



Научная статья

УДК 630*591.5

DOI: 10.37482/0536-1036-2025-3-195-203

Температурные характеристики стволов сосны в северной подзоне тайги

П.А. Феклистов^{1✉}, *д-р с.-х. наук, проф.*; *ResearcherID: AAC-2377-2020*,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8226-893X>

Е.А. Пинаевская¹, *канд. биол. наук, ст. науч. сотр.*; *ResearcherID: ABB-6293-2020*,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1877-1412>

Н.А. Неверов¹, *канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр.*; *ResearcherID: P-5590-2015*,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0161-0738>

И.Н. Болотов¹, *д-р биол. наук, чл.-корр. РАН*; *ResearcherID: P-2892-2015*,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3878-4192>

С.Н. Тарханов¹, *д-р биол. наук, зав. лабораторией*; *ResearcherID: ABG-7237-2020*,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9037-8995>

О.Н. Тюкавина², *д-р с.-х. наук*; *ResearcherID: H-2336-2019*,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4024-6833>

¹Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаврёрова УрО РАН, просп. Никольский, д. 20, г. Архангельск, Россия, 163000; pfeklistov@yandex.ru[✉], aviatorov8@mail.ru, na-neverov@yandex.ru, dirnauka@fciactic.ru, tarkse@yandex.ru

²Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; o.tukavina@narfu.ru

Поступила в редакцию 30.11.23 / Одобрена после рецензирования 21.02.24 / Принята к печати 22.02.24

Аннотация. Исследование проводилось в северной тайге в сосняках разных типов леса в Новодвинском и Исакогорском лесничествах Архангельского лесничества. Все изученные сосняки характеризуются как средневозрастные, чистые по составу или с небольшой примесью ели и березы. Цель работы – определить температуру внутренних тканей ксилемы, т. к. несмотря на то, что древесные растения являются пойкилотермными организмами, их температура отличается от температуры воздуха. В каждом типе леса подбирались 45–50 учетных деревьев. Для измерения температуры поверхности коры использовали тепловизор Testo 890-2, метеофакторы рядом с деревьями определялись с помощью прибора МЭС-200, температура ксилемы – портативного цифрового мультиметра МУ 64. Показано, что температура поверхности стволов и температура ксилемы заметно отличаются от температуры окружающего воздуха. Температура гладкой коры в теплую погоду оказалась ниже температуры корки (трещиноватой коры) на 2 °С, или на 10 %. Тонкие деревья имеют температуру корки выше, чем толстые на 1,5 °С, или 7 %. В солнечную безоблачную погоду в сосняках черничном и кустарничково-сфагновом температура поверхности коры выше температуры воздуха: в сосняке черничном – на 0,98 °С, в сосняке кустарничково-сфагновом – на 5,43 °С. В пасмурную

погоду, наоборот, температура воздуха превосходит температуру поверхности хвои. Температура ксилемы у шейки корня всегда ниже, чем на высоте 1,3 м. Различия составляют 0,8–1,2 °С. По-видимому, это связано с температурой воды, которая поступает из почвы в ксилему. Температура ксилемы в течение вегетационного сезона возрастает и достигает максимума к концу июля, после чего снижается. Температура ксилемы всегда меньше температуры воздуха и зависит от возраста – у старых деревьев показатель более низкий.

Ключевые слова: температура ствола, температура ксилемы, температура воздуха, соняк, тип леса, северная тайга, Архангельская область

Благодарности: Исследование выполнено в рамках госзадания Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаврёва УрО РАН (№ 125021902596-8).

Для цитирования: Феклистов П.А., Пинаевская Е.А., Неверов Н.А., Болотов И.Н., Тарханов С.Н., Тюкавина О.Н. Температурные характеристики стволов сосны в северной подзоне тайги // Изв. вузов. Лесн. журн. 2025. № 3. С. 195–203.

<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2025-3-195-203>

Original article

Temperature Characteristics of Pine Stems in the Northern Taiga Subzone

Pavel A. Feklistov¹✉, Doctor of Agriculture, Prof.; ResearcherID: [AAC-2377-2020](https://orcid.org/0000-0001-8226-893X),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8226-893X>

Ekaterina A. Pinaevskaya¹, Candidate of Biology, Senior Research Scientist;
ResearcherID: [ABB-6293-2020](https://orcid.org/0000-0003-1877-1412), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1877-1412>

Nikolay A. Neverov¹, Candidate of Agriculture, Senior Research Scientist;
ResearcherID: [P-5590-2015](https://orcid.org/0000-0002-0161-0738), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0161-0738>

Ivan N. Bolotov¹, Doctor of Biology, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences; ResearcherID: [P-2892-2015](https://orcid.org/0000-0002-3878-4192), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3878-4192>

Sergei N. Tarkhanov¹, Doctor of Biology, Head of Laboratory;
ResearcherID: [ABG-7237-2020](https://orcid.org/0000-0001-9037-8995), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9037-8995>

Olga N. Tyukavina², Doctor of Agriculture; ResearcherID: [H-2336-2019](https://orcid.org/0000-0003-4024-6833),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4024-6833>

¹N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Nikolskiy prosp., 23, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation; pfeklistov@yandex.ru✉, aviatorov8@mail.ru, na-neverov@yandex.ru, dirnauka@fciarctic.ru, tarkse@yandex.ru

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; o.tukavina@narfu.ru

Received on November 30, 2023 / Approved after reviewing on February 21, 2024 / Accepted on February 22, 2024

Abstract. The research has been carried out in the northern taiga in pine forests of different types in the Novodvinsk and Isakogorka forestries of the Arkhangelsk forestry district. All the studied pine forests are characterized as middle-aged, pure in composition or with a small admixture of spruce and birch. The aim of the research has been to determine the temperature of the internal tissues of the xylem, since despite the fact that woody plants

are poikilothermic organisms, their temperature differs from that of the air. In each forest type, 45–50 registered trees have been selected for the study. To measure the temperature of the bark surface, a Testo 890-2 thermal imager has been used, meteorological factors near the trees have been determined using a MES-200 device, and the xylem temperature has been determined using a portable digital multimeter MY 64. It has been shown that the surface temperature of the stems and the xylem temperature differ significantly from the ambient air temperature. The temperature of the smooth bark in warm weather has turned out to be lower than the temperature of the crust (fissured bark) by 2 °C, or by 10 %. Thin trees have a crust temperature higher than thick trees by 1.5 °C, or 7 %. In sunny, cloudless weather, the bark surface temperature in blueberry and shrubby-sphagnum pine forests is higher than the air temperature: by 0.98 °C in blueberry pine forests and by 5.43 °C in shrubby-sphagnum pine forests. In cloudy weather, on the contrary, the air temperature exceeds the temperature of the surface of the needles. The xylem temperature at the root collar is always lower than at a height of 1.3 m. The differences are from 0.8 to 1.2 °C. Apparently, this is due to the temperature of the water that flows from the soil into the xylem. The xylem temperature increases during the growing season and reaches a maximum by the end of July, after which it decreases. The xylem temperature is always lower than the air temperature and depends on the age – in older trees the indicator is lower.

Keywords: stem temperature, xylem temperature, air temperature, pine forest, forest type, northern taiga, the Arkhangelsk Region

Acknowledgements: The research was carried out within the framework of the state assignment of N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (no. 125021902596-8).

For citation: Feklistov P.A., Pinaevskaya E.A., Neverov N.A., Bolotov I.N., Tarkhanov S.N., Tyukavina O.N. Temperature Characteristics of Pine Stems in the Northern Taiga Subzone. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2025, no. 3, pp. 195–203. (In Russ.).
<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2025-3-195-203>

Введение

Древесные растения являются пойкилотермными организмами [2, 4, 9]. В общем виде это означает, что температура органов растений соответствует температуре окружающей среды, прежде всего показателям для воздуха, почвы и окружающих предметов и тел. В свою очередь, температура на поверхности земли определяется солнечной радиацией, лучами, которые несут и световую, и тепловую энергию [1]. Тепло передается почве, предметам на поверхности земли, растительности. Затем посредством излучения, теплопроводности и тепловой конвекции нагревается окружающий воздух [13]. Однако, как было показано [2, 3], температура растительных организмов существенно отличается от температуры воздуха, причем речь в работах шла в основном о травянистых растениях и нетипичных для северо-таежного региона Архангельской области видах. Температура деревьев определяется многими факторами: цветом коры, листьев, генеративных органов (темные предметы нагреваются сильнее), структурой поверхности, на которую поступают солнечные лучи, углом падения, шириной местности и др. Имеет значение содержание воды в разных органах растений. Например, в стволах доревев сосны и ели воды может быть около 50 % [14]. А вода, как известно, обладает самой высокой теплоемкостью [6] и, следовательно, вносит свой вклад в тепловой баланс растений. В то же время температура тканей растений играет чрезвычайно важную роль: с уве-

личением температуры скорость химических реакций пропорционально растет [15]. И хотя все биохимические реакции являются ферментативными, активность ферментов также увеличивается с повышением температуры до момента распада белков-ферментов (45–50 °С) [8]. Таким образом, температура органов растений является важной характеристикой для понимания процессов их жизнедеятельности. В то же время для основных лесообразующих пород северной тайги таких сведений нет или они единичны.

Цель – изучить температурные характеристики поверхности коры, температуру ксилемы и сравнить полученные показатели с температурой воздуха. Все это нужно и для понимания механизмов жизнедеятельности деревьев, например, работы камбия, передвижения воды с минеральными элементами, а также с теоретической точки зрения, поскольку считается, что температура деревьев равна температуре окружающей среды.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования были черничные и кустарничково-сфагновые сосняки естественного происхождения, расположенные на территориях Исакогорского и Новодвинского лесничеств Архангельской области. Данные сосняки являются средневозрастными, чистыми по составу или с небольшой примесью ели и березы (табл. 1), в основном имеют IV–V класс бонитета.

Для проведения работ в сосняках с учетом общепринятых рекомендаций (ОСТ 56-69–83 «Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки») были заложены пробные площади.

Таблица 1

Таксационная характеристика древостоя пробных площадей
The inventory characteristics of the stands of the sample plots

Тип сосняка	Состав	Порода	Средние		Полнота		Возраст, лет	Бонитет	Запас, м³/га
			диаметр, см	высота, м	абсолютная, м²/га	относительная			
Исакогорское участковое лесничество									
Черничный	8С1Б1Ос	С Б Ос	17,0	18,0	С – 22,7 Б – 1,6 Ос – 3,0	0,67	86	IV	190
Кустарничково-сфагновый	10С	С	11,1	10,0	11,73	–	66	V	63
Черничный	8С1Ос1 Б+Е	С	17,9	17,5	26,50	0,80	100	IV	231
Новодвинское участковое лесничество									
Черничный	10С	С	9,9	11,3	13,95	0,60	56	IV	78

Произведены замеры температуры поверхности коры на высоте 1,3 м у 45–50 учетных деревьев, параллельно фиксировалась температура воздуха рядом с деревом. В первом случае использован тепловизор Testo 890-2, во втором – прибор МЭС-200. Температура ксилемы определялась портативным цифровым мультиметром МУ 64 с диапазоном измерения от –20 до 1000 °С. Для этого в каждом анализируемом дереве сверлилось отверстие, в которое вставлялся электрод, изолированный до поверхности контакта (4,5 мм) и соединенный с

прибором посредством гибкого провода [5]. Учет температуры ткани выполнялся в солнечные и пасмурные дни. При этом шурфы сверлились на различной высоте: у шейки корня и на уровне 1,3 м. Всего было осуществлено около 900 замеров.

Результаты исследования и их обсуждение

Температура тканей древесных растений имеет важное значение для всех физиологических процессов в стволах деревьев [17, 19, 20]. Измерение температуры воздуха рядом с деревьями сосны и температуры поверхности коры в сосняках черничном и кустарничково-сфагновом показало неодинаковые результаты в зависимости от погоды: жаркой солнечной безоблачной или пасмурной. В первом случае в обоих типах сосняков температура поверхности коры была выше температуры воздуха. В сосняке черничном эти различия составили 0,98 °С, а в кустарничково-сфагновом – 5,43 °С (табл. 2). В пасмурную погоду, наоборот, температура коры была ниже температуры воздуха: в сосняке черничном – на 1 °С, в сосняке кустарничково-сфагновом – на 0,77 °С. Все полученные данные достоверны.

Таблица 2

Температура воздуха под пологом рядом с деревьями и поверхности коры
стволов в разных типах леса
The temperature of the air under the canopy near trees and the surface
of the bark of the stems in different forest types

Статистический показатель	Погода							
	жаркая солнечная				пасмурная			
	Сосняк черничный		Сосняк кустарничково-сфагновый		Сосняк черничный		Сосняк кустарничково-сфагновый	
	Воздух	Кора	Воздух	Кора	Воздух	Кора	Воздух	Кора
M, °C	26,63	27,61	26,66	32,09	12,38	11,88	13,03	12,26
m, °C	0,13	0,61	0,31	0,64	0,09	0,04	0,06	0,07
σ	0,92	4,35	2,24	4,59	0,57	0,29	0,44	0,47
V, %	3,59	15,74	8,40	14,29	4,62	2,48	3,35	3,85
P, %	0,51	2,23	1,12	2,00	0,69	0,37	0,47	0,54
t	196,2	44,9	85,1	49,9	145,2	270,3	210,8	183,5

Примечание: Критическое значение критерия Стьюдента для P = 0,95 составляет 2,01.

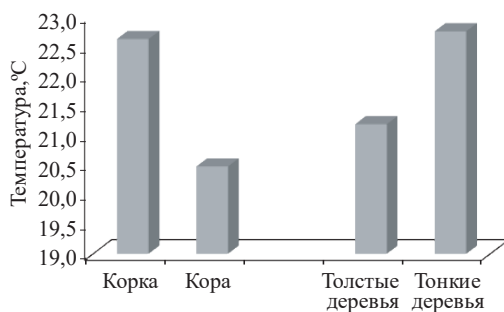
Интересно сравнение температуры поверхности коры на разных высотах стволов в сосняке черничном. На высоте 1,3 м в районе т. н. корки (толстой трещиноватой коры) температура на 2,14 °С выше, чем температура гладкой слегка шелушащейся коры в то же время (рис. 1). Различия достоверны на уровне 0,05. Критерий Стьюдента – 2,58 (критическое значение – 2,01).

Сравнение температуры поверхности коры на высоте груди у деревьев разной толщины показало, что значение для тонких деревьев на 0,56 °С больше, чем для толстых. Однако различия оказались недостоверны по критерию Стьюдента. Он составил 1,98 (критическое значение – 2,01). Наверное, следовало бы увеличить число измерений, и тогда, возможно, различия были бы достоверными. Тем не менее можно констатировать, что температура корки выше темпе-

ратуры гладкой коры, а толщина деревьев слабо влияет на этот показатель, что, скорее всего, связано со структурой коры.

Рис. 1. Температура поверхности корки и гладкой коры у деревьев разной толщины

Fig. 1. The surface temperature of the crust and smooth bark of trees of different thicknesses

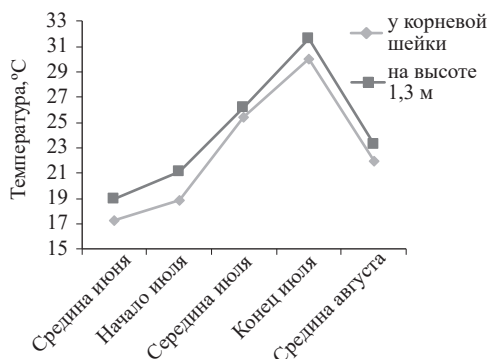


Представляется важным оценить температуру ксилемы стволов сосны, т. е. той части, по которой движутся вода и минеральные элементы.

Таких данных очень мало, и в основном они относятся к другим породам и другим условиям [10–12, 16, 18, 21]. Наши измерения показали, что температура ксилемы у основания дерева (у шейки корня) ниже, чем на высоте 1,3 м, в разные сроки вегетационного периода (рис. 2). Несовпадение в температуре составляет 0,8–1,2 °C. Все различия достоверны на уровне значимости 0,05, за исключением данных для середины июля (здесь критерий Стьюдента при оценке различий средних значений равен 1,01). В это время различия недостоверны. В целом температура ксилемы в течение вегетационного периода возрастает от середины июня и достигает максимума в конце июля, а затем начинает снижаться. По-видимому, температура ксилемы определяется 2 факторами – это температура воздуха и поступающей в ксилему из почвы воды. Вода из почвы холоднее воздуха и у шейки корня, она во многом определяет температуру ксилемы, передвигаясь по ней и постепенно нагреваясь вместе с ее структурами.

Рис. 2. Температура ксилемы у деревьев на разных высотах (сосняк черничный) [7]

Fig. 2. The xylem temperature in trees at different heights (blueberry pine forest) [7]



Температура ксилемы у деревьев разного возраста отличается. Так, температура ксилемы на высоте груди у деревьев 3-го класса возраста на 1,7 °C выше, чем у деревьев 4-го класса возраста (рис. 3). Различия достоверны (критерий Стьюдента – 2,40, пороговое значение – 2,01), то же самое наблюдается и у шейки корня. Это во многом согласуется с ранее полученным выводом о том, что более тонкие деревья имеют температуру поверхности хвои выше. Диаметр деревьев зависит от возраста, этим объясняются приведенные здесь данные, что температура молодых деревьев выше.

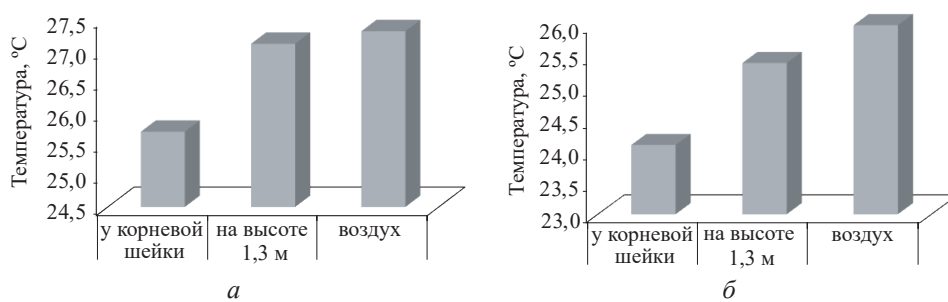


Рис. 3. Температура ксилемы деревьев и воздуха на разных высотах [7]:
а – деревья 3-го класса возраста; б – деревья 4-го класса возраста

Fig. 3. The tree xylem and air temperatures at different heights [7]:
а – trees of age class 3; б – trees of age class 4

Выводы

1. Температура гладкой коры сосны в теплую погоду ниже температуры корки (трещиноватой коры) на 2 °С, или на 10 %.
2. Тонкие деревья имеют температуру трещиноватой коры выше, чем толстые, на 1,5 °С, или 7 %.
3. В солнечную безоблачную погоду температура поверхности коры выше температуры воздуха: в сосняке черничном – на 0,98 °С, а в сосняке кустарничково-сфагновом – на 5,43 °С. В пасмурную погоду, наоборот, значение для воздуха превосходит значение для поверхности хвои.
4. Температура ксилемы у шейки корня всегда ниже, чем на высоте 1,3 м. Различия составляют 0,8–1,2 °С.
5. В течение вегетационного сезона температура ксилемы возрастает и достигает максимума к концу июля, после чего снижается. Однако температура ксилемы всегда меньше температуры воздуха и зависит от возраста: более старые деревья имеют показатель ниже.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Валова (Копылова) В.Д. Экология. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Дашков и К, 2013. 360 с.
Valova (Kopylova) V.D. *Ecology*. 2nd ed., revised and enlarged. Moscow, Dashkov and K. Publ., 2013. 360 p. (In Russ.).
2. Горышина Т.К. Экология растений. М.: Высш. шк., 1979. 368 с.
Goryshina T.K. *Plant Ecology*. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1979. 368 p. (In Russ.).
3. Демина М.И., Соловьев А.В., Четкина Н.В. Геоботаника с основами экологии и географии растений. М.: РГАЗУ, 2013. 148 с.
Demina M.I., Solov'ev A.V., Chechetkina N.V. *Geobotany with the Basics of Ecology and Geography of Plants*. Moscow, Russian State Agrarian Correspondence University Publ., 2013. 148 p. (In Russ.).
4. Дроздов В.В. Общая экология. СПб.: РГГМУ, 2011. 412 с.
Drozdov V.V. *General Ecology*. St. Petersburg, Russian State Hydrometeorological University Publ., 2011. 412 p. (In Russ.).
5. Евсикова Н.Ю., Матвеев Н.Н., Корчагин О.М., Камалова Н.С., Заплетин В.Ю. Сканирование электрического поля в стволах древесных растений как метод выявления жизненного состояния // Изв. вузов. Лесн. журн. 2008. № 6. С. 43–49.

Evsikova N.Yu., Matveev N.N., Korchagin O.M., Kamalova N.S., Zapletin V.Yu. Scanning of Electric Field in Wooden Plant Stems as Method of Exposing Living State. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2008, no. 6, pp. 43–49. (In Russ.).

6. Зацепина Г.Н. Свойства и структура воды. М.: Московск. ун-т, 1974. 162 с.

Zatsepina G.N. *Properties and Structure of Water*. Moscow, Moscow University Publ., 1974. 162 p. (In Russ.).

7. Кильюшева Н.В., Феклистов П.А., Кильюшев А.Ю., Овсянникова Н.В. Температурный режим ксилемы ствола сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в пригородных лесах Архангельска // Вестн. КрасГАУ. 2016. № 7. С. 82–88.

Kilyusheva N.V., Feklistov P.A., Kilyushev A.Yu., Ovsyannikova N.V. The Temperature of the Xylem of Pine Trunk (*Pinus sylvestris* L.) in Suburban Forests of Arkhangelsk. *Vestnik KrasGAU* = The Bulletin of KrasGAU, 2016, no. 7, pp. 82–88. (In Russ.).

8. Кузнецов В.В., Дмитриева Г.А. Физиология растений. М.: Абрис, 2011. 783 с.

Kuznetsov V.V., Dmitrieva G.A. *Plant Physiology*. Moscow, Abris Publ., 2011. 783 p. (In Russ.).

9. Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Основы общей экологии. М.: Унив. кн., 2005. 140 с.

Mirkin B.M., Naumova L.G. *Fundamentals of General Ecology*. Moscow, Universitetskaya kniga Publ., 2005. 140 p. (In Russ.).

10. Овсянникова Н.В., Волкова Н.В., Феклистов П.А. Температура стволов сосны и ели как фактор определения категории санитарного состояния деревьев ели // Возобновляемые лесные ресурсы: инновационное развитие в лесном хозяйстве: сб. материалов Междунар. конф. СПб.: СПбГЛТУ, 2012. С. 256–260.

Ovsyannikova N.V., Volkova N.V., Feklistov P.A. The Temperature of Pine and Spruce Trunks as a Factor in Determining the Category of Sanitary Condition of Spruce Trees. *Renewable Forest Resources: Innovative Development in Forestry*: Collection of Materials of the International Conference. St. Petersburg, St. Petersburg Forest Technical University Publ., 2012, pp. 256–260. (In Russ.).

11. Овсянникова Н.В., Феклистов П.А., Волкова Н.В. Температура стволов ели // Экологические проблемы Арктики и северных территорий: межвуз. сб. науч. тр. Архангельск: САФУ, 2012. Вып. 15. С. 28–30.

Ovsyannikova N.V., Feklistov P.A., Volkova N.V. Temperature of Spruce Trunks. *Environmental Problems of the Arctic and Northern Territories*: Interuniversity Collection of Scientific Papers. Arkhangelsk, Northern (Arctic) Federal University Publ., 2012, iss. 15, pp. 28–30. (In Russ.).

12. Овсянникова Н.В., Феклистов П.А., Волкова Н.В., Мелехов В.И., Тарakanov А.М., Мерзленко М.Д. Температура древесины ели обыкновенной // Изв. вузов. Лесн. журн. 2013. № 1. С. 38–42.

Ovsyannikova N.V., Feklistov P.A., Volkova N.V., Melekhov V.I., Tarakanov A.M., Merzlenko M.D. The Temperature of Spruce Trunks. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2013, no. 1, pp. 38–42. (In Russ.).

13. Русин И.Н., Арапов П.П. Основы метеорологии и климатологии. СПб.: РГГМУ, 2013. 199 с.

Rusin I.N., Arapov P.P. *Fundamentals of Meteorology and Climatology*. St. Petersburg, Russian State Hydrometeorological University Publ., 2013. 199 p. (In Russ.).

14. Феклистов П.А., Евдокимов В.Н., Барзут В.М. Биологические и экологические особенности роста сосны в северной подзоне европейской тайги. Архангельск: ИПЦ АГТУ, 1997. 140 с.

Feklistov P.A., Evdokimov V.N., Barzut V.M. *Biological and Ecological Features of Pine Growth in the Northern Subzone of the European Taiga*. Arkhangelsk, IPC of Arkhangelsk State University Publ., 1997. 140 p. (In Russ.).

15. Чернова Н.М., Былова А.М. Общая экология. М.: Дрофа, 2004. 416 с.

Chernova N.M., Bylova A.M. *General Ecology*. Moscow, Drofa Publ., 2004. 416 p. (In Russ.).

16. Frits H.C. *Tree Rings and Climate*. London, New York, San Fransisco, Academic Press Publ., 1976. 567 p.

17. Kim Y., Still C.J., Hanson C.V., Kwon H., Greer B.T., Law B.E. Canopy Skin Temperature Variations in Relation to Climate, Soil Temperature, and Carbon Flux at a Ponderosa Pine Forest in Central Oregon. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2016, vol. 226–227, pp. 161–173. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.06.001>

18. Kramer P.J., Boyer J.S. *Water Relations of Plants and Soils*. New York, San Diego, Academic Press Publ., 1995. 495 p.

19. Lambers H., Chapin F.S., Pons T.L. *Plant Physiological Ecology*. New York, Springer New York Publ., 1998. 540 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2855-2>

20. Lambers H., Oliveira R.S. *Plant Physiological Ecology*. Springer Cham Publ., 2019. 736 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-29639-1>

21. Mayr S., Wieser G., Bauer H. Xylem Temperatures during Winter in Conifers at the Alpine Timberline. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2006, vol. 137, iss. 1–2, pp. 81–88. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.02.013>

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest