УДК 630*161
DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-36-46
Шифр ВАК 4.1.2

# ФОРМИРОВАНИЕ ШИШЕК СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

**Е.Н. Наквасина[1]✉, Н.А. Прожерина[2], А.В. Чупров[3]**

[1]ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова» (САФУ), Россия, 163002, г. Архангельск, Набережная Северной Двины, д. 17
[2]ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова УрО РАН» (ФИЦКИА), Россия, 163000, г. Архангельск, пр-кт Никольский, д. 20
[3]Министерство природных ресурсов и лесопромышленного комплекса Архангельской области (Минлеспром АО), Россия, 163069, г. Архангельск, ул. Выучейского, д. 18

nakvasina@yandex.ru

На примере ряда климатипов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) 39-летнего возраста, произрастающих в географических культурах Архангельской области (62°54′ с. ш.), а также естественных насаждений показана реакция морфометрическими показателями зрелых макростробилов (шишек) на изменение климатических условий произрастания. Показано, что формирование шишек у потомства климатипа сосны обыкновенной из Мурманской области (67°51′ с. ш.) и из Ленинградской области (60°00′ с. ш.) происходит с морфометрическими отклонениями, связанными с реакцией на имитацию потепления или похолодания, по сравнению с местопроизрастанием исходных насаждений. Установлено проявление ответной реакции как на потепление, так и на похолодание в прямых и производных показателях шишек и их структурных частей, а также по формовому разнообразию шишек. Показаны проявления различного уровня генетического контроля за откликом линейных и массовых показателей при формировании шишек в измененных условиях среды, что может привести к изменению плотности тканей шишки. Доказано, что при климатических изменениях будут меняться параметры шишек — масса, размеры, при относительном сохранении морфотипов (формы апофиз), что может привести к изменению в количестве плодущих семенных чешуй, их размерности и повлияет на выход семян. Установлено, что реакция сосны обыкновенной на климатические изменения вегетативной и генеративной сферой показывает ее достаточно сходную направленность проявления при похолодании и при потеплении, и может быть связана как с особенностями популяций, так и с их географическим расположением в ареале породы.

**Ключевые слова:** сосна обыкновенная, климатипы, диаметр, высота, шишки, биометрия, изменение климата, реакция

**Ссылка для цитирования:** Наквасина Е.Н., Прожерина Н.А., Чупров А.В. Формирование шишек сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях изменения климата // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 4. С. 36–46. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-36-46

Географические культуры все чаще служат природной лабораторией для изучения не только практических вопросов, связанных с трансфером семян, но и для решения геногеографических задач, в том числе связанных с изучением реакции различных лесных видов на климатические изменения [1]. Использование в коллекциях происхождений, местопроизрастание материнских насаждений которых расположены севернее и южнее участка испытания, позволяет рассматривать потомство как произрастающее в условиях «имитации» потепления или похолодания. Как правило, изучая реакцию древесных пород на изменение климата, исследователи отдают предпочтение анализу роста и продуктивности происхождений древесных пород [2–4], реже рассматривают влияние климатических изменений на репродуктивную сферу [5]. По мнению Л.И. Милютина и Т.Н. Новиковой [6], в пределах вегетативной и генеративной сфер одного вида может быть разная реакция на изменение климата показателей роста и формирования органов растений. Это, вероятно, связано как с высокой внутрипопуляционной изменчивостью, тик и с различным уровнем генетического контроля и относится не только к отдельным органам дерева, но и к некоторым морфометрическим показателям.

Особый интерес в этом отношении представляют шишки (зрелые макростробилы), которые обладают морфологической стабильностью [7–9] и являются носителями наиболее информационных маркеров популяционной структуры вида [10, 11], причем максимально информативными считаются не абсолютные биометрические значения показателей, а аллометрические производные [14, 15]. Кроме того, морфофенотипические показатели шишек, в отличие от семян, стабильны во времени и сохраняют наследственный потенциал в разные годы репродукции [11].

© Автор(ы), 2023

У сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) отзывчивость репродуктивной сферы (размеров шишек, качества семян) на изменение термического фактора отмечалась и ранее. Так, активной была реакция северных рас сосны (Кольский п-ов) на повышение летней температуры воздуха по сравнению со средней многолетней, что проявилось прежде всего в увеличении числа шишек и резком усилении всхожести семян [14]. Подобные реакции в морфометрических и качественных показателях шишек и семян зафиксированы у северных климатипов сосны обыкновенной в географических культурах в Архангельской обл. [15]. Это связано с низкой адаптированностью репродуктивной сферы сосны обыкновенной к суровым условиям произрастания на севере [16].

В то же время для северных рас сосны обыкновенной характерна наследственно закрепленная меньшая потребность в сумме температур, необходимых для реализации роста [17, 18], что отмечалось и в наших исследованиях [19]. Рост северных рас сосны обыкновенной при перенесении в более южные условия произрастания усиливался, тем не менее, не достигал показателей роста местного потомства.

Репродуктивная лабильность северной сосны к улучшению условий произрастания, возможно, связана с различным уровнем генетического контроля генеративной и вегетативной сфер, их разной степенью наследственной закрепленности при миграции вида и его эволюционной адаптации к условиям произрастания на родине современных популяций. Нами была высказана гипотеза: при перенесении потомства в новые условия (более теплые или более холодные по сравнению с местом произрастания материнских насаждений), реакция вегетативной и генеративной сфер, а также атрибутика генеративных признаков могут различаться. Ее следует проверить, при этом важно сравнить отклик показателей роста вида с учетом разницы в климатических характеристиках мест произрастания исходных насаждений и мест выращивания потомства (пункт испытания) [20, 21].

## Цель работы

Цель работы — изучение морфолого-биометрических показателей шишек сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) из Мурманской и Ленинградской областей на изменение климатических показателей при произрастании потомства в географических культурах (Архангельская область).

## Объекты и методы исследования

Базовым объектом исследования служили потомства сосны обыкновенной, произрастающие в географических культурах Архангельской обл. (Плесецкое лесничество), созданных в 1977 г. посадкой трехлетних сеянцев. По лесорастительному районированию С.Ф. Курнаева [22], территория относится к подзоне средней тайги. Для сравнительных испытаний подобрали два климатипа — из Мурманской и Ленинградской областей (табл. 1), места произрастания исходных насаждений которых расположены соответственно к северу и югу от места испытания, для того, чтобы проследить реакцию сосны обыкновенной на потепление и на похолодание, отразить особенности географических рас. В качестве контроля использовали местный климатип (из Плесецкого р-на Архангельской обл.).

В поименованных климатипах (возраст культур 39 лет) проводили замеры диаметров стволов на высоте 1,3 м у не менее 100 деревьев. Среднюю высоту устанавливали по графику высот, замеряя высоты и диаметры стволов у 20–25 деревьев в каждом климатипе.

Для анализа собрали не менее чем 30 шишек с разных деревьев каждого изучаемого насаждения (климатипы в географических культурах и естественные насаждения в местах произрастания их исходных популяций), что позволяет провести оценку с достаточной точностью [24]. Шишки в естественных насаждениях заготовлены в Мурманской (69°02′ с. ш. 33°02′ в. д.) и Ленинградской (59°32′ с. ш. 30°52′ в. д.) областях, в пунктах, соответствующих по местоположению и условиям произрастания (черничные типы леса) исходным насаждениям потомства в географических культурах.

Сбор исходного материала с близких по местоположению популяций обусловлен генетическими исследованиями, показывающими отсутствие дифференциации и генетических подразделений у популяций из разных лесосеменных районов, места произрастания которых отстоят на сотни и тысячи километров [9, 25]. В частности, на достаточно больших по площади территориях (например, в Якутии) не выявлена связь морфолого-фенотипических показателей шишек сосны обыкновенной с географическим размещением популяций [11].

Изучение морфометрических показателей шишек сосны проводили в соответствии с методикой, предложенной Н.Н. Бессчетновой [13]. Рассчитывали такие прямые показатели, как длина шишки ($L$, мм), максимальный диаметр шишки ($D_m$, мм), масса шишки в абсолютно сухом состоянии ($M$, г), боковое расстояние от вершины шишки до плоскости ее максимального диаметра ($L_1$, мм), а также ряд производных (10 показателей), основанных на расчетах с использованием полученных линейных замеров отдельных структурных частей шишек и взвешиваний абсолютно

Таблица 1

**Географические и климатические показатели мест произрастания исходных насаждений**

**Geographical and climatic characteristics of the original plantations**

| Показатель | Мурманская обл. (климатип № 1) | Архангельская обл. (климатип № 4) | Ленинградская обл. (климатип № 19) |
|---|---|---|---|
| Подзона тайги [22] | Северная | Средняя | Южная |
| Географические координаты | 67°51′ с. ш. 32°57′в. д. | 62°54′ с. ш. 40°24′ в. д. | 60°00′ с. ш. 30°25′ в. д. |
| Температура воздуха:<br>сумма значений выше +5 °С<br>среднегодовая | <br>1220<br>–1,5 | <br>1810<br>1,0 | <br>1900<br>4,0 |
| Продолжительность вегетационного периода, сут | 90 | 148 | 160 |

Таблица 2

**Отзывчивость роста в высоту и по диаметру ствола климатипов сосны обыкновенной северного и южного происхождения относительно пункта испытания (возраст культур 39 лет)**

**Response of growth in height and trunk diameter of Scots pine of northern and southern origin relative to the test site (age of cultivars 39 years)**

| Показатель | Мурманская обл. (климатип № 1) | Архангельская обл. (климатип № 4) | Ленинградская обл. (климатип № 19) |
|---|---|---|---|
| Сохранность культур, % | 39,9 | 35,3 | 10,8 |
| Высота сосны, *H*, м | 13,1 | 16,7 | 18,4 |
| Диаметр ствола, *D*, см | 13,4 ± 0,42 | 18,3 ± 0,42 | 23,8 ± 0,80 |
| Интенсивность роста потомства, *H*/*D* | 0,98 | 0,91 | 0,77 |
| Объем ствола, м$^3$ | 0,094 | 0,214 | 0,394 |
| Запас древесины*, м$^3$/га | 149 | 302 | 170 |
| *В расчете на среднюю густоту лесных культур в регионе (4000 шт./га). | | | |

сухих шишек (высушивание при температуре 105 °С). К производным показателям, по работе [13], относили *L*/*D* — коэффициент формы; $L_o$ — высота основания шишки; *hk* — осевое расстояние от вершины шишки до плоскости максимального диаметра; $Ohl_1$ — отношение длины шишки к боковому расстоянию от вершины до плоскости максимального диметра; $V_к$ — объем конуса; $V_с$ — объем сегмента; $V_к + V_с$ — суммарный объем конуса и сегмента; *m*/*L* — линейно распределенная масса шишки; $M/V_к + V_с$ — отношение массы шишки к суммарному объему конуса и сегмента, что косвенно характеризует плотность шишки; $V_с/V_к$ — отношение объема сегмента к объему конуса.

Статистическую обработку материала проводили в программе SPSS Statistics 22.0. Достоверность значения статистических показателей принимали при относительной погрешности $p < 0,05$. Сравнение средних значений изученных показателей шишек сосны между климатипами, произрастающими в естественных древостоях и географических культурах, проводили по критерию Стьюдента, гомогенность дисперсий каждого параметра проверяли по тесту Левена. Для оценки влияния места произрастания на исследуемые параметры шишек сосны использовали однофакторный дисперсионный анализ и рассчитывали силу влияния фактора ($\eta^2$).

## Результаты и обсуждение

Рост климатипов сосны обыкновенной мурманского и ленинградского происхождения (табл. 2) соответствует общей клинальности изменений в географических культурах, отмечаемых нами ранее [19] и зональности геногеографических трендов [26].

Сосна мурманского происхождения, у исходных насаждений которой, произрастающих почти на 5° широты к северу от пункта испытания, характеризуется усилением роста по высоте, и по диаметру ствола, однако не достигает значений показателей местного климатипа. Сосна ленинградского происхождения, произрастающая южнее относительно пункта испытания, сохраняет присущий ей интенсивный рост, но снижает его, по сравнению с ростом в местах произрастания материнских насаждений, сохраняя превышение по высоте и диаметру ствола над местным климатипом из Архангельской обл. Сохраняется клинальность относительного показателя *H*/*D*, отражающего интенсивность роста потомства. Снижение до 0,77 показателя *H*/*D* (отношение высоты к диаметру ствола) у потомства ленин-

Таблица 3

**Разнообразие шишек по формам апофиза**

**Diversity of cones by apophysis shape**

| Форма апофиза | Мурманская обл. | | Архангельская обл. (климатип № 4) | Ленинградская обл. | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Климатип № 1 | Естественная популяция | | Климатип № 19 | Естественная популяция |
| f. plana | 7,1 | 3,2 | 7,1 | 6,7 | 11,6 |
| f. gibba | 14,3 | 49,2 | 71,4 | 86,7 | 62,7 |
| f. reflexa | 78,6 | 47,6 | 21,4 | 6,7 | 25,7 |

градского происхождения, несомненно, связано с падением сохранности, что обеспечивает редкое стояние деревьев и увеличение прироста по диаметру ствола.

Реакция потомства на изменение условий среды связана прежде всего с температурным фактором. В оценке отзывчивости роста северных и южных климатипов термический фактор имеет важное значение в силу его неравномерности и криволинейности кумуляции в пределах севера Восточно-Европейской равнины, рассмотренной в работе И.В. Волосевича [23]. Температурный фактор на 50 % отражает рост лесных пород [27] и влияет на длительность вегетационного периода. В высоких широтах — к северу от пункта испытания различия в сумме активных температур воздуха (выше +5 °С) на каждый градус северной широты выше, чем к югу (см. табл. 1). Различная отзывчивость северных и южных потомств при изменении условий произрастания определяется их наследственными особенностями, закрепленными в генотипе, а также временем адаптации вида к конкретным условиям произрастания, что связано с его древней миграцией или сохранением более ранних форм из рефугиумов [26].

В соотношении с ростовым откликом по диаметру ствола и высоте у сосны обыкновенной вполне ожидаемо получение аналогичной реакции на климатические изменения других биометрических систем вида, в частности размерности шишек и их структурных частей. В то же время предполагается относительная стабильность присущих популяциям таких морфотипов, как форма апофиза шишек (табл. 3).

Во всех изученных климатипах и естественных популяциях сохраняется общая для вида меньшая представленность гладкой формы апофиза (f. plana) и преобладание формы пирамидки (f. gibba) и крючка (f. reflexa). Близкие по местопроизрастанию (в пределах 3° с. ш.) сосны архангельского и ленинградского происхождения отличаются преобладанием f. gibba — 63–87 %. Сосна мурманского происхождения по соотношению форм апофизов шишек имеет отличия в сторону увеличения доли f. reflexa, которая в потомстве сосны в географических культурах Архангельской обл. достигает 78 %. В естественном насаждении из Мурманской обл. доля f. reflexa несколько ниже (47 %), что может быть связано, скорее, с трудностью определения форм на мелких шишках, характерных для этой сосны, так как форма апофиза шишек определяется генотипически и не зависит от условий произрастания [12]. Однако нельзя исключать и влияние высокого уровня популяционного полиморфизма, присущего популяциям сосны обыкновенной в северном пределе ареала [28].

Исходными для оценки формирования шишек являются прямые биометрические показатели (табл. 4), которые совместно с дополнительными замерами будут определять расчетные производные, показывающие комплексность показателей отдельных частей или разноплановых показателей (линейных, массовых).

Как отмечалось ранее [19, 29], в разном возрасте культур параметры шишек у потомства разного географического происхождения (климатипы №№ 1, 4, 19) при произрастании в одних условиях пункта испытания нивелируются, а расхождения по массе, длине и ширине шишек недостоверны (см. табл. 4). Сохраняются только наследственные различия по показателю $L_1$ (боковое расстояние от вершины шишки до плоскости ее максимального диаметра) между крайними вариантами — самым северным из изучаемых климатипов Мурманской обл. и самым южным — из Ленинградской обл., расстояние между родиной исходных насаждений которых в системе географических координат составляет почти 8° по широте.

Рассматривая влияние климатических изменений на формирование шишек потомства в естественной среде, соответствующей местопроизрастанию потомства сосны, и в пункте испытания (изменение условий соответствует потеплению или похолоданию для сосен мурманского и ленинградского происхождения), сравнили показатели шишек в пределах сосен одноименного происхождения. При имитации потепления (мурманское происхождение), соответствующего повышению на 590 °С суммы активных температур воздуха выше + 5 °С, отмечаются существенные

Таблица 4

## Прямые и производные биометрические показатели шишек

**Direct and derived biometric parameters of cones**

| Показатель | Средние данные | | | | | Результаты дисперсионного анализа | | | | Сравнение между одноименными происхождениями ($p$) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Мурманская обл. (климатип № 1) | Ленинградская обл. (климатип № 19) | Архангельская обл. (климатип № 4) | Мурманская обл. (естественная популяция) | Ленинградская обл. (естественная популяция) | $S_\alpha^2$ | $Sr^2$ | $F_{факт.}$ | $h^2$ | Мурманская обл. | Ленинградская обл. |
| Прямые биометрические показатели | | | | | | | | | | | |
| $L$ | 40,60 ± 1,58 | 42,20 ± 0,67 | 41,10 ± 1,04 | 33,50 ± 0,60 | 41,60 ± 0,77 | 2722,94 | 5867,36 | 21,93 | 0,32 ± 0,02 | 0,000 | 0,592 |
| $D$ | 21,50 ± 0,54 | 22,00 ± 0,32 | 19,90 ± 0,44 | 20,70 ± 0,24 | 21,60 ± 0,35 | 150,51 | 925,62 | 7,68 | 0,14 ± 0,02 | 0,010 | 0,350 |
| $M$ | 4,84 ± 0,32 | 4,62 ± 0,21 | 5,01 ± 0,25 | 2,31 ± 0,08 | 5,01 ± 0,22 | 278,42 | 277,95 | 46,58 | 0,50 ± 0,02 | 0,000 | 0,218 |
| $L_1$ | 28,73 ± 0,93 | 31,20 ± 0,66 | 30,00 ± 1,10 | 25,50 ± 0,57 | 33,60 ± 0,57 | 1850,06 | 3879,08 | 22,54 | 0,32 ± 0,02 | 0,006 | 0,003 |
| Производные биометрические показатели | | | | | | | | | | | |
| $L/D$ | 1,90 ± 0,05 | 1,90 ± 0,02 | 2,10 ± 0,04 | 1,70 ± 0,24 | 2,00 ± 0,35 | 3,60 | 7,17 | 23,73 | 0,33 ± 0,02 | 0,000 | 0,594 |
| $Ohl_1$ | 1,44 ± 0,06 | 1,37 ± 0,04 | 1,41 ± 0,06 | 1,32 ± 0,01 | 1,24 ± 0,01 | 0,95 | 7,81 | 5,76 | 0,11 ± 0,02 | 0,079 | 0,001 |
| $L_o$ | 6,80 ± 0,38 | 7,20 ± 0,26 | 8,00 ± 0,27 | 10,21 ± 0,21 | 11,28 ± 0,27 | 583,19 | 550,44 | 50,06 | 0,51 ± 0,02 | 0,000 | 0,000 |
| $M/L$ | 1,18 | 1,10 | 1,22 | 0,93 | 1,20 | 0,11 | 0,22 | 23,64 | 0,34 ± 0,02 | 0,000 | 0,208 |
| $hk$ | 26,52 ± 1,01 | 29,18 ± 0,72 | 28,24 ± 1,16 | 23,47 ± 0,60 | 31,96 ± 0,61 | 2005,62 | 4415,64 | 21,46 | 0,31 ± 0,02 | 0,007 | 0,004 |
| $V_к$ | 3,26 ± 0,20 | 3,70 ± 0,12 | 2,98 ± 0,18 | 2,50 ± 0,10 | 3,89 ± 0,12 | 60,21 | 139,91 | 20,33 | 0,31 ± 0,02 | 0,000 | 0,300 |
| $V_с$ | 3,35 ± 0,45 | 3,63 ± 0,40 | 2,69 ± 0,37 | 2,13 ± 0,09 | 2,63 ± 0,36 | 58,85 | 693,99 | 4,01 | 0,08 ± 0,02 | 0,013 | 0,072 |
| $V_к + V_с$ | 6,61 ± 0,06 | 7,32 ± 0,43 | 5,67 ± 0,42 | 4,62 ± 0,16 | 6,51 ± 0,44 | 195,74 | 1053,09 | 8,78 | 0,16 ± 0,02 | 0,021 | 0,208 |
| $M/V_к + V_с$ | 0,73 | 0,63 | 0,88 | 0,50 | 0,77 | 6,97 | 36,66 | 8,84 | 0,16 ± 0,02 | 0,003 | 0,057 |
| $V_с/V_к$ | 1,00 ± 0,11 | 1,00 ± 0,11 | 0,98 ± 0,13 | 0,91 ± 0,04 | 0,65 ± 0,08 | 5272,07 | 131292,17 | 1,90 | 0,04 ± 0,02 | 0,457 | 0,011 |

*Примечание*. $Sr^2$ — оценка дисперсии внутри групп; $S_\alpha^2$ — оценка дисперсии между группами; $F_{0,05} = 2,46$; $h^2$ — коэффициент детерминации.

различия ($t_{факт}$ = 2,9…7,7 при $t_{0,05}$ = 2,0) по длине шишки, боковому расстоянию от вершины шишки до плоскости ее максимального диаметра ($L_1$) и массе шишек сосны обыкновенной. Различия по диаметру шишки не существенны, что свидетельствует о его высоком уровне генетического контроля. При имитации похолодания на 90 °С (ленинградское происхождение), соответствующего понижению суммы среднесуточных значений температуры воздуха выше + 5 °С, различия между шишками потомства в естественных насаждениях и в географических культурах по основным биометрическим показателям несущественны. Изменение внешних условий повлияло только на показатель $L_1$, отражающий боковое расстояние от вершины шишки до плоскости ее максимального диаметра: $t_{факт}$ = 2,8 при $t_{0,05}$ = 2,0.

Сравнение по критерию Стьюдента пар одноименного происхождения по прямым показателям шишек (см. табл. 4), подтверждает различия у всех прямых показателей для сосны обыкновенной мурманского происхождения, и только одного показателя $L_1$ для сосны ленинградского происхождения. Такие показатели, как длина, ширина и масса шишки у сосны обыкновенной ленинградского происхождения показали гомогенность дисперсии, что, возможно, связано с невысокими различиями в показателях внешней среды, несмотря на различия в географическом происхождении, достигающих 3° по широте.

Однофакторный дисперсионный анализ, проведенный по всем пяти испытуемым вариантам, показывает различную силу влияния фактора принадлежности к популяциям различного географического происхождения на формирование шишек сосны. Для линейных показателей ($L$ и $L_1$) сила влияния фактора происхождения составляет 32 %. Самая низкая сила влияния характерна для показателя диаметра шишек (14 %), самая высокая — для массы шишки (50 %). В частности, для плюсовых деревьев в Нижегородской обл. показатель силы влияния аналогичных прямых факторов составлял 12…19 % [13].

Производные морфометрические показатели шишек, основанные на прямых, достаточно разноплановы относительно уровня генетической детерминированности у сосны обыкновенной из естественных насаждений и произрастающих в географических культурах. Сила влияния фактора принадлежности к изученным популяциям различного географического происхождения изменяется от 4 до 51 % (см. табл. 4). Наиболее высокие различия между пятью популяциями разного географического происхождения характерны для показателя $L_o$ (высота основания шишки). При сравнении одноименных потомств (в местопроизрастании исходных насаждений и при произрастании их потомства в измененных условиях) он значимо дифференцирован ($p$ < 0,05).

В то же время показатели, связанные с линейными замерами вершинной части шишки ($hk$ — осевое расстояние от вершины шишки до плоскости максимального диаметра; $Ohl_1$ — отношение длины шишки к боковому расстоянию от вершины до плоскости максимального диметра), имеют меньшую генетическую детерминированность в пределах изученных популяций разного географического происхождения (11 и 31 %), однако по показателю $hk$ (длина оси вершины шишки) различия между популяциями мурманского и ленинградского происхождения подтверждены на 5%-м уровне значимости ($p$ > 0,05). Эти закономерности различий в размерности осей основания и вершинки сохраняются и при расчете объемных показателей.

Особый интерес в оценке формирования шишек имеют показатели, построенные на объединении массовых и линейно-объемных данных: $M/L$ и $M/V_с + V_к$, которые косвенно отражают плотность тканей шишки. Сила влияния фактора, по Плохинскому, составляет 34 и 16 % соответственно, что ближе к линейным и объемным показателям, участвующим в расчете. При сравнении одноименных пар популяций (естественные насаждения и потомство в географических культурах) значимые различия ($p$ < 0,05) на 5%-м уровне значимости установлены для сосны мурманского происхождения, тогда как шишки сосны ленинградского происхождения по этим показателям были гомогенны. При произрастании в средней подзоне тайги (Архангельская обл.) у сосны мурманского происхождения значимо повышается плотность тканей шишки с 0,93 до 1,18 для показателя $M/L$, с 0,5 до 0,73 для показателя $M/V_с + V_к$. Сосна ленинградского происхождения при ухудшении условий произрастания (см. табл. 1) характеризуется некоторым снижением плотности шишки, но не существенным: с 1,2 до 1,1 и с 0,77 до 0,63 соответственно по показателям.

В целом, рассматривая 14 биометрических показателей шишек сосны обыкновенной, при сравнении популяций на местопроизрастании исходных насаждений и при выращивании в более теплых климатических условиях, для сосны мурманского происхождения достоверные различия (по критерию Стьюдента) доказываются в 12 случаях, для сосны ленинградского происхождения — в четырех. Это позволяет утверждать ее значительную реакцию на изменение климатических условий при изменении места произрастания на 5° по широте в связи с соответствующим изменением термического фактора. Северотаежная сосна обыкновенная из высоких широт проявляет отзывчивость на изменение

климатических условий произрастания не только в линейном росте ствола, но и в формировании репродуктивных органов, в частности зрелых макростробилов (шишек). При произрастании в более теплых условиях средней подзоны тайги у северотаежных потомств сосны увеличиваются размеры шишек, но, видимо, при этом снижается плотность древесных тканей шишки.

При изучении шишек в коллекции климатипов сосны обыкновенной (22 климатипа), произрастающих в географических культурах сосны обыкновенной в Архангельской обл., ранее была отмечена [29] разнонаправленная связь показателей шишек с географическими координатами и климатическими характеристиками местопроизрастания исходных насаждений. С линейными показателями (длинной и диаметром шишки) связь была положительная (коэффициент корреляции $r$ = 0,34…0,48), а с массой и плотностью шишки (показатель $M/L$) — отрицательной ($r$ = –0,43…–0,47). Это позволяет сделать вывод о том, что формирование размеров и массы шишек контролируется различными генными системами.

Кроме генной дифференцированности массовых и линейных показателей в формировании шишки замечена также разнонаправленность развития отдельных структурных частей самой шишки, в частности ее основания и конуса вершинки. Даже в пределах одного органа (шишки) они имеют различный уровень влияния, различающийся почти в 2 раза: основание шишки (показатель $L_o$) 51 %, вершинка (показатель $hk$) 31 %. Д.С. Абдуллина, И.В. Петрова [11] относят подобные данные, связанные с частями шишки сосны обыкновенной в Якутии, к показателям той группы факторов, на долю которых приходится 9 % общей дисперсии.

С нашей точки зрения полученные результаты позволяют судить о достаточно сложной полигенной и разнонаправленной дифференциации в формировании отдельных вегетативных и генеративных органов сосны обыкновенной, произрастающей на Восточно-Европейской равнине, при наступлении климатических изменений. На сложную систему географических проявлений в полиморфизме древесных пород указывали Л.И. Милютин, Т.Н. Новикова [6]. Эти изменения не будут одинаковы для сосен, произрастающих на разных широтах. Различная фенотипическая пластичность породы, в том числе и сосны обыкновенной, имеющей огромный непрерывный ареал, приводит к дифференцированному отклику на изменения климата, связанному с ее ростом [3, 4, 19]. Отзывчивость сосны будет определяться условиями, в которых сформировался генотип популяции, и зависеть от уровня климатических изменений [5].

В пределах ареала у сосны обыкновенной может быть различная реакция на климатические изменения в связи с ее географическим произрастанием и адаптационными дифференциациями. Реакция на климатические изменения будет проявляться в продуктивности насаждений, при потеплении — в сторону увеличения высоты, диаметра ствола, а следовательно, и запасов древесины. В то же время будут изменяться не только урожай и качественные показатели семян, но и параметры шишек — масса, размеры при относительном сохранении морфотипов (формы апофиза). Однако изменение размерных и массовых параметров шишек, их дифференцированный отклик в отдельных частях в пределах шишки, может привести к трансформациям количества плодущих семенных чешуй, их размерности, повышенному формированию выполненных семян и различиям в открытии чешуй при высушивании, что повлияет на выход семян. Эти вопросы пока не изучены и не отражены в исследовательских публикациях.

## Выводы

Проведенные исследования показывают сложную дифференциацию по отдельным признакам и их комбинациям в формировании шишек в измененных условиях среды, причем как в сторону потепления, так и похолодания. Выделяется разнонаправленность ответной реакции линейных и массовых показателей, отражающаяся в изменении плотности тканей, что также требует дополнительного изучения, по крайней мере в отношении прочности шишек и сроков их деструкции при формировании детрита при опадении.

Фенотические вариации сосны обыкновенной, которые могут возникнуть при климатических изменениях, в достаточной степени не изучены. Основное внимание в исследованиях уделяется росту, продуктивности, фенологическим проявлениям вегетативной и генеративной сфер. Практически не изученной остается реакция генеративной сферы, связанная с размерностью шишек, формированием ее структурных элементов, что может оказать влияние на запасы семенного материала в лесах и влиять на естественное возобновление при климатических изменениях.

## Список литературы

[1] Милютин Л.И., Новикова Т.Н., Тараканов В.В., Тихонова И.В. Сосна степных и лесостепных боров Сибири. Новосибирск: Гео, 2013. 127 с.

[2] Rehfeldt G.E., Tcebakova N.M., Milyutin L.I., Parfenova E.I., Wykoff W.R., Kouzmina N.A. Assessing Population Responses to Climate in Pinussylvestris and Larix spp. of Eurasia with Climate-Transfer Models // Eurasian J. For. Res., 2003, v. 6–2, pp. 83–98.

[3] Reich P.B., Oleksyn J. Climate warming will reduce growth and survival of Scots pine except in the far north // Ecol. Letter., 2008, v. 11(6), pp. 588–597. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2008.01172.x
[4] Matías L., Jump A.S. Impacts of predicted climate change on recruitment at the geographical limits of Scots pine // J. of Experimental Botany, 2014, v. 65, no. 1, pp. 299–310. DOI:10.1093/jxb/ert376
[5] Nakvasina E.N., Prozherina N.A. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) reaction to climate change in the provenance tests in the north of the Russian plain // Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry, 2021, v. 63 (2), pp. 138–149.
[6] Милютин Л.И., Новикова Т.Н. Дискуссионные проблемы лесной генетики и селекции // Лесоведение, 2019. № 6. С. 586–589.
[7] Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. М.: Наука, 1964. 190 с.
[8] Попов П.П. Ель европейская и сибирская: структура, интеграция и дифференциация популяционных систем. Новосибирск: Наука, 2005. 231 с.
[9] Петрова И.В., Санников С.Н. Изоляция и феногенетическая дифференциация равнинных и горных популяций сосны обыкновенной в Северной Евразии // Генетические и экологические исследования в лесных экосистемах. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2001. С. 4–72.
[10] Видякин А.И., Санников С.Н., Петрова И.В., Санникова Н.С. Постгляциальная миграция и феногеография популяций сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на Северо-Востоке Русской равнины // Известия РАН. Сер. биол., 2014. № 3. С. 304–308.
[11] Абдуллина Д.С., Петрова И.В. Дифференциация популяций сосны обыкновенной по фенотипическим признакам на северо-восточном пределе ареала // Аграрный вестник Урала, 2012. № 9 (101). С. 34–36.
[12] Видякин А.И. Основные итоги феногеноегеографического исследования популяционно-хорологической структуры сосны обыкновенной на Северо-Востоке Русской равнины // Вестник института биологии, 2012, № 3. С. 15–19.
[13] Бессчетнова Н.Н. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Репродуктивный потенциал плюсовых деревьев. Нижний Новгород: Изд-во НГСА, 2015. 586 с.
[14] Белецкий И.Б. Об использовании естественных насаждений для обеспечения Мурманской области доброкачественными семенами местного происхождения // Рубки и восстановления леса на Севере. Архангельск: Северо-Западное книжн. изд-во, 1968. С. 167–180.
[15] Наквасина Е.Н., Бедрицкая Т.В. Семенные плантации северных экотипов сосны обыкновенной. Архангельск: Изд-во Поморского университета, 1999. 140 с.
[16] Сурсо М.В. Фенология репродуктивных циклов и качество семян хвойных (Pinaceae, Cupressaceae) в северной тайге // Arctic Environmental Research., 2017. Т. 17. № 4. С. 355–367.
[17] Oleksyn J., Tjoelker M.G., Reich P.B. Adaptation to changing environment in Scots pine populations across a latitudinal gradient // Silva Fennica, 1998, v. 32(2), pp. 129–140.
[18] Leites L.P., Robinson A.P., Rehfeldt G.E., Marshall J.D., Crookston N.L. Height-growth response to climatic changes differs among populations of Douglas-fir: a novel analysis of historic data // Ecological Applications, 2012, v. 22(1), pp. 154–165.
[19] Наквасина Е.Н., Юдина О.А., Прожерина Н.А., Камалова И.И., Минин Н.С. Географические культуры в ген-экологических исследованиях на Европейском Севере. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2008. 308 с.
[20] Rieksts-Riekstins J., Jansons A., Smilga J., Baumanis I., Ray D., Connolly T. Climate suitability effect on tree growth and survival for scots pine provenance in Latvia // Research for rural development, 2014, v. 2 pp. 57–62.
[21] Gömöry D., Longauer R., Hlásny T., Palacaj M., Strmeň S., Krajmerova D. Adaptation to common optimum in different populations of Norway spruce (Picea abies Karst.) // European J. of Forest Research, 2012, v. 131, pp. 401–411.
[22] Курнаев С.Ф. Лесорастительное районирование СССР. М.: Лесная пром-сть, 1973. 240 с.
[23] Попов А.В., Велисевич С.Н. Внутрипопуляционная изменчивость качества шишек и семян кедра сибирского на плантации с разреженной посадкой // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 3. С. 34–41. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-34-41
[24] Ромедер Э., Шенбах Г. Генетика и селекция лесных пород. М.: Сельхозиздат, 1962. 268 с.
[25] Зацепина К.Г., Тараканов В.В., Кальченко Л.И., Экарт А.К., Ларионова А.Я. Дифференциация популяций сосны обыкновенной в ленточных борах Алтайского края, выявленная с применением маркеров различной природы // Сибирский лесной журнал, 2016. № 5. С. 21–32
[26] Санников С.Н., Петрова И.В. Филогеногеография и генотаксономия популяций вида *Pinus sylvestris* L. // Экология, 2012. № 4. С. 252–260.
[27] Magnani F, Nolè A, Ripullone F, Grace J. Growth patterns of Pinus sylvestris across Europe: a functional analysis using the HYDRALL model // iForest, 2009, no. 2, pp. 162–171. DOI: 10.3832/ifor0516-002
[28] Пименов А.В. Биоразнообразие сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в контрастных экотопах юга Сибири: автореф. дис. …. д-ра биол. наук: 03.02.01 «Ботаника». Красноярск, Институт леса им. В.Н. Сукачева, 2015. 40 с.
[29] Чупров А.В., Наквасина Е.Н., Прожерина Н.А Изменчивость шишек сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающей в географических культурах Архангельской области // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 3. С. 24-33. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-24-33

## Сведения об авторах

**Наквасина Елена Николаевна**✉ — д-р с.-х. наук, профессор, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), nakvasina@yandex.ru

**Прожерина Надежда Александровна** — канд. биол. наук, ст. науч. сотр., ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН», pronad1@yandex.ru

**Чупров Алексей Владимирович** — аспирант, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), ст. спец. 1-го разряда управления использования лесов и договорных отношений Министерства природных ресурсов и лесопромышленного комплекса Архангельской области (Минлеспром АО), alexchuprov@mail.ru

Поступила в редакцию 23.01.2023.
Одобрено после рецензирования 16.03.2023.
Принята к публикации 25.05.2023.

# SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) CONE FORMATION UNDER CHANGING CLIMATE

**E.N. Nakvasina[1]✉, N.A. Prozherina[2], A.V. Chuprov[3]**

[1]Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (NArFU), Severnaya Dvina emb., 17, 163002, Arkhangelsk, Russia
[2]N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Nikolsky pr., 20, 163020, Arkhangelsk, Russia
[3]Ministry of Natural Resources and Forestry of Arkhangelsk Region, Vyucheyskogo St., 18, 163000 Arkhangelsk, Russia

nakvasina@yandex.ru

On the example of a number of provenances of the Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) of 39 years of age, growing in provenance tests of the Arkhangelsk region (62°54′ n. w.), as well as natural plantings, the reaction of morfometric indicators of mature macrostrobiles (cones) is shown to change the climatic conditions of growth. It is shown that the formation of cones in the offspring of the provenance of Scots pine from the Murmansk region (67°51′ s. w.) and from the Leningrad region (60°00′ s. sh.) occurs with morphometric deviations associated with a reaction to simulated warming or cooling compared to the location of the original plantings. The manifestation of a response to both warming and cooling has been established in direct and derived indicators of cones and their structural parts, as well as in the form diversity of cones. The manifestations of different levels of genetic control over the response of linear and mass indicators during the formation of cones in altered environmental conditions are shown, which can lead to a change in the density of the cone tissues. It is proved that during climatic changes, the parameters of cones will change — weight, size, with relative preservation of morphotypes (apophysis forms), which can lead to a change in the number of fertile seed scales, their dimension and affect the yield of seeds. It has been established that the reaction of the scots pine to climatic changes by the vegetative and generative spheres shows its rather similar direction of manifestation during cooling and warming, and can be associated with both the characteristics of populations and their geographical location in the area of the breed.
**Keywords:** Scots pine, provenances, diameter, height, cones, biometrics, climate change, response

**Suggested citation:** Nakvasina E.N., Prozherina N.A., Chuprov A.V. *Formirovanie shishek sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) v usloviyakh izmeneniya klimata* [Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) cone formation under changing climate]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2023, vol. 27, no. 4, pp. 36–46.
DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-36-46

## Reference

[1] Milyutin L.I., T.N. Novikova, V.V. Tarakanov, I.V. Tihonova. *Sosna stepnyh i lesostepnyh borov Sibiri* [Pine of steppe and forest-steppe forests of Siberia]. Novosibirsk: Geo, 2013, 127 p.
[2] Rehfeldt G.E., Tcebakova N.M., Milyutin L.I., Parfenova E.I., Wykoff W.R., Kouzmina N.A. Assessing Population Responses to Climate in Pinussylvestris and Larix spp. of Eurasia with Climate-Transfer Models. Eurasian J. For. Res., 2003, v. 6–2, pp. 83–98.
[3] Reich P.B., Oleksyn J. Climate warming will reduce growth and survival of Scots pine except in the far north. Ecol. Letter., 2008, v. 11(6), pp. 588–597. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2008.01172.x
[4] Matías L., Jump A.S. Impacts of predicted climate change on recruitment at the geographical limits of Scots pine. J. of Experimental Botany, 2014, v. 65, no. 1, pp. 299–310. DOI:10.1093/jxb/ert376
[5] Nakvasina E.N., Prozherina N.A. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) reaction to climate change in the provenance tests in the north of the Russian plain. Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry, 2021, v. 63 (2), pp. 138–149.

[6] Milyutin L.I., Novikova T.N. *Diskussionnye problemy lesnoj genetiki i selekcii* [Debatable problems of forest genetics and breeding]. *Lesovedenie* [Forestry], 2019. No. 6. pp. 586-589.
[7] Pravdin L.F. *Sosna obyknovennaya. Izmenchivost', vnutrividovaya sistematika i selektsiya* [Common pine. Variability, intraspecific taxonomy and selection]. Moscow: Nauka, 1964, 190 p.
[8] Popov P.P. *El' evropeyskaya i sibirskaya: struktura, integratsiya i differentsiatsiya populyatsionnykh sistem* [European and Siberian spruce: structure, integration and differentiation of population systems]. Novosibirsk: Nauka, 2005, 231 p.
[9] Petrova I.V., Sannikov S.N. *Izolyatsiya i fenogeneticheskaya differentsiatsiya ravninnykh i gornykh populyatsiy sosny obyknovennoy v Severnoy Evrazii* [Isolation and phenogenetic differentiation of plain and mountain populations of Scots pine in Northern Eurasia]. Geneticheskie i ekologicheskie issledovaniya v lesnykh ekosistemakh [Genetic and ecological research in forest ecosystems]. Yekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2001, pp. 4–72.
[10] Vidyakin A.I., Sannikov S.N., Petrova I.V., Sannikova N.S. *Postglyatsial'naya migratsiya i fenogeografiya populyatsiy sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) na Severo-Vostoke Russkoy ravniny* [Postglacial migration and phenogeography of populations of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the North-East of the Russian Plain]. Izvestiya RAN. Seriya biologicheskaya [News of the Russian Academy of Sciences. Biological series], 2014, no. 3, pp. 304–308.
[11] Abdullina D.S., Petrova I.V. *Differentsiatsiya populyatsiy sosny obyknovennoy po fenotipicheskim priznakam na severo-vostochnom predele areala* [Differentiation of populations of Scots pine by phenotypic features in the North-eastern limit of the range]. Agrarnyy vestnik Urala [Agrarian Bulletin of the Urals] , 2012, no. 9 (101), pp. 34–36.
[12] Vidyakin A.I. *Osnovnye itogi fenogenogeograficheskogo issledovaniya populyatsionno-khorologicheskoy struktury sosny obyknovennoy na Severo-Vostoke russkoy ravniny* [The main results of the pheno-geographical study of the population-chorological structure of the Scots pine in the North-East of the Russian plain]. Vestnik instituta biologii [Bulletin of the Institute of Biology], 2012, no. 3, pp. 15–19.
[13] Besschetnova N.N. *Sosna obyknovennaya (Pinus sylvestris L.). Reproduktivnyy potentsial plyusovykh derev'ev* [Common pine (*Pinus sylvestris* L.). Reproductive potential of plus trees]. Nizhny Novgorod: NGSA, 2015, 586 p.
[14] Beletskiy I.B. *Ob ispol'zovanii estestvennykh nasazhdeniy dlya obespecheniya Murmanskoy oblasti dobrokachestvennymi semenami mestnogo proiskhozhdeniya* [On the use of natural plantings to provide the Murmansk region with good-quality seeds of local origin]. Rubki i vosstanovleniya lesa na Severe [Logging and restoration of forests in the North]. Arkhangelsk: Severo-Zapadnoe knizhn. izd-vo, 1968, pp. 167–180.
[15] Nakvasina E.N., Bedritskaya T.V. *Semennye plantatsii severnykh ekotipov sosny obyknovennoy* [Seed plantations of northern ecotypes of Scots pine]. Arkhangelsk: Publishing House of Pomeranian University, 1999, 140 p.
[16] Surso M.V. *Fenologiya reproduktivnykh tsiklov i kachestvo semyan khvoynykh (Pinaceae, Cupressaceae) v severnoy tayge* [Phenology of reproductive cycles and quality of coniferous seeds (Pinaceae, Cupressaceae) in the Northern taiga]. Arctic Environmental Research, 2017, v. 17, no. 4, pp. 355–367.
[17] Oleksyn J., Tjoelker M.G., Reich P.B. Adaptation to changing environment in Scots pine populations across a latitudinal gradient // Silva Fennica, 1998, v. 32(2), pp. 129–140.
[18] Leites L.P., Robinson A.P., Rehfeldt G.E., Marshall J.D., Crookston N.L. Height-growth response to climatic changes differs among populations of Douglas-fir: a novel analysis of historic data // Ecological Applications, 2012, v. 22(1), pp. 154–165.
[19] Nakvasina E.N., Yudina O.A., Prozherina N.A., Kamalova I.I., Minin N.S. *Geograficheskie kul'tury v gen-ekologicheskikh issledovaniyakh na Evropeyskom Severe* [Geographical cultures in gen-ecological research in the European North]. Arkhangelsk: Arhang. State Tech. Univ., 2008, 308 p.
[20] Rieksts-Riekstins J., Jansons A., Smilga J., Baumanis I., Ray D., Connolly T. Climate suitability effect on tree growth and survival for scots pine provenance in Latvia. Research for rural development, 2014, v. 2 pp. 57–62.
[21] Gömöry D., Longauer R., Hlásny T., Palacaj M., Strmeň S., Krajmerova D. Adaptation to common optimum in different populations of Norway spruce (Picea abies Karst.). European J. of Forest Research, 2012, v. 131, pp. 401–411.
[22] Kurnaev S.F. Lesorastitel'noe rayonirovanie SSSR [Forest — growing zoning of the USSR]. Moscow: Lesnaya prom-st', 1973, 240 p.
[23] Popov A.V., Velisevich S.N. *Vnutripopulyatsionnaya izmenchivost' kachestva shishek i semyan kedra sibirskogo na plantatsii s razrezhennoy posadkoy* [Intrapopulation variation of Siberian stone pine cones and seeds quality in spaced planting plots]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2021, vol. 25, no. 3, pp. 34–41. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-34-41
[24] Romeder E., Shenbakh G. *Genetika i selektsiya lesnykh porod* [Genetics and breeding of forest breeds]. Moscow: Agricultural Publishing House, 1962, 268 p.
[25] Zatsepina K.G., Tarakanov V.V., Kal'chenko L.I., Ekart A.K., Larionova A.Ya. *Differentsiatsiya populyatsiy sosny obyknovennoy v lentochnykh borakh Altayskogo kraya, vyyavlennaya s primeneniem markerov razlichnoy prirody* [Differentiation of populations of scots pine in the ribbon forests of the Altai Territory, revealed using markers of different nature]. Sibirskiy lesnoy zhurnal [Siberian Forest Journal], 2016, no. 5, pp. 21–32.
[26] Sannikov S.N., Petrova I.V. *Filogenogeografiya i genotaksonomiya populyatsiy vida Pinus sylvestris L.* [Phylogenogeography and genotaxonomy of populations of the species Pinus sylvestris L.]. *Ekologiya* [Ecology], 2012, no. 4, pp. 252–260.
[27] Magnani F, Nolè A, Ripullone F, Grace J. Growth patterns of Pinus sylvestris across Europe: a functional analysis using the HYDRALL model. iForest, 2009, no. 2, pp. 162–171. DOI: 10.3832/ifor0516-002
[28] Pimenov A.V. *Bioraznoobrazie sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) v kontrastnykh ekotopakh yuga Sibiri* [Biodiversity of Scots pine (Pinus sylvestris L.) in contrasting ecotopes of Southern Siberia]. Dis. Dr. Sci. (Biol.) 03.02.01 «Botanika». Krasnoyarsk: V.N. Sukachev Forest Institute, 2015, 40 p.
[29] Chuprov A.V., Nakvasina E.N., Prozherina E.A. *Izmenchivost' shishek sosny obyknovennoy* (*Pinus sylvestris L.), proizrastayushchey v geograficheskikh kul'turakh Arkhangel'skoy oblasti* [Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) cones phenotypic variation growing in provenance trials of Arkhangelsk region]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2021, vol. 25, no. 3, pp. 24–33. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-24-33

## Authors' information

**Nakvasina Elena Nikolaevna**✉ — Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, nakvasina@yandex.ru

**Prozherina Nadezhda Aleksandrovna** — Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher of the Federal Center for Integrated Arctic Research named after N.P. Laverov, pronad1@yandex.ru

**Chuprov Aleksey Vladimirovich** — pg. of the Northern (Arctic) Federal University, named after M.V. Lomonosov, Senior Specialist of the 1st category of Ministry of Natural Resources and Forestry of Arkhangelsk region, alexchuprov@mail.ru

Received 23.01.2023.
Approved after review 16.03.2023.
Accepted for publication 25.05.2023.

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