* [Structural and functional alterations of pine needles under conditions of aerotechnogenic pollution]. *Lesovedenie* [Forest science], 2020, no. 6, pp. 537–547.
- [23] Fedorkov A.L. *Izmenchivost' priznakov anatomicheskogo stroeniya khvoi sosny i ee ustoychivost' k tekhnogenomu i klimaticheskomu stressu* [Variability of signs of the anatomical structure of pine needles and its resistance to technogenic and climatic stress]. *Ekologiya* [Ecology], 2002, no. 1, pp. 70–72.
- [24] Kovaleva V.A., Vinogradova Yu.A., Pristova T.A., Fedorkov A.L. *Kharakteristika mikromitsetnogo kompleksa v podstilke eksperimental'nykh kul'tur sosny skruchennoy (Pinus contorta Dougl.)* [Characterisation of the micro-mycete complex in the litter of experimental cultures of lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl.)]. *Printsipy ekologii* [Principles of ecology], 2023, no. 2, pp. 67–77. DOI: 10.15393/j1.art.2023.13642
- [25] Pristova T.A., Fedorkov A.L. *Vidovoy sostav i fitomassa rasteniy napochvennogo pokrova v eksperimental'nykh kul'turakh sosny skruchennoy v Respublike Komi* [Species composition and phytomass of ground vegetation in experimental plantations of Lodgepole Pine in the Komi Republic]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva* [Papers of the St. Petersburg Forestry Research Institute], 2023, no. 1, pp. 40–53. DOI: 10.21178/2079-6080.2023.1.40
- [26] Evert R.F. *Anatomiya rasteniy Ezau. Meristemy, kletki i tkani rasteniy: stroenie, funktsii i razvitie* [Esau's plant anatomy. Meristems, cells and tissues of the plant body: their structure, functions and development]. Moscow: Binom. Laboratoriya znaniy, 2015, 600 p.
- [27] Fedorkov A.L. *Retrospektivnaya otsenka parametrov sokhrannosti khvoi u sosny obyknovennoy* [Retrospective assessment of the parameters of preservation of needles in Scots pine]. *Ekologiya* [Ecology], 2002, no. 6, pp. 478–480.
- [28] Feklistov P.A., Biryukov S.Yu., Fedyaev A.L. *Sravnitel'nye ekologo-biologicheskie osobennosti sosny skruchennoy i obyknovennoy v severnoy podzone evropeyskoy taygi* [Comparative ecological and biological features of lodgepole and Scots pine in the northern subzone of the European taiga]. Arkhangelsk: Arkhangelsk State Technical University, 2008, p. 116.
- [29] Demidova N.A., Durkina T.M., Gogoleva L.G., Vasil'eva N.N. *Drevesnye rasteniya evropeyskoy flory v kolleksii dendrologicheskogo sada FBU «Sevniilkh»* [Woody plants of European flora in the collection of the dendrological garden of the Federal Budgetary Institution «Sevniilkh»]. *Trudy po introduktsii i akklimatizatsii rasteniy. Udmurtskiy federal'nyy issledovatel'skiy tsentr Ural'skogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk* [Proceedings on the introduction and acclimatization of plants. Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Izhevsk, 2021, pp. 58–62.

- [30] Hetherington A.M., Woodward F.I. The role of stomata in sensing and driving environmental change. *Nature*, 2003, v. 424, pp. 901–908.
- [31] Feklistov P.A., Biryukov S.Yu. *Transpiratsiya khvoi sosny skruchennoy i obyknovennoy v usloviyakh Arkhangel'skoy oblasti* [Transpiration of needles of lodgepole and Scotch pine in the conditions of the Arkhangelsk region]. *Vestnik Pomorskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tochnye nauki* [Bulletin of the Pomeranian University. Series: Natural and exact sciences], 2007, no. 2, pp. 86–90.
- [32] Cite taxon page as 'WFO: *Pinus contorta* Douglas ex Loudon, 2022. Available at: <http://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0000481330#synonyms> (accessed 27.12.2022).
- [33] Shpak S.I., Lamotkin S.A., Lamotkin A.I., Skakovskiy E.D., Gaydukevich O.A., Kotov A.A. *Izmenchivost' sostava efirnykh masel v rodu Pinus* [Variability in the composition of essential oils in the family *Pinus*]. *Khimiya i tekhnologiya organicheskikh veshchestv* [Chemistry and technology of organic substances], 2008, no. 4, pp. 292–296.
- [34] Kheldt G.-V. *Biokhimiya rasteniy* [Plant biochemistry]. Moscow: BINOM, 2011, 471 p.
- [35] Cavaleiro C., Pinto E., Goncalves M.J., Salgueiro L. Antifungal activity of Juniperus essential oils against dermatophyte, Aspergillus and Candida strains. *J. Appl. Microbiol.*, 2006, v. 100, pp. 1333–1338.
- [36] Pristova T.A., Fedorkov A.L. *Elementnyy sostav Pinus contorta Dougl. i Pinus sylvestris L. v eksperimental'nykh kul'turakh Syktyvkar'skogo lesnichestva Respubliki Komi* [Elemental composition of *Pinus contorta* Dougl. and *Pinus sylvestris* L. in experimental cultures of the Syktyvkar forestry of the Komi Republic]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [News of the St. Petersburg Forestry Academy], 2023, no. 245, pp. 55–70. DOI: 10.21266/2079-4304.2023.245.55-70

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Institute of Biology of the Komi Scientific Centre of the Ural RAS Department «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» (122040100031-8).

Authors' information

Plyusnina Svetlana Nikolaevna✉ — Cand. Sci. (Biology), Researcher of the Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences, pljusnina@ib.komisc.ru
Fedorkov Aleksey Leonardovich — Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher of the Institute of Biology of Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, fedorkov@ib.komisc.ru
Gulyaev Roman Gennad'evich — Senior laboratory assistant of the Institute of Biology of Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, gulyaev@ib.komisc.ru

Received 12.01.2023.

Approved after review 14.04.2023.

Accepted for publication 28.11.2023.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article
The authors declare that there is no conflict of interest