

Научная статья
УДК 630*812:630*165
DOI: 10.37482/0536-1036-2023-4-26-40

Сравнительная оценка физико-механических свойств древесины различных климатипов сосны обыкновенной

С.В. Ребко¹, канд. с.-х. наук, доц.; *ResearcherID*: [AAS-6402-2021](https://orcid.org/0000-0002-6892-2859),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6892-2859>

П.Г. Мельник^{2,3}, канд. с.-х. наук, доц., ст. науч. сотр.; *ResearcherID*: [E-7644-2014](https://orcid.org/0000-0002-2802-7614),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2802-7614>

А.В. Козел¹, канд. с.-х. наук, доц.; *ResearcherID*: [AAS-2816-2021](https://orcid.org/0000-0002-2755-4439),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2755-4439>

Л.Ф. Поплавская¹, канд. с.-х. наук, доц.; *ResearcherID*: [AAS-9040-2021](https://orcid.org/0000-0002-2270-5234),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2270-5234>

П.В. Тупик¹, канд. с.-х. наук, доц.; *ResearcherID*: [AAS-7533-2021](https://orcid.org/0000-0002-5946-4470),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5946-4470>

В.В. Носников¹, канд. с.-х. наук, доц.; *ResearcherID*: [AAS-8949-2021](https://orcid.org/0000-0002-5562-1184),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5562-1184>

¹Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова, д. 13 а, Минск, Республика Беларусь, 220006; rebko@belstu.by, kozel@belstu.by, poplavskaya@belstu.by, pavel_tupik@belstu.by, nosnikov@belstu.by

²Мытищинский филиал Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, ул. 1-я Институтская, д. 1, г. Мытищи, Московская обл., Россия, 141005; melnik_petr@bk.ru

³Институт лесоведения РАН, ул. Советская, д. 21, с. Успенское, Московская обл., Россия, 143030; melnik_petr@bk.ru

Поступила в редакцию 12.04.21 / Одобрена после рецензирования 26.07.21 / Принята к печати 05.08.21

Аннотация. Для эффективного и рационального использования в производстве древесины сосны обыкновенной различного географического происхождения необходимо знать ее физико-механические свойства. Целью исследования является определение физических (плотность древесины в абсолютно сухом состоянии и при 12%-й влажности) и механических (прочность древесины при сжатии вдоль волокон и при статическом изгибе) свойств древесины 17 климатических экотипов сосны и проведение сравнительного анализа полученных показателей в отдельности для каждого происхождения и при их группировке по подвидам в соответствии с классификацией Л.Ф. Правдина. Диапазон географического происхождения мест заготовки семян – от 47 до 62° с. ш. и от 22 до 85° в. д. Для проведения исследований была использована современная универсальная испытательная машина MTS Insight 100. Установлено, что плотность древесины в абсолютно сухом состоянии варьирует от 370 (курский климатип) до 524 кг/м³ (волгоградский климатип), при 12%-й влажности – от 397 (курский климатип) до 550 кг/м³ (волгоградский климатип). Прочность древесины исследуемых климатипов при сжатии вдоль волокон составила от 32 (курский климатип) до 54 МПа (волгоградский климатип), при статическом изгибе – от 55 до 92 МПа у вологодского и ульяновского климатипов соответственно. Максимальная плотность древесины при 12%-й влажности характерна для подвида сосны

обыкновенной европейской и составляет 497 ± 8 кг/м³, минимальное значение данного показателя у сосны обыкновенной сибирской – 423 ± 30 кг/м³. Промежуточные положения занимают сосны лапландская и лесостепная со значениями 483 ± 16 и 464 ± 12 кг/м³ соответственно. Прочность древесины при сжатии вдоль волокон у исследуемых подвидов составила от 47 ± 1 (европейская) до 33 ± 4 МПа (сибирская), у сосны лапландской – 44 ± 2 МПа и несколько ниже у сосны лесостепной – 42 ± 2 МПа. Максимальная прочность древесины при статическом изгибе характерна для сосны европейской – 78 ± 4 МПа, а минимальная – для сосны сибирской – 61 ± 14 МПа. Данный показатель имеет равные значения для сосны лесостепной и лапландской – 72 ± 4 МПа.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, климатип, плотность древесины, прочность древесины, статический изгиб, изменчивость

Для цитирования: Ребко С.В., Мельник П.Г., Козел А.В., Поплавская Л.Ф., Тупик П.В., Носников В.В. Сравнительная оценка физико-механических свойств древесины различных климатипов сосны обыкновенной // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 4. С. 26–40. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-4-26-40>

Original article

Comparison of Physical and Mechanical Properties of Scots Pine Wood Grown in Different Climates

*Siarhei U. Rabko*¹, Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.;

ResearcherID: [AAS-6402-2021](https://orcid.org/0000-0002-6892-2859), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6892-2859>

Petr G. Melnik^{2,3}, Candidate of Agriculture, Assoc. Prof., Senior Research Scientist;

ResearcherID: [E-7644-2014](https://orcid.org/0000-0002-2802-7614), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2802-7614>

*Aleksandr V. Kozel*¹, Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.; ResearcherID: [AAS-2816-2021](https://orcid.org/0000-0002-2755-4439),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2755-4439>

*Liliya F. Papluskaya*¹, Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.; ResearcherID: [AAS-9040-2021](https://orcid.org/0000-0002-2270-5234),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2270-5234>

*Pavel V. Tupik*¹, Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.; ResearcherID: [AAS-7533-2021](https://orcid.org/0000-0002-5946-4470),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5946-4470>

*Vadzim V. Nosnikau*¹, Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.; ResearcherID: [AAS-8949-2021](https://orcid.org/0000-0002-5562-1184),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5562-1184>

¹Belarusian State Technological University, ul. Sverdlova, 13a, Minsk, 220006, Republic of Belarus; rebko@belstu.by, kozel@belstu.by, poplavskaya@belstu.by, pavel_tupik@belstu.by, nosnikov@belstu.by

²Mytishchi Branch of Bauman Moscow State Technical University (National Research University), ul. 1-ya Institut'skaya, 1, Mytishchi-5, Moscow Region, 141005, Russian Federation; melnik_petr@bk.ru

³Institute of Forest Science, Russian Academy of Sciences, ul. Sovetskaya, 21, s. Uspenskoye, Moscow Region, 143030, Russian Federation; melnik_petr@bk.ru

Received on April 12, 2021 / Approved after reviewing on July 26, 2021 / Accepted on August 05, 2021

Abstract. It is important to comprehend the physical and mechanical properties of Scots pine wood from various geographical origins in order to use it effectively and rationally in production. The purpose of the study is to determine the physical and mechanical properties

of Scots pine wood from 17 climatic ecotypes and to conduct a comparative analysis of the received indicators for the studied climatotypes separately and for subspecies, which were grouped according to the classification of L.F. Pravdin. The physical properties that were chosen for the investigation were wood density in an absolutely dry state and at 12 % moisture content. The mechanical characteristics were the tensile strength of the wood along the fibers and the tensile strength in static bending. The range of geographic origins of the seed harvesting locations was from 47 to 62 °N and 22 to 85 °E. The investigation was conducted using contemporary universal testing equipment, MTS Insight 100. It was found that the density of the wood varied from 370 kg/m³ (Kursk climatotype) to 524 kg/m³ (Volgograd climatotype) under absolutely dry conditions and from 397 kg/m³ (Kursk climatotype) to 550 kg/m³ (Volgograd climatotype) at 12 % moisture content. The tensile strength of wood along the fibers ranged from 32 MPa (Kursk climatotype) to 54 MPa (Volgograd climatotype), while the tensile strength in static bending was from 55 to 92 MPa for the Vologda and Ulyanovsk climatotypes, respectively. The maximum wood density at 12 % moisture content was 497±8 kg/m³, which is typical for European subspecies. The minimum value of this indicator was 423±30 kg/m³. The medium values had Lapland subspecies and Steppe subspecies 483±16 kg/m³ and 464±12 kg/m³, respectively. The tensile strength of wood along the fibers in the studied subspecies ranged from 47±1 MPa (European subspecies) to 33±4 MPa (Siberian subspecies). For Lapland subspecies, it was 44±2 MPa and slightly lower for Steppe subspecies, which was 42±2 MPa. The maximum value of the tensile strength in static bending for European subspecies was 78±4 MPa. The minimum value for the Siberian subspecies was 61±14 MPa. This indicator was equal for Steppe subspecies and Lapland subspecies, which was 72±4 MPa.

Keywords: Scots pine, climatotype, wood density, tensile strength of wood, static bending, variability

For citation: Rabko S.U., Melnik P.G., Kozel A.V., Paplauskaya L.F., Tupik P.V., Nosnikau V.V. Comparison of Physical and Mechanical Properties of Scots Pine Wood Grown in Different Climatotypes. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2023, no. 4, pp. 26–40. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-4-26-40>

Введение

Одними из важнейших показателей качества древесины сосны обыкновенной являются ее плотность и прочность, что необходимо учитывать как при лесовыращивании, так и при промышленном использовании древесины [21–25]. Плотность влияет не только на физические свойства древесины, но и на механические [8, 26], выступая в качестве наиболее объективного и универсального показателя ее качества. В большинстве случаев между плотностью и прочностью древесины существует четко выраженная прямая зависимость – чем выше плотность, тем выше прочность, причем степень корреляции достигает 0,8–0,9 [12, 18, 19, 23, 24].

Ряд ученых в своих работах отмечает существенные различия климатипов по приживаемости [16, 27], сохранности [10, 16], росту [4, 5], устойчивости к вредителям и болезням [3, 6], продуктивности [1, 9], а также по составу хлорофилла и строению хвоинок [7, 13], составу эфирных масел [15], плодоношению и другим признакам [2, 11, 17]. Следовательно, возникает вопрос о возможном различии качества древесины у разных климатипов, которое определяется показателями физико-механических свойств.

Уникальными в этом плане опытными модельными объектами являются географические культуры, создаваемые семенным потомством наиболее характерных популяций разных экотипов (климатипов) с целью их испытания в новых

условиях. Такие модельные объекты служат базой для изучения географической изменчивости наследственных свойств лесных пород. Первые опыты с географическими культурами сосны обыкновенной были начаты под Москвой в 1878–1893 гг. М.К. Турским на Лесной опытной даче Петровской земледельческой и лесной академии (в настоящее время Российского государственного аграрного университета – Московской сельскохозяйственной академии им. К.А. Тимирязева).

Цель работы – определение физических (плотность древесины в абсолютно сухом состоянии и при 12%-й влажности) и механических (прочность древесины при сжатии вдоль волокон и при статическом изгибе) свойств древесины различных климатических экотипов сосны обыкновенной и проведение сравнительного анализа полученных показателей у исследуемых провениенций. Новизна исследований заключается в том, что впервые в Беларуси определены физико-механические свойства древесины сосны обыкновенной различного происхождения в приспевающем возрасте в диапазоне географического происхождения мест заготовки семян от 47 до 62° с. ш. и от 22 до 85° в. д.

Объекты и методы исследования

В Беларуси первые географические культуры сосны обыкновенной заложены в 1959 г. В.Г. Мишневым и Е.Д. Манцевичем совместно с Центральной контрольной станцией лесных семян и Белорусской контрольной станцией лесных семян на площади 8,7 га и состояли из 65 географических вариантов с диапазоном географического происхождения 48–62° с. ш. 22–111° в. д.

Семена получены из 200 пунктов бывшего Советского Союза. Однако большая их часть была исключена из-за типологической неоднородности. В результате отобрано 65 образцов семян из насаждений группы типов леса боры-зеленомошники. Посев семян осуществлен в апреле 1958 г. в питомнике Негорельского учебно-опытного лесхоза. По механическому составу почва в питомнике представляет собой песок связный. Для получения одинаковой густоты стояния сеянцев в одной строке высевалось одинаковое количество жизнеспособных семян на 1 пог. м. После посева гряды покрывались мхом. До середины июля всходы отенялись драночными щитами. За сеянцами проводился уход, заключающийся в 3-кратной прополке и рыхлении почвы.

Участок под географические культуры отведен в квартале № 15, лесокультурная площадь представляла собой вырубку 1958 г., вытянутую с севера на юг и имеющую правильную конфигурацию. Осенью лесосека была раскорчевана и выровнена бульдозером, затем вспахана на глубину 25 см. В апреле 1959 г. площадь повторно выравнивалась бульдозером и бороновалась дисковыми боронами в 2 следа. Перед посадкой культур производилась окончательная планировка площади вручную с выборкой и сжиганием корней.

Пространственное размещение культур произведено по принципу выделения крупных климатических районов. Эти районы располагаются на участке в направлении с севера на юг, а с запада на восток группируются по признаку наибольшего географического различия. Каждая административная область представлена участком культур площадью 0,1 га. Эти участки ограничены со всех сторон 2-метровой дорогой и остолблены. С западной стороны ко всему участку примыкает 4-метровая дорога. В настоящее время площадь культур составляет 6 га, количество сохранившихся вариантов – 44.

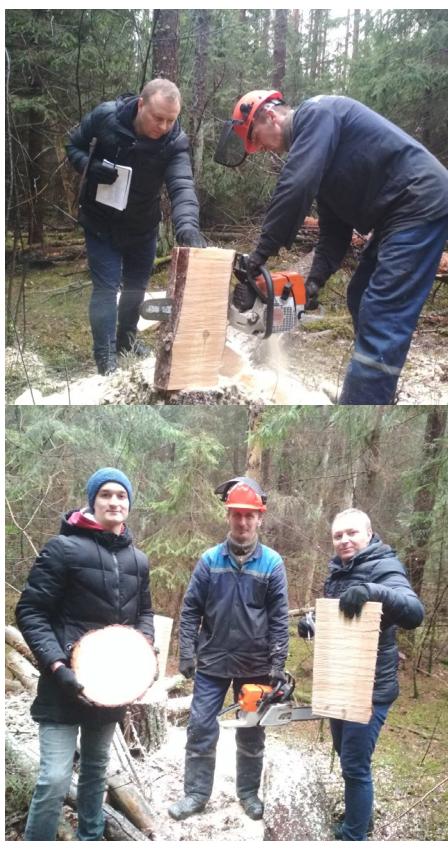
Исследуемые географические культуры сосны обыкновенной расположены в Негорельском лесничестве Негорельского учебно-опытного лесхоза, который является филиалом Белорусского государственного технологического университета и расположен в Дзержинском районе Минской области Республики Беларусь (в 50 км от г. Минска). Возраст климатипов сосны обыкновенной, произрастающих в географических культурах на момент исследования, – 60 лет.

Для оценки физико-механических свойств древесины были отобраны 17 климатипов из вариантов происхождений мест заготовки семян в диапазоне 47–62° с. ш. и 22–85° в. д. Выбор климатипов с таким диапазоном географических координат мест заготовки семян обусловлен тем, что указанные материнские древостои соответствуют классификации Л.Ф. Правдина [14]. Им выделено 5 подвидов сосны обыкновенной: лапландская, европейская, сибирская, степная и крючковатая. Исследуемые климатипы распределены нами по данным подвидам следующим образом. В подвид лапландская (61–62° с. ш.) вошли архангельский и ленинградский климатипы, в подвид европейская – европейская западная (53–59° с. ш. 22–40° в. д.) с вологодским, эстонским, латвийским, витебским и минским климатипами и европейская восточная (54° с. ш. 48–58° в. д.) с ульяновским и башкирским климатипами. К подвиду сибирской (57° с. ш. 85° в. д.) отнесен томский климатип. Ввиду отсутствия представителей подвида сосны степной (кустанайский, акмолинский, павлодарский, кокчетавский и семипалатинский климатипы из Казахстана погибли на ранних этапах роста) условно выделен подвид сосны обыкновенной лесостепной (47–51° с. ш. 27–42° в. д.) с белгородским, курским, волгоградским, хмельницким, полтавским и ростовским климатипами. Сосна обыкновенная крючковатая, естественно произрастающая в Крыму и на Кавказе, в географических культурах не представлена изначально. Таким образом, для более логического анализа физико-механических свойства древесины исследуемые климатипы сосны обыкновенной распределены в соответствии с классификацией Л.Ф. Правдина с небольшими изменениями.

Для изучения свойств древесины у 5 модельных деревьев каждого из исследуемых климатипов в феврале 2020 г. (см. рисунок *a*) были взяты отрезки стволов длиной по 60 см на высоте 6,5 м, после чего из них изготавливались образцы для изучения физико-механических свойств древесины: по 10 образцов древесины из расчета на одно модельное дерево для определения параметров каждого изучаемого физико-механического свойства древесины.

В качестве изучаемых свойств древесины выбраны плотность в абсолютно сухом состоянии и при 12%-й влажности, прочность при сжатии вдоль волокон и при статическом изгибе. Измерение данных свойств проведено в мае 2020 г. в соответствии с общепринятыми методиками: ГОСТ 16483.0–78 «Древесина. Методы отбора образцов и общие требования при физико-механических испытаниях», ГОСТ 16483.1–84 «Древесина. Метод определения плотности», ГОСТ 16483.3–84 «Древесина. Метод определения предела прочности при статическом изгибе», ГОСТ 16483.7–71 «Древесина. Методы определения влажности», ГОСТ 16483.10–73 «Древесина. Методы определения предела прочности при сжатии вдоль волокон». Использована универсальная испытательная машина MTS Insight 100 (см. рисунок *b*). Данный аппарат позволяет получить результаты с достаточно высокой точностью, что послужило главным критерием выбора

этого оборудования. Оценка достоверности различий полученных результатов осуществлялась с помощью пакета MS Excel. Для подтверждения или опровержения гипотезы об отнесении к одной и той же совокупности средних значений показателей физико-механических свойств древесины рассчитывался t-критерий Стьюдента, или t-критерий различия. В данном случае он позволяет найти вероятность того, что обе средних величины относятся к одной и той же совокупности. Перерасчет показателей на стандартную влажность для образцов с влажностью в момент испытания осуществляли по общепринятой формуле в соответствии с ГОСТ 16483.1–84 [20].



а



б

Заготовка образцов спилов сосны обыкновенной различного происхождения в географических культурах (а) для определения физико-механических свойств древесины с использованием универсальной испытательной машины MTS Insight 100 (б)
Preparation of Scots pine cross-section samples with various origins in geographic forest plantations (а) for determination of physical and mechanical properties of wood using the universal testing machine, MTS Insight 100 (б)

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты статистической обработки показателей плотности древесины в абсолютно сухом состоянии представлены в табл. 1.

Таблица 1

Статистическая обработка значений плотности древесины (кг/м³) в абсолютно сухом состоянии
Statistical data processing of wood density (kg/m³) in an absolutely dry state

Показатель	К-1	В-4	Б-5	Э-8	В-9	Л-10	Б-11	Г-15	Т-23	У-41	Р-47	М-48	А-52	Л-53	П-55	В-57	Х-58
\bar{X}	369,65	480,53	457,21	492,08	524,09	475,19	502,58	478,32	398,50	469,63	472,52	431,48	460,59	442,49	396,98	389,26	423,47
$S_{\bar{X}}$	3,25	5,27	17,77	6,76	9,15	5,36	3,04	7,24	12,88	13,48	6,32	4,65	8,69	11,81	4,68	3,64	2,64
S	19,25	27,87	47,01	23,43	47,52	19,33	14,26	27,09	40,72	52,19	27,55	14,71	27,47	35,42	19,29	14,11	9,88
Min	338,65	443,46	400,91	452,34	434,43	455,00	476,75	445,80	349,20	392,00	436,19	408,43	438,36	380,50	369,85	376,17	406,98
Max	429,39	557,60	525,78	528,40	623,81	526,13	543,65	543,34	455,40	541,62	531,03	448,09	511,18	488,34	433,71	417,33	436,19
$t_{0,5} S_{\bar{X}}$	6,61	10,81	43,47	14,89	18,80	11,68	6,32	15,64	29,13	28,90	13,28	10,52	19,65	27,22	9,92	7,81	5,70
P, %	0,88	1,10	3,89	1,37	1,75	1,13	0,61	1,51	3,23	2,87	1,34	1,08	1,89	2,67	1,18	0,94	0,62
V, %	5,21	5,80	10,28	4,76	9,07	4,07	2,84	5,66	10,22	11,11	5,83	3,41	5,96	8,00	4,86	3,62	2,33

Примечание: К-1 – курский климатип; В-4 – витебский; Б-5 – белгородский; Э-8 – эстонский; В-9 – волгоградский; Л-10 – латвийский; Б-11 – бурятский; Г-15 – гродненский; Т-23 – томский; У-41 – ульяновский; Р-47 – ростовский; М-48 – минский; А-52 – архангельский; Л-53 – ленинградский; П-55 – полтавский; В-57 – вологодский; Х-58 – хмельницкий. \bar{X} – среднее арифметическое значение; $S_{\bar{X}}$ – ошибка среднее арифметическое значение; S – коэффициент вариации; $t_{0,5} S_{\bar{X}}$ – доверительный интервал; P – точность; V – коэффициент вариации.

Из приведенных данных (табл. 1) видно, что средняя плотность различных климатипов находится в пределах 370–524 кг/м³, т. е. вариация более 150 кг/м³. Опираясь на литературные сведения [19], представляющие собой усредненные показатели, вычисленные по сильно изменчивым величинам, можно отметить, что плотность древесины сосны в абсолютно сухом состоянии равняется примерно 480 кг/м³. Изменчивость рассматриваемого показателя незначительна и в большинстве случаев не превосходит 10 %. Величина относительной ошибки не превышает 5 %.

Статистическая обработка данных показала, что во многих случаях доверительные интервалы одной совокупности (климатипа) в некоторой степени перекрываются доверительными интервалами другой совокупности. Установлено, что плотность древесины витебского и гродненского климатипов находится в пределах одной совокупности, а средняя плотность выборки минского климатипа достоверно отличается от средней плотности первых двух. Средняя плотность выборки белгородского климатипа достоверно не отличается от средней плотности 10 других изучаемых климатипов. Средняя плотность древесины волгоградского климатипа достоверно отличается от плотности всех остальных климатипов. Курский и бурятский климатипы достоверно не отличаются от томского и эстонского соответственно. В среднем плотность одного климатипа достоверно не отличалась от аналогичных показателей 5 любых других климатипов.

Плотность древесины напрямую зависит от влажности, поэтому в древесиноведении общепринятым является проведение сравнительной оценки свойств древесины при стандартной влажности, равной 12 % (табл. 2). Данную плотность трудно получить непосредственно из опыта, так как сложно привести древесину к влажности точно 12 %. Поэтому плотность древесины при 12%-й влажности находится расчетным способом по соответствующим формулам в зависимости от влажности древесины в момент испытания в соответствии с ГОСТ 16483.1–84. Согласно [19, 20], средняя плотность древесины сосны при такой влажности соответствует 505 кг/м³. По данным ГОСТ 16483.10–73, плотность может колебаться в большую или меньшую сторону от указанного среднего значения – от 350 до 650 кг/м³. Средняя плотность древесины сосны по климатипам изменяется в пределах 397–550 кг/м³. Что касается статистических показателей, то здесь наблюдается схожая ситуация с результатами для плотности древесины в абсолютно сухом состоянии. Это объясняется тем, что плотность древесины при 12%-й влажности находилась путем перерасчета аналогичных показателей при влажности в момент испытания в соответствии с ГОСТ 16483.1–84.

С плотностью древесины тесно связаны ее механические свойства, которые характеризуют способность материала сопротивляться действию внешних механических усилий. Данные свойства древесины сильно зависят от ее влажности, поэтому оценка и сравнение результатов механических испытаний проводятся при стандартной 12%-й влажности.

Результаты статистической обработки значений предела прочности древесины при сжатии вдоль волокон представлены в табл. 3. Прочность древесины при сжатии вдоль волокон является наиболее характерным из механических свойств древесины и наиболее важным в практическом отношении. Согласно некоторым литературным сведениям [12], данный показатель может изменяться от 27 до 63 МПа, при среднем значении 46 МПа. Полученные средние прочностные показатели испытываемых образцов всех климатипов находились в пределах 32–54 МПа.

Таблица 2

Статистическая обработка значений плотности древесины (кг/м³) при 12%-й влажностиStatistical data processing of wood density (kg/m³) at 12% moisture content

Показатель	К-1	В-4	Б-5	Э-8	В-9	ЛЛ-10	Б-11	Г-15	Т-23	У-41	Р-47	М-48	А-52	ЛЛ-53	П-55	В-57	Х-58
\bar{X}	396,50	509,14	488,60	521,07	550,39	502,53	530,01	509,47	423,22	496,59	498,82	459,06	489,96	474,38	423,56	415,21	452,17
$S_{\bar{x}}$	3,47	5,35	17,80	7,46	9,38	5,13	3,13	7,84	13,13	13,76	6,49	4,46	9,08	11,97	4,98	4,05	2,95
S	20,52	28,30	47,09	25,83	48,76	18,51	14,66	29,35	41,51	53,28	28,30	14,12	28,73	35,90	20,55	15,68	11,03
Min	364,04	470,65	431,13	478,86	458,65	482,90	505,24	474,29	371,49	409,32	465,54	437,84	467,12	414,30	396,26	396,94	434,74
Max	461,13	589,19	557,33	561,23	654,61	551,34	573,89	580,04	480,70	569,05	559,76	472,05	543,21	521,03	461,36	444,11	466,67
$t_{0,5} S_{\bar{x}}$	7,05	10,97	43,56	16,41	19,29	11,19	6,50	16,94	29,70	29,50	13,64	10,10	20,55	27,59	10,56	8,68	6,37
P, %	0,87	1,05	3,64	1,43	1,70	1,02	0,59	1,54	3,10	2,77	1,30	0,97	1,85	2,52	1,18	0,97	0,65
V, %	5,18	5,56	9,64	4,96	8,86	3,68	2,77	5,76	9,81	10,73	5,67	3,07	5,86	7,57	4,85	3,78	2,44

Таблица 3

Статистическая обработка значений предела прочности древесины при сжатии вдоль волокон (МПа) при 12%-й влажности

Statistical data processing for tensile strength of the wood along the fibers (MPa) at 12% moisture content

Показатель	К-1	В-4	Б-5	Э-8	В-9	ЛЛ-10	Б-11	Г-15	Т-23	У-41	Р-47	М-48	А-52	ЛЛ-53	П-55	В-57	Х-58
\bar{X}	31,84	48,80	40,48	48,93	53,63	47,49	49,84	46,26	33,35	46,47	48,47	42,03	47,41	40,61	36,43	38,71	42,46
$S_{\bar{x}}$	0,39	0,65	3,16	0,99	1,23	0,73	0,86	0,75	1,71	2,01	0,84	0,64	1,19	0,89	0,68	0,69	0,56
S	2,33	3,45	8,35	3,44	6,37	2,63	4,04	2,81	5,41	7,79	3,66	2,03	3,75	2,66	2,82	2,68	2,10
Min	26,97	42,77	28,79	43,30	42,51	43,31	39,27	43,16	27,02	34,25	43,34	38,70	43,44	35,39	32,48	35,98	38,97
Max	36,59	58,96	52,53	55,14	64,55	51,92	54,03	50,72	42,61	58,11	54,66	44,77	54,69	42,83	41,67	43,80	46,69
$t_{0,5} S_{\bar{x}}$	0,80	1,34	7,72	2,18	2,52	1,59	1,79	1,63	3,87	4,32	1,77	1,45	2,68	2,04	1,45	1,49	1,21
P, %	1,24	1,33	7,80	2,03	2,29	1,54	1,73	1,63	5,13	4,33	1,73	1,53	2,50	2,18	1,88	1,79	1,32
V, %	7,32	7,06	20,63	7,02	11,89	5,54	8,11	6,08	16,23	16,77	7,56	4,84	7,91	6,54	7,73	6,94	4,94

Таблица 4

Статистическая обработка значений прочности древесины при статическом изгибе (МПа) при 12%-й влажности
Statistical data processing for tensile strength in static bending (MPa) at 12% moisture content

Показатель	К-1	В-4	Б-5	Э-8	В-9	Л-10	Б-11	Г-15	Т-23	У-41	Р-47	М-48	А-52	Л-53	П-55	В-57	Х-58
\bar{X}	59,36	90,25	73,83	87,42	89,21	76,20	71,19	80,34	60,84	92,44	86,46	73,35	76,59	68,11	63,15	54,85	60,04
S_x	4,47	1,66	4,76	1,05	2,57	1,31	6,35	4,79	5,20	3,99	1,17	1,80	1,97	2,35	1,68	4,09	5,84
S	9,99	3,72	11,66	2,36	5,74	2,92	14,20	10,71	11,62	8,91	2,34	4,03	4,40	5,25	3,75	9,15	13,05
Min	47,95	83,90	63,30	85,25	80,35	71,72	46,54	71,83	50,72	86,08	83,52	68,86	71,71	61,74	59,31	40,18	39,71
Max	75,09	93,75	89,98	90,31	94,71	79,19	82,98	98,19	75,26	107,53	88,61	77,61	82,90	75,40	68,84	64,93	68,98
$t_{0,5} S_x$	12,41	4,62	12,24	2,92	7,13	3,63	17,63	13,30	14,43	11,07	3,72	5,00	5,47	6,51	4,66	11,36	16,20
P, %	7,53	1,84	6,45	1,21	2,88	1,72	8,92	5,96	8,54	4,31	1,35	2,46	2,57	3,44	2,66	7,46	9,72
V, %	16,83	4,12	15,80	2,69	6,43	3,84	19,95	13,33	19,10	9,64	2,70	5,49	5,75	7,70	5,95	16,68	21,73

Анализируя статистические показатели значений прочности древесины при сжатии вдоль волокон, нетрудно заметить, что они имеют определенное сходство с результатами для плотности древесины. Например, прочность древесины белгородского климатипа достоверно не отличается от 10 любых других, латвийского – от 7 любых других. Вместе с тем есть и определенные отличия. Так, древесина бурятского климатипа по прочности не имеет достоверных различий с 5 другими климатипами, в то время как по плотности древесины он достоверно не отличается только от эстонского климатипа. Прочностные показатели белорусских климатипов оказались достоверно различными.

Поскольку изменчивость прочности древесины во многих вариантах была значительной ($V > 10\%$), а относительная ошибка в 6 случаях превышала 5%, сравнительный анализ прочностных показателей древесины при статическом изгибе в пределах климатипов не проводился (табл. 4).

Полученные показатели физико-механических свойств древесины различных климатипов сосны обыкновенной, сгруппированных в соответствии с классификацией Л.Ф. Правдина по подвидам, имеют определенную закономерность. Максимальная плотность древесины при 12%-й влажности характерна для подвида сосны обыкновенной европейской – 497 ± 8 кг/м³, минимальная – для сосны обыкновенной сибирской – 423 ± 30 кг/м³. Промежуточное положение занимают сосны лапландская и лесостепная – 483 ± 16 и 464 ± 12 кг/м³ соответственно. Прочность древесины при сжатии вдоль волокон у исследуемых

двух подвидов составила от 47 ± 1 (европейская) до 33 ± 4 МПа (сибирская), у сосны лапландской – 44 ± 2 МПа и несколько ниже у сосны лесостепной – 42 ± 2 МПа. Максимальная прочность древесины при статическом изгибе отмечена для подвида сосны европейской – 78 ± 4 МПа, минимальная – для сосны сибирской – 61 ± 14 МПа, у сосен лесостепной и лапландской данный показатель составил 72 ± 4 МПа (табл. 5).

Таблица 5

Физико-механические свойства древесины сосны обыкновенной разных подвидов
Indicators of physical and mechanical properties of Scots pine wood subspecies

Климатип	Географические координаты, ...°		Плотность древесины при 12%-й влажности, кг/м ³	Прочность древесины при сжатии вдоль волокон, МПа
	с. ш.	в. д.		
<i>Сосна лапландская</i>				
Ленинградский	61	34	474 ± 28	41 ± 2
Архангельский	62	43	490 ± 21	47 ± 3
<i>Среднее</i>	61–62	34–43	483 ± 16	44 ± 2
<i>Сосна европейская западная</i>				
Вологодский	59	40	415 ± 9	39 ± 1
Эстонский	58	27	521 ± 16	49 ± 2
Латвийский	57	22	503 ± 11	47 ± 2
Витебский	55	29	509 ± 11	49 ± 1
Минский	54	27	459 ± 10	42 ± 1
Гродненский	53	24	509 ± 17	46 ± 2
<i>Среднее</i>	53–59	22–40	489 ± 9	46 ± 1
<i>Сосна европейская восточная</i>				
Ульяновский	54	48	497 ± 30	46 ± 4
Башкирский	54	58	530 ± 7	50 ± 2
<i>Среднее</i>	54	48–58	516 ± 13	48 ± 2
<i>Среднее по европейской сосне</i>	53–59	22–58	497 ± 8	47 ± 1
<i>Сосна лесостепная</i>				
Белгородский	51	38	489 ± 44	40 ± 8
Курский	51	34	397 ± 7	32 ± 1
Волгоградский	51	42	550 ± 19	54 ± 3
Хмельницкий	50	27	452 ± 6	42 ± 1
Полтавский	49	33	424 ± 11	36 ± 1
Ростовский	47	40	499 ± 14	48 ± 2
<i>Среднее</i>	47–51	27–42	464 ± 12	42 ± 2
<i>Сосна сибирская</i>				
Томский	57	85	423 ± 30	33 ± 4

Из приведенных данных (табл. 5) видно, что в некоторых случаях средние показатели по подвидам перекрываются доверительными интервалами, т. е. допускают гипотезу о том, что средние относятся к одной и той же совокупности. Для проверки данной гипотезы рассчитан параметрический критерий – t-критерий (табл. 6). Если вероятность отнесенности значения к одной и той же совокупности ниже уровня значимости $p < 0,05$, то выборки относятся к двум разным совокупностям.

Таблица 6

Фактический t-критерий различия по плотности и прочности древесины для подвидов сосны обыкновенной
Values of actual t-tests difference among Scots pine subspecies according to the density and strength of the wood

Подвид	Лапландская	Европейская	Лесостепная
<i>Плотность древесины при 12%-й влажности</i>			
Лапландская		0,098	0,055
Европейская	0,098		0
Лесостепная	0,055	0	
Сибирская	0,001	0	0,015
<i>Прочность древесины на сжатие вдоль волокон</i>			
Лапландская		0,050	0,101
Европейская	0,050		0
Лесостепная	0,101	0	
Сибирская	0	0	0
<i>Прочность древесины на статический изгиб</i>			
Лапландская		0,055	0,821
Европейская	0,055		0,058
Лесостепная	0,821	0,058	
Сибирская	0,091	0,024	0,113

Анализируя данные табл. 6, можно сделать вывод, что полученные средние значения плотности древесины сосны по подвидам для сосны лапландской достоверно не отличаются от аналогичных показателей сосен европейской и лесостепной ($t_{\text{факт}} = 0,098$ и $0,055$ соответственно). Схожая ситуация наблюдается при сравнении прочностных показателей древесины при сжатии вдоль волокон ($t_{\text{факт}} = 0,050$ и $0,101$ соответственно). Достоверных различий для прочности древесины при статическом изгибе по подвидам также не установлено, несмотря на имеющуюся наибольшую разницу у лапландской и лесостепной ($t_{\text{факт}} = 0,821$) и лесостепной и сибирской ($t_{\text{факт}} = 0,113$) сосен.

Заключение

Подводя итоги исследования по выявлению различий физико-механических свойств древесины сосны (плотность в абсолютно сухом состоянии и при 12%-й влажности, прочность при сжатии вдоль волокон, прочность при статическом изгибе) 17 различных климатипов, следует отметить, что в большинстве случаев достоверность различий сравниваемых показателей между древесиной

разных климатипов не выявлена. Практически аналогичная ситуация прослеживается и при сравнении свойств древесины различных подвидов сосны, выделенных Л.Ф. Правдиным. Это, скорее всего, обусловлено тем, что древесина, имея растительное происхождение, обладает довольно высокой изменчивостью свойств, на которые влияет ее возраста, условия произрастания, наследственные особенности и другие факторы, проявляющихся в процессе роста дерева. Следует отметить, что большинство исследователей указывают на значительную изменчивость свойств древесины в пределах породы.

О характере изменчивости показателей некоторых свойств древесины можно судить по коэффициенту вариации (изменчивости). Наименьшая изменчивость в пределах породы характерна для плотности древесины и составляет 2,8–10,2 %. Для прочности при сжатии вдоль волокон изменчивость варьирует в пределах от 4,8 до 20,6 %, для прочности при статическом изгибе – от 2,7 до 21,7 %.

Можно предположить, что для достижения приемлемого уровня достоверности различия изучаемых показателей требуется бесконечно большое количество испытаний образцов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Кущенко И.Т. Рост и развитие аборигенных и интродуцированных видов семейства *Pinaceae* Lindl. в условиях Карелии. Петрозаводск: ПетрГУ, 2000. 214 с.
Kishchenko I.T. *Growth and Development of Native and Introduced Species of the Family Pinaceae Lindl. in the Conditions of Karelia*. Petrozavodsk, PetrSU Publ., 2000. 214 p. (In Russ.).
2. Кузьмин С.Р. Реакция ширины годичного кольца и доли поздней древесины у сосны обыкновенной на погодные условия в географических культурах // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 5. С. 64–80.
Kuzmin S.R. Response of Annual Ring Width and Latewood Content of Scots Pine to Weather Conditions in Provenance Trials. *Lesnoy zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2020, no. 5, pp. 64–80. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2020-5-64-80>
3. Кузьмин С.Р., Кузьмина Н.А. Морфологические особенности хвои у сосны обыкновенной с разной устойчивостью к грибным болезням // Экология. 2015. № 2. С. 156–160.
Kuzmin S.R., Kuzmina N.A. Morphological Distinctions of Needles in Scots Pine with Various Resistance Levels to Fungal Diseases. *Ekologia* = Russian Journal of Ecology, 2015, no. 2, pp. 156–160. (In Russ.). <https://doi.org/10.7868/S0367059715010084>
4. Кузьмин С.Р., Кузьмина Н.А., Ваганов Е.А. Динамика роста сосны обыкновенной в географических культурах // Лесоведение. 2013. № 1. С. 30–38.
Kuzmin S.R., Kuzmina N.A., Vaganov E.A. Growth Dynamics of Scots Pine in Provenance Trial Plantations. *Lesovedenie* = Russian Journal of Forest Science, 2013, no. 1, pp. 30–38. (In Russ.).
5. Кузьмин С.Р., Роговцев Р.В. Радиальный рост и доля поздней древесины у сосны обыкновенной в географических культурах в Западной и Средней Сибири // Сиб. лесн. журн. 2016. № 6. С. 113–125.
Kuzmin S.R., Rogovtsev R.V. Radial Growth and Percent of Latewood in Scots Pine Provenance Trials in Western and Central Siberia. *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* = Siberian Journal of Forest Science, 2016, no. 6, pp. 113–125. (In Russ.). <https://doi.org/10.15372/SJFS20160611>
6. Кузьмина Н.А., Кузьмин С.Р. Устойчивость сосны обыкновенной разного происхождения к грибным патогенам в географических культурах Приангарья // Хвойные бореальной зоны. 2007. Т. 24, № 4-5. С. 454–461.
Kuzmina N.A., Kuzmin S.R. Resistance of Pine of Different Origin to Pathogenic Fungus in Geographical Cultures of Priangariye. *Hvojnye boreal'noj zony* = Conifers of the Boreal Area, 2007, vol. 24, no. 4-5, pp. 454–461. (In Russ.).

7. Лазарева С.М. Рост боковых побегов и продолжительность жизни хвои видов *Picea* в Левобережном Заволжье // Хвойные бореальной зоны. 2014. Т. XXXII, № 5-6. С. 44–49.

Lazareva S.M. Growth of Side Shoots and Life of Needles on the Left Bank of *Picea* in the Middle Volga. *Hvojnye boreal'noj zony* = Conifers of the Boreal Area, 2014, vol. 32, no. 5-6, pp. 44–49. (In Russ.).

8. Мелехов В.И., Бабич Н.А., Корчагов С.А. Качество древесины сосны в культурах. Архангельск: АГТУ, 2003. 110 с.

Melekhov V.I., Babich N.A., Korchagov S.A. *Pine Wood Quality in Plantations*. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2003. 110 p. (In Russ.).

9. Мельник П.Г., Савосько С.В., Станко Я.Н., Дюжина И.А., Степанова О.В. Географическая изменчивость продуктивности и физико-механических свойств древесины сосны обыкновенной // Вестн. МГУЛ – Лесн. вестн. 2007. № 6. С. 33–38.

Melnik P.G., Savosko S.V., Stanko Ya.N., Dyuzhina I.A., Stepanova O.V. Geographical Variability in Productivity and Physical-Mechanical Properties of Scots Pine Wood. *Lesnoy vestnik* = Forestry Bulletin, 2007, no. 6, pp. 33–38. (In Russ.).

10. Мерзленко М.Д., Глазунов Ю.Б., Мельник П.Г. Результаты выращивания провениенций сосны обыкновенной в географических посадках Серебряноборского опытного лесничества // Лесоведение. 2017. № 3. С. 176–182.

Merzlenko M.D., Glazunov Yu.B., Melnik P.G. Growing Geographic Trial Provenances of the Scots Pine in Serebryany Bor Forestry. *Lesovedenie* = Russian Journal of Forest Science, 2017, no. 3, pp. 176–182. (In Russ.).

11. Наквасина Е.Н., Прожерина Н.А., Чупров А.В., Беляев В.В. Реакция роста сосны обыкновенной на климатические изменения в широтном градиенте // Изв. вузов. Лесн. журн. 2018. № 5. С. 82–93.

Nakvasina E.N., Prozherina N.A., Chuprova A.V., Belyaev V.V. Growth Response of Scots Pine to Climate Change in the Latitudinal Gradient. *Lesnoy zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2018, no. 5, pp. 82–93. (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2018.5.82>

12. Пауль Э.Э., Звягинцев В.Б. Древесиноведение с основами лесного товароведения. Минск: БГТУ, 2015. 315 с.

Paul E.E., Zvyagintsev V.B. *Wood Science with the Fundamentals of Forest Commodity Science*. Minsk, BGTU Publ., 2015. 315 p. (In Russ.).

13. Пахарькова Н.В., Кузьмина Н.А., Кузьмин С.Р., Ефремов А.А. Морфофизиологические особенности хвои у разных климатипов сосны обыкновенной в географических культурах // Сиб. экол. журн. 2014. Т. 21, № 1. С. 107–113.

Pakharkova N.V., Kuzmina N.A., Kuzmin S.R., Efremov A.A. Morphophysiological Traits of Needles in Different Climatypes of Scots Pine in Provenance Trial. *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* = Siberian Journal of Forest Science, 2014, vol. 21, no. 1, pp. 107–113. (In Russ.). <https://doi.org/10.1134/S1995425514010107>

14. Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. М.: Наука, 1964. 192 с.

Pravdin L.F. *Scots Pine. Variability, Intraspecific Systematics and Breeding*. Moscow, Nauka Publ., 1964. 192 p. (In Russ.).

15. Ребко С.В., Мельник П.Г., Ламоткин С.А., Турик П.В., Поплавская Л.Ф., Носников В.В. Анализ содержания основных компонентов эфирного масла в хвое различных климатипов и подвидов сосны обыкновенной // Resources and Technology. 2021. Т. 18, № 3. С. 17–36.

Rabko S.U., Melnik P.G., Lamotkin S.A., Tupik P.V., Paplauskaya L.F., Nosnikau V.V. Content Analysis of Essential Oil Main Components in the Needles of Various Provenances and Subspecies of Scots Pine. *Resources and Technology*, 2021, vol. 18, no. 3, pp. 17–36. (In Russ.). <https://doi.org/10.15393/j2.art.2021.5783>

16. Ребко С.В., Поплавская Л.Ф. Сравнительная характеристика роста географических культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Прилож. к журн. «Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі». Ч. 1. Сер.: Биологич. науки; мед. науки. 2008. С. 231–236.

Rabko S.U., Paplavuskaya L.F. Comparative Characteristic of Growth for Geographic Cultures of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). *Supplement to the journal «Vesci Natsyanal'nai akademii nauk Belarusi»*. Part 1. Series: Biological Sciences, Medical Sciences. 2008, pp. 231–236. (In Russ.).

17. Тарханов С.Н., Пинаевская Е.А., Аганина Ю.Е. Особенности адаптации разных форм сосны обыкновенной в условиях длительного избыточного увлажнения почв // Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 2. С. 30–44.

Tarkhanov S.N., Pinayevskaya E.A., Aganina Yu.E. Features of Adaptation of Different Forms of Scots Pine Under Conditions of Prolonged Excessive Soil Moistening. *Lesnoy zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2021, no. 2, pp. 30–44. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-2-30-44>

18. Тюкавина О.Н., Клевцов Д.Н., Дроздов И.И., Мелехов В.И. Плотность древесины сосны обыкновенной в различных условиях произрастания // Изв. вузов. Лесн. журн. 2017. № 6. С. 56–64.

Tyukavina O.N., Klevtsov D.N., Drozdov I.I., Melekhov V.I. Wood Density of Scots Pine in Different Growth Conditions. *Lesnoy zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2017, no. 6, pp. 56–64. (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2017.6.56>

19. Уголев Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение. М.: МГУЛ, 2007. 351 с. Ugolev B.N. *Wood Science and Forestry Commodity Science*. Moscow, MSFU Publ., 2007. 351 p. (In Russ.).

20. Федоров Н.И., Пауль Э.Э. Древесиноведение и лесоматериалы. Минск: БГТУ, 2006. 292 с.

Fedorov N.I., Paul E.E. *Wood Science and Timber Products*. Minsk, BG TU Publ., 2006. 292 p. (In Russ.).

21. Auty D., Achim A., Macdonald E., Cameron A.D., Gardiner B.A. Models for Predicting Wood Density Variation in Scots Pine. *Forestry*, 2014, vol. 87, no. 3, pp. 449–458. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpu005>

22. Guller B., Isik K., Cetinay S. Variations in the Radial Growth and Wood Density Components in Relation to Cambial Age in 30-Year-Old *Pinus brutia* Ten. at Two Test Sites. *Trees*, 2012, vol. 26, no. 3, pp. 975–986. <https://doi.org/10.1007/s00468-011-0675-2>

23. Niemi P., Sonderegger W. *Holzphysik: Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe*. Switzerland, Carl Hanser Verlag GmbH & Company KG Publ., 2017. 580 p. (In German).

24. Pásztor Z., Mohácsiné I.R., Börcsök Z., Gorbacheva G. The Utilization of Tree Bark. *Bioresources*, 2016, vol. 11, no. 3, pp. 7859–7888. <https://doi.org/10.15376/biores.11.3>

25. Peltola H., Gort J., Pulkkinen P., Gerendai A.Z., Karppinen J., Ikonen V.-P. Differences in Growth and Wood Density Traits in Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Genetic Entries Grown at Different Spacing and Sites. *Silva Fennica*, 2009, vol. 43, no. 3, pp. 339–354. <https://doi.org/10.14214/sf.192>

26. Sattler D.F., Finlay C., Stewart J.D. Annual Ring Density for Lodgepole Pine as Derived from Models for Earlywood Density, Latewood Density and Latewood Proportion. *Forestry*, 2015, vol. 88, no. 5, pp. 622–632. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpv030>

27. Zabuga V.F., Zabuga G.A. Specific Features of the Growth of Scots Pine Vegetative Organs in the Forest-Steppe Zone of Cisbaikalia. *Russian Journal of Ecology*, 2007, vol. 38, no. 6, pp. 409–416. <https://doi.org/10.1134/S1067413607060021>

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

Вклад авторов: Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article