



Научная статья

УДК 57.045

DOI: 10.37482/0536-1036-2022-6-193-205

## Радиальный рост сосны обыкновенной в условиях северной тайги

**Н.А. Неверов**<sup>✉</sup>, канд. с.-х. наук; *ResearcherID*: [P-5590-2015](https://orcid.org/0000-0002-0161-0738),

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

**З.Б. Чистова**, канд. геол.-минер. наук; *ResearcherID*: [AAO-6130-2021](https://orcid.org/0000-0003-2827-0478),

*ORCID*: <https://orcid.org/0000-0003-2827-0478>

**А.Л. Минеев**, канд. геол.-минер. наук; *ResearcherID*: [R-9161-2018](https://orcid.org/0000-0003-3024-6928),

*ORCID*: <https://orcid.org/0000-0003-3024-6928>

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. акад. Н.П. Лавёрова УрО РАН, наб. Северной Двины, д. 23, г. Архангельск, Россия, 163000; [na-neverov@yandex.ru](mailto:na-neverov@yandex.ru)<sup>✉</sup>, [zchistova@yandex.ru](mailto:zchistova@yandex.ru), [mineew.al@gmail.com](mailto:mineew.al@gmail.com)

Поступила в редакцию 13.01.21 / Одобрена после рецензирования 20.04.21 / Принята к печати 22.04.21

**Аннотация.** Оценено влияние дневных и ночных метеорологических параметров (температуры воздуха, точки росы, относительной влажности воздуха, скорости ветра и количества осадков) на радиальный рост сосны в северной подзоне тайги в черничном, брусничном и кустарничково-сфагновом типах леса. Исследование проведено в Архангельской области вблизи пос. Пинега (подзона северной тайги). Пробные участки были заложены на площадях с разными типами леса, характерными для данной территории. Отобрано 63 керна с 7 наиболее представительных участков. Метеорологические параметры за период 2008–2015 гг. получены цифровой метеостанцией WMR918 H (Huger GmbH, Германия), расположенной на площади исследования и работающей в мониторинговом режиме. В сосняке черничном выявлена высокая корреляция радиального роста с температурами воздуха и точки росы июля (0,80...0,88) и еще более высокая – с ночными значениями этих показателей (0,90). Со скоростью ветра мая, июня и сентября установлена как прямая, так и обратная корреляция: 0,77...0,78 и –0,79...–0,84. На одной из пробных площадей с осадками мая и июня обнаружена обратная корреляция. В сосняке брусничном выявлены сходные с черничным зависимости. В кустарничково-сфагновом типе установлена корреляция с относительной влажностью воздуха. Прямые и обратные связи радиального роста со скоростью ветра свидетельствуют о его различном влиянии на физиологические процессы в листовой пластинке посредством ее охлаждения и усиления транспирации. Значительная вариабельность корреляции в черничном типе, вероятно, вызвана различием в таксационных показателях исследуемых древостоев, а также может являться особенностью сосняков черничных. В целом сосна в черничном, брусничном и кустарничково-сфагновом типах леса имеет сходную реакцию на изменчивость метеофакторов, основным из которых является температурный режим воздуха.

**Ключевые слова:** сосна, радиальный рост, радиальный рост сосны, метеопараметры, температура воздуха, температура точки росы, осадки, скорость ветра, сосняк черничный, сосняк брусничный, сосняк кустарничково-сфагновый, Пинега, северная тайга

**Благодарности:** Исследование проведено в ходе выполнения госзадания № 122011300380-5 Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. акад. Н.П. Лавёрова УрО РАН.

**Для цитирования:** Неверов Н.А., Чистова З.Б., Минеев А.Л. Радиальный рост сосны обыкновенной в условиях северной тайги // Изв. вузов. Лесн. журн. 2022. № 6. С. 193–205. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-6-193-205>

Original article

## Radial Growth of Scots Pine in the Northern Taiga

*Nikolay A. Neverov*<sup>✉</sup>, Candidate of Agriculture; ResearcherID: [P-5590-2015](https://orcid.org/0000-0002-0161-0738),

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

*Zinaida B. Chistova*, Candidate of Geology and Mineralogy;

ResearcherID: [AAO-6130-2021](https://orcid.org/0000-0003-2827-0478), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2827-0478>

*Alexandr L. Mineev*, Candidate of Geology and Mineralogy; ResearcherID: [R-9161-2018](https://orcid.org/0000-0003-3024-6928),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3024-6928>

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 23, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; [na-neverov@yandex.ru](mailto:na-neverov@yandex.ru)<sup>✉</sup>, [mineew.al@gmail.com](mailto:mineew.al@gmail.com), [zchistova@yandex.ru](mailto:zchistova@yandex.ru)

Received on January 13, 2021 / Approved after reviewing on April 20, 2021 / Accepted on April 22, 2021

**Abstract.** The research aims at assessing the influence of daytime and nighttime meteorological parameters (air temperature, dew point, relative air humidity, wind velocity and amount of precipitation) on the pine radial growth in the northern taiga subzone in blueberry, lingonberry and bush-sphagnum forest types. The study was carried out in the Arkhangelsk region near the Pinega settlement (northern taiga subzone). Sample plots were laid out in areas with different forest types specific for this territory. A total of 63 core samples were taken from 7 of the most representative sites. Meteorological parameters for 2008–2015 were collected by a digital weather station WMR918 H (Huger GmbH, Germany) located in the research area and operating in the monitoring mode. In blueberry pine forest, we have detected a high correlation of radial growth with air temperature and dew point in July (0.80–0.88), and even higher correlation with the night values of these parameters (0.90). Both direct and inverse correlations were found with wind velocities in May, June, and September: from 0.77 to 0.78 and from –0.84 to –0.79. An inverse correlation was observed in one of the sample plots with precipitation of May and June. Dependencies similar to the blueberry pine forest have been found in the lingonberry pine forest. A correlation with relative air humidity was found in the shrub-sphagnum forest type. Direct and inverse correlations of radial growth with wind velocity indicate its different influence on physiological processes in the leaf blade by cooling it and enhancing transpiration. Significant variability in the correlation in the blueberry forest type is probably caused by differences in the inventory parameters of the studied stands, and may also be a feature of blueberry pine forests. Generally, pine in the blueberry, lingonberry and shrub-sphagnum forest types has a similar response to the variability of meteorological factors, the main of which is the air temperature regime.



**Keywords:** pine, radial growth, pine radial growth, meteorological parameters, air temperature, dew point temperature, precipitation, wind velocity, blueberry pine forest, lingonberry pine forest, bush-sphagnum pine forest, Pinega, northern taiga

**Acknowledgments:** The research was carried out within the framework of the state assignment No. 122011300380-5 of the N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.

**For citation:** Neverov N.A., Chistova Z.B., Mineev A.L. Radial Growth of Scots Pine in the Northern Taiga. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2022, no. 6, pp. 193–205. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-6-193-205>

### Введение

Одной из основных лесобразующих древесных пород таежной зоны европейской части России является сосна обыкновенная. Она выполняет важные экологические функции и дает высококачественную древесину. Однако в результате интенсивных рубок ценные сосновые леса истощаются с большой скоростью. Таким образом, актуальными становятся вопросы повышения продуктивности и устойчивости сосновых древостоев, их рационального использования. Для этого необходимо всестороннее рассмотрение процессов формирования древесины сосны [5].

Ранняя и поздняя древесина отражают условия разных промежутков вегетационного периода, неодинаково откликаясь на изменения в окружающей среде [3, 16, 18]. Радиальный рост особенно чувствителен к изменениям температуры воздуха и влажности почвы [10]. Наиболее благоприятные температуры воздуха для роста хвойных в северной и средней тайге в течение вегетационного периода составляют от 13 до 20 °С. Температуры за пределами этого диапазона вызывают снижение годового прироста. Влияние осадков менее существенно, чем тепловой режим [9].

Для северной подзоны тайги и севера Евразии от Урала до Чукотки выявлено значительное влияние июньской температуры на радиальный рост сосен [7, 9]. Аналогичные закономерности получены для сосен, произрастающих вблизи пос. Пинега (64°35' с. ш. 43°10' в. д.). Обнаружена высокая корреляция радиального роста сосны с весенне-летними температурами текущего вегетационного периода и слабая – с зимними температурами и осадками поздней зимы/ранней весны [14]. В другом масштабном исследовании рассмотрены пробные площади, расположенные в 50–80 км к югу от пос. Пинега. Радиальный рост сосны коррелирует с температурами июня–июля и осадками [13].

В северной части Скандинавии (Норвегия) июльская температура и количество осадков в мае являются фактором, в значительной мере влияющим на радиальный рост сосны [22]. Осадки мая оказывают существенное воздействие на радиальный рост при раннем таянии снега и значительном прогреве почвы [15]. В северной Финляндии температура воздуха влияет на радиальный рост [26]. В лесах Финляндии с севера на юг рост деревьев становится менее подверженным влиянию температур вегетационного периода и более подверженным влиянию, например, осадков [20]. То же самое характерно для западного склона Уральских гор [27].

Подобные тенденции наблюдаются и в подзоне средней тайги Центральной Сибири: обнаружена сильная корреляция между радиальным ростом сосны и июньской температурой [6], а в Республике Коми – с июльской температурой [21]. В Восточной Сибири (Центральная Якутия) на многолетнемерзлых грунтах температуры воздуха и почвы, количество осадков за вегетационный период влияют на радиальный рост сосны [24]. В лесостепных условиях Хакасии [1, 2] повышенные температуры вегетационного периода отрицательно сказываются на радиальном росте; на Южном Урале отмечена высокая корреляция прироста с осадками в мае, июне и июле текущего вегетационного периода [4].

Температура воздуха непосредственно влияет на процесс формирования клеточной стенки древесины сосны, а именно на ферментативную активность, скорость синтеза вещества клеточной стенки, наличие субстрата, транспорт гормонов, транслокацию вещества с мембраны в клеточные стенки [10]. Высокие температуры (>26 °C) приводят к значительному снижению скорости радиального роста за счет уменьшения количества ассимилятов, которые начинают расходоваться на дыхание, и активации ферментов, ответственных за расщепление протопласта [28]. Смачивание листьев туманом и росой, без заметного увеличения влажности почвы, особенно ночью, положительно влияет на водный баланс у хвойных [11, 19, 25]. Низкая скорость радиального роста может быть обусловлена высоким уровнем грунтовых вод, который снижает питательную ценность почвы и ухудшает дыхание корней [17].

В Литве [12] и северной Шотландии [23] в условиях кустарничково-сфагнового типа леса не выявлена корреляция радиального роста с температурой воздуха. Существенной корреляции с осадками также не обнаружено.

Цель исследования – оценить влияние дневных и ночных метеорологических параметров (температуры воздуха и точки росы, относительной влажности воздуха, скорости ветра, количества осадков) на радиальный рост сосны обыкновенной в северной тайге в различных условиях произрастания.

#### *Объекты и методы исследования*

Район исследований расположен в северной подзоне тайги, в Пинежском районе Архангельской области, с юго-западной стороны от пос. Пинега.

В Архангельской области северная тайга занимает 8 млн га: ельники – 70,4 % лесной площади [10]; сосновые леса – 20 %. Представлены следующие типы сосновых лесов, %: 30,5 – сфагновые, 21,2 – черничные, 16,9 – лишайниковые, 15,4 – брусничные, 16 – прочие [7].

Среднегодовая температура воздуха составляет от –1,3 до 0,7 °C. Среднегодовое количество осадков – 550 мм (350–900 мм). Безморозный период длится 80–115 дней. Средняя продолжительность периода с положительной температурой почвы – 71 день [8].

Предметом исследования является сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). В 2016 г. заложено 7 пробных площадей (ПП) в черничном, брусничном и кустарничково-сфагновом типах леса. Для определения радиального роста образцы кернов отбирали с помощью возрастного бура (Haglof, Швеция) на высоте 1,3 м от шейки корня в направлении юг–север. На каждом пробном участке было отобрано 9–10 кернов. Таксационные характеристики исследуемых древостоев представлены в табл. 1.

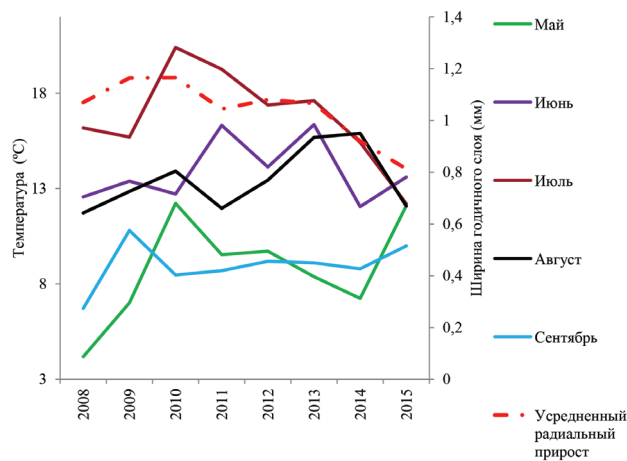
Таблица 1

Таксационные характеристики исследуемых древостоев  
Inventory characteristics of the studied stands

ПП	Тип сосняка	Состав	Средние		Возраст (лет)	Полнота
			высота (м)	диаметр (см)		
1	Черничный	6С3Е1Б	17	22	65	0,8
2		10С	18	18	70	0,7
3		9С1Б	16	14	50	0,8
4		6С4Е	18,5	19	75	0,7
5		6С4Е+Б	18	18	80	0,7
6	Брусничный	9С1Е	16	18	60	0,7
7	Кустарничково-сфагновый	10С	4,5	5	62	–

Появление цифровых мобильных метеостанций позволило не только увеличить количество анализируемых параметров и уменьшить дискретность замеров, но и максимально приблизить станции к ПП. Температура воздуха ( $t_{\text{воз}}$ ), температура точки росы ( $t_{\text{тч. росы}}$ ), относительная влажность воздуха ( $H$ ), количество осадков ( $P$ ), скорость ветра ( $V_{\text{ветр}}$ ) регистрировались автоматически с помощью цифровой мобильной метеостанции WMR 918H (Huger GmbH, Германия) в период с 2007 по 2016 г. на высоте 2 м. Метеостанция расположена вблизи от ПП.

Средние значения метеорологических параметров за май–сентябрь приведены на рис. 1.



*a*

Рис. 1. Динамика среднемесячных значений метеорологических параметров за май–сентябрь 2008–2015 гг.:  
*a* – температура воздуха (начало)

Fig. 1. Dynamics of average monthly values of meteorological parameters for May–September 2008–2015:  
*a* – air temperature (beginning)

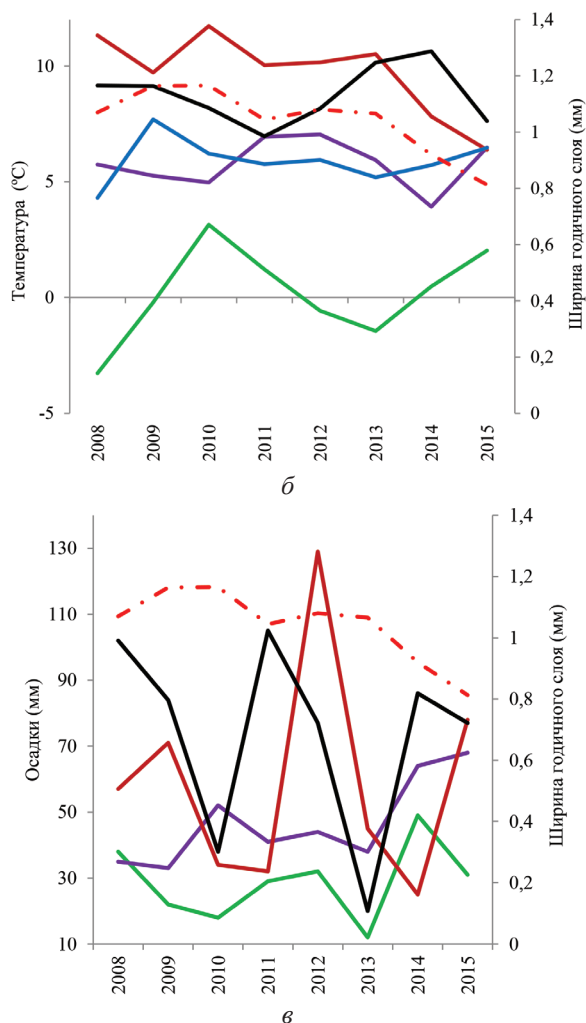


Рис. 1. Динамика среднемесячных значений метеорологических параметров за май–сентябрь 2008–2015 гг.:  $\delta$  – температура точки росы;  $\epsilon$  – годовое количество осадков (продолжение)

Fig. 1. Dynamics of average monthly values of meteorological parameters for May–September 2008–2015:  $\delta$  – dew point temperature;  $\epsilon$  – annual precipitation (continued)

В связи с тем, что в начале вегетации ночь длится не более 2 ч, а к сентябрю увеличивается до 12 ч, для расчета мы использовали продолжительность ночи от заката до восхода солнца, рассчитанную для каждого дня.

Измерения роста древесины проводили прибором Lintab 6, пользуясь программным обеспечением TSAP-Win (версия 4.80), с точностью 0,01 мм. Статистическую обработку полученных данных (корреляция Пирсона) осуществляли при помощи программного обеспечения Python версии 2.7.12, 2016 и пакета SciPy версии 0.18.1, 2016.

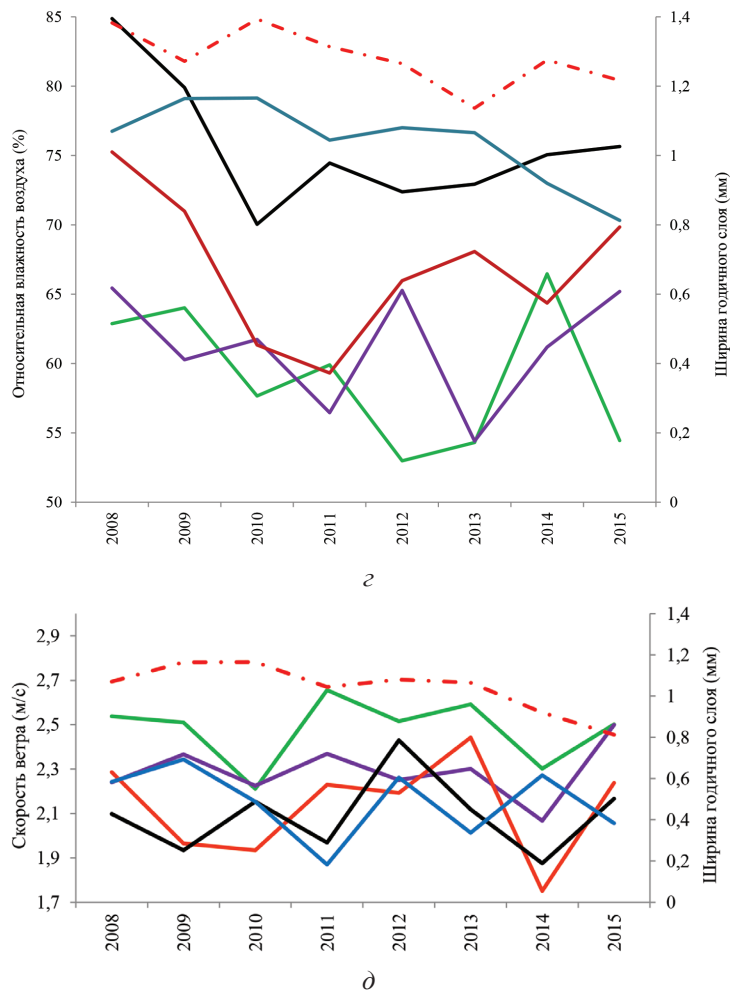


Рис. 1. Динамика среднемесячных значений метеорологических параметров за май–сентябрь 2008–2015 гг.:  $z$  – относительная влажность воздуха;  $\delta$  – скорость ветра (окончание)

Fig. 1. Dynamics of average monthly values of meteorological parameters for May–September 2008–2015:  $z$  – relative air humidity;  $\delta$  – wind velocity (ending)

### Результаты исследования и их обсуждение

Максимальный рост сосны был зафиксирован в 2010 г., а затем наблюдалось постепенное снижение. По метеорологическим параметрам данный год не является аномальным. Он отличается от остальных только высокой температурой воздуха в июле, низкими температурой точки росы в августе и относительной влажностью воздуха в июле (рис. 1).

Динамика радиального роста исследуемых древостоев сходна. Пик прироста приходится на 2009–2010 гг., и затем наступает его спад. Радиальный рост на ПП 3 в эти годы наоборот увеличивается, что, вероятно, связано с изменением локальных почвенно-грунтовых условий (рис. 2).

В сосняке черничном отмечены четко выраженные периоды подъема и спада прироста [9]. В 2010 г. наступил переломный момент между этими периодами (рис. 2).

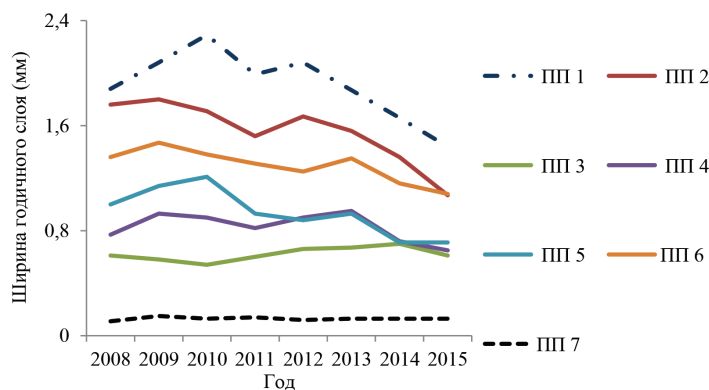


Рис. 2. Динамика радиального роста сосны за 2008–2015 гг.

Fig. 2. Pine radial growth dynamics in 2008–2015

Изменчивость радиального прироста в сосняке кустарничково-сфагновом минимальна и существенных тенденций не наблюдается.

*Сосняк черничный.* На 4 из 5 ПП установлена высокая корреляция радиального роста с температурами воздуха и точки росы июля. На ПП 2 наблюдалась наибольшая корреляция прироста как с дневной (0,80), так и с ночной (0,88) температурами, а корреляция с максимальными температурами точки росы дня и ночи достигает 0,81 и 0,90 соответственно. На ПП 3 выявлена прямая корреляция прироста с минимальными суточными скоростями ветра мая, июня и сентября (0,77–0,78). На ПП 4 – обратная корреляция с минимальными суточными значениями мая, июня, августа и сентября (–0,79...–0,84). На ПП 5 установлена обратная корреляция (–0,72) с осадками мая и июня. С относительной влажностью воздуха корреляция не выявлена (табл. 2).

Значительные различия корреляции радиального роста и метеофакторов в сосняке черничном, вероятно, связаны с широкими эдафическими условиями этого типа леса.

*Сосняк брусничный.* Выявлены корреляции прироста с ночной температурой (0,72–0,74) и максимальными температурами точки росы дня и ночи июля (0,76–0,81), обратная корреляция – с минимальной скоростью ветра в сентябре (–0,7) и осадками в июне (–0,85). С относительной влажностью воздуха корреляция не обнаружена.

*Сосняк кустарничково-сфагновый.* Установлены: корреляция радиального роста с температурой воздуха (0,77) и температурой точки росы сентября (0,71–0,82); обратная корреляция с суточной (–0,72) и дневной (–0,71) относительной влажностью воздуха июня и с ночной сентября (–0,82). Со скоростью ветра также выявлена обратная корреляция: с минимальной суточной (–0,82) и ночной (–0,71...–0,84) августа, с максимальной ночной сентября (–0,79). С осадками корреляция не обнаружена.



Таблица 2

Корреляция ширины годичного слоя сосны и метеопараметров  
Correlation of the pine annual ring width and meteorological parameters

Метеопараметр	ПП 1					ПП 2					ПП 3				
	май	июнь	июль	август	сентябрь	май	июнь	июль	август	сентябрь	май	июнь	июль	август	сентябрь
$t_{\text{возд}}^{\cdot}$ суточная средняя	-0,37	-0,02	0,65	-0,01	-0,16	-0,03	-0,14	<b>0,83</b>	-0,05	-0,08	-0,26	0,10	-0,34	0,60	-0,02
дневная максимальная	-0,33	0,06	0,59	-0,01	-0,25	-0,15	-0,11	<b>0,79</b>	-0,08	-0,25	-0,14	0,28	-0,37	0,51	0,04
дневная минимальная	-0,34	0,07	0,62	-0,07	-0,25	-0,15	-0,10	<b>0,80</b>	-0,09	-0,26	-0,13	0,29	-0,35	0,54	0,10
ночная максимальная	-0,21	-0,17	<b>0,75</b>	0,20	0,12	0,06	-0,09	<b>0,88</b>	0,00	0,09	-0,20	0,54	-0,41	0,69	-0,23
ночная минимальная	-0,22	-0,09	<b>0,75</b>	0,18	0,06	0,07	-0,15	<b>0,86</b>	-0,02	0,06	-0,22	0,51	-0,38	0,68	-0,12
$t_{\text{тч, росы}}^{\cdot}$ суточная средняя	-0,33	-0,09	0,45	0,23	0,02	0,00	0,10	0,22	-0,12	0,13	-0,41	-0,11	-0,22	0,21	-0,34
дневная максимальная	-0,32	0,08	<b>0,83</b>	0,04	0,04	0,02	0,02	<b>0,81</b>	-0,14	0,11	-0,40	-0,07	-0,43	0,52	-0,45
дневная минимальная	0,32	-0,09	0,48	0,23	0,01	-0,02	0,12	0,26	-0,13	0,11	-0,41	-0,10	-0,24	0,15	-0,44
ночная максимальная	-0,32	-0,29	<b>0,84</b>	0,15	0,01	-0,01	-0,08	<b>0,90</b>	-0,13	0,13	-0,36	0,15	-0,45	0,70	-0,25
ночная минимальная	-0,33	-0,27	0,63	0,23	0,10	-0,01	0,02	0,46	0,11	0,23	-0,38	0,01	-0,30	0,18	-0,23
$H$ : суточная средняя	0,19	-0,27	-0,23	0,00	0,34	-0,02	-0,28	-0,54	-0,31	0,38	0,02	0,03	0,36	-0,01	-0,53

Окончание табл. 2

Метеопараметр	ПП 1				ПП 2				ПП 3						
	май	июнь	июль	август	сентябрь	май	июнь	июль	август	сентябрь	май	июнь	июль	август	сентябрь
<i>H</i> :															
дневная средняя	0,27	-0,20	-0,18	0,17	0,46	0,06	-0,25	-0,50	-0,15	0,46	-0,01	0,03	0,26	-0,16	-0,63
ночная средняя	-0,70	-0,28	-0,30	-0,49	-0,10	-0,23	-0,18	-0,47	-0,61	0,01	-0,13	-0,22	0,62	0,30	0,19
$V_{\text{ветр}}$ :															
суточная средняя	-0,34	-0,61	-0,37	-0,22	0,00	-0,16	-0,34	-0,18	0,01	-0,06	0,33	-0,09	0,26	0,22	0,44
суточная максимальная	0,10	-0,05	-0,42	0,03	0,12	0,25	0,20	-0,15	0,31	0,29	0,59	0,27	0,41	0,27	0,26
суточная минимальная	-0,59	-0,64	-0,62	-0,28	-0,64	-0,50	-0,45	-0,52	-0,42	-0,50	<b>0,78</b>	0,67	<b>0,78</b>	0,46	<b>0,77</b>
дневная максимальная	-0,22	-0,61	-0,51	-0,14	0,49	-0,12	-0,60	-0,47	-0,02	0,40	0,22	0,30	0,67	0,33	-0,52
дневная минимальная	-0,33	-0,45	-0,02	-0,17	0,04	0,24	0,13	-0,27	-0,04	-0,24	-0,27	-0,15	-0,66	-0,18	-0,07
ночная максимальная	0,53	0,18	-0,16	0,23	0,52	0,28	-0,10	-0,40	0,13	0,26	0,13	0,13	0,28	0,29	-0,18
ночная минимальная	0,35	0,15	-0,10	0,22	0,16	0,35	0,15	-0,10	0,22	0,16	-0,32	-0,19	0,02	-0,09	0,35
<i>P</i> среднее	-0,36	-0,81	0,09	0,04	-	-0,44	-0,67	0,10	-0,14	-	0,45	0,27	0,10	-0,04	-

Примечание: Достоверные коэффициенты корреляции ( $p < 0,05$ ) выделены полужирным шрифтом.

Обратная корреляция между относительной влажностью воздуха и радиальным ростом в сосняке кустарничково-сфагновом свидетельствует об ухудшении водного состояния деревьев и замедлении ростовых процессов.

В целом сосна в черничном, брусничном и кустарничково-сфагновом типах леса имеет сходную реакцию на изменчивость метеофакторов, основным из которых является температурный режим воздуха. Только в кустарничково-сфагновом типе обнаружена корреляция с относительной влажностью воздуха и не обнаружена с осадками.

Полученные нами результаты указывают на июльскую температуру как на основной фактор, влияющий на радиальный рост сосны.

#### Заключение

Анализ динамики радиального прироста сосны обыкновенной, произрастающей в подзоне северной тайги на севере Русской равнины, выявил определенные закономерности изменчивости данного параметра. Обнаружено, что радиальный прирост в северотаежных сосняках в условиях умеренно континентального климата подвержен сильному влиянию метеопараметров.

В черничном, брусничном и кустарничково-сфагновом типах леса основными факторами, воздействующими на радиальный рост, являются ночная температура воздуха и температура точки росы июля. Менее значительно влияние осадков и скорости ветра. Таким образом, установлено, что температурный режим воздуха текущего вегетационного периода оказывает наибольшее и существенное воздействие по сравнению с другими метеопараметрами на радиальный рост типичных сосновых лесов северной тайги Европейского Севера России.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Бабушкина Е.А., Ваганов Е.А., Силкин П.П. Влияние климатических факторов на клеточную структуру годовых колец хвойных, произрастающих в различных топоэкологических условиях лесостепной зоны Хакасии // Журн. СФУ. Сер.: Биология. 2010. Т. 3, № 2. С. 159–177.

Babushkina E.A., Vaganov E.A., Silkin P.P. Influence of Climatic Factors on Tree-Ring Cell Structure of Conifers Growing in Different Topoecological Conditions in Forest-Steppe Zone of Khakassia. *Journal of Siberian Federal University. Biology*, 2010, vol. 3, no. 2, pp. 159–177. (In Russ.). <https://doi.org/10.17516/1997-1389-0209>

2. Бабушкина Е.А., Кнорре А.А., Ваганов Е.А., Брюханова М.В. Трансформация климатического отклика в радиальном приросте деревьев в зависимости от топоэкологических условий их произрастания // География и природные ресурсы. 2011. № 1. С. 159–166.

Babushkina E.A., Vaganov E.A., Knorre A.A., Bryukhanova M.V. Transformation of Climatic Response in Radial Increment of Trees Depending on Topoecological Conditions of Their Occurrence. *Geografia i prirodnye resursy = Geography and Natural Resources*, 2011, no. 1, pp. 159–166. (In Russ.). <https://doi.org/10.1134/S1875372811010148>

3. Болботунов А.А., Дегтярева Е.В. Особенности сезонного годовичного прироста древесины хвойных пород в насаждениях на севере Беларуси // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф: Строительство. Прикладные науки. 2020. № 8. С. 29–32.

Bolbotunov A.A., Degtjareva E.V. Features of the Seasonal Annual Increment of Conifers Wood in Forests in the North of Belarus. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F. Stroitel'stvo. Prikladnye nauki = Vestnik of Polotsk State University. Part F. Constructions. Applied Sciences*, 2020, no. 8, pp. 29–32. (In Russ.).

4. Кучеров С.Е., Васильев Д.Ю., Мулдашев А.А. Реконструкция осадков мая–июня по радиальному приросту сосны обыкновенной на Бугульминско-Белебеевской возвышенности для территории Башкирии // Экология. 2016. № 2. С. 83–93.

Kucherov S.E., Vasil'ev D.Y., Muldashev A.A. Reconstruction of May–June Precipitation in the Territory of Bashkiria Based on Scots Pine Tree-Ring Data from the Bugulma–Belebey Upland. *Ekologia = Russian Journal of Ecology*, 2016, no. 2, pp. 83–93. (In Russ.). <https://doi.org/10.7868/S0367059716010078>

5. Рысин Л.П., Савельева Л.И. Сосновые леса России. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2008. 289 с.

Rysin L.P., Savel'yeva L.I. *Pine Forests of Russia*. Moscow, KMK Publ., 2008. 289 p. (In Russ.).

6. Скомаркова М.В., Ваганов Е.А., Вирт К., Кирдянов А.В. Климатическая обусловленность радиального прироста хвойных и лиственных пород деревьев в подзоне средней тайги Центральной Сибири // География и природные ресурсы. 2009. № 2. С. 80–85.

Skomarkova M.V., Kirryanov A.V., Vaganov E.A., Wirth C. Climatic Conditionality of Radial Increment of Conifers and Hardwoods in the Middle Taiga Subzone of Central Siberia. *Geografia i prirodnye resursy = Geography and Natural Resources*, 2009, no. 2, pp. 80–85. (In Russ.). <https://doi.org/10.1016/j.gnr.2009.06.014>

7. Феклистов П.А., Евдокимов В.Н., Барзут В.М. Биологические и экологические особенности роста сосны в северной подзоне европейской тайги. Архангельск: 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 European Taiga*. Arkhangelsk, ASTU Publ., 1997. 140 p. (In Russ.).

8. Цветков В.Ф. Камо грядеши (Некоторые вопросы лесоведения и лесоводства на Европейском Севере). Архангельск: АГТУ, 2000. 253 с.

Tsvetkov V.F. *Kamo gryadeshi (Some Issues of Forestry and Forest Science in the European North)*. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2000. 253 p. (In Russ.).

9. Шишов В.В., Наурызбаев М.М., Ваганов Е.А., Ивановский А.Б., Корец М.А. Анализ изменчивости радиального прироста древесных растений на территории севера Евразии в последние десятилетия // Изв. РАН. Сер.: Географическая. 2007. № 3. С. 49–58.

Shishov V.V., Naurzbaev M.M., Vaganov E.A., Ivanovsky A.B., Korets M.A. The Analysis of Tree-Ring Growth on Eurasian North at the Last Decades. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya = Regional Research of Russia*, 2007, no. 3, pp. 49–58. (In Russ.).

10. Antonova G.F., Stasova V.V. Effect of Environmental Factors on Wood Formation in Scots Pine Stems. *Trees*, 1993, vol. 7, pp. 214–219. <https://doi.org/10.1007/BF00202076>

11. Burgess S.S.O., Dawson T.E. The Contribution of Fog to the Water Relations of *Sequoia sempervirens* (D. Don): Foliar Uptake and Prevention of Dehydration. *Plant Cell & Environment*, 2004, vol. 27, iss. 8, pp. 1023–1034. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2004.01207.x>

12. Edvardsson J., Rimkus E., Corona C., Šimanauskienė R., Kažys J., Stoffel M. Exploring the Impact of Regional Climate and Local Hydrology on *Pinus sylvestris* L. Growth Variability – A Comparison between Pine Populations Growing on Peat Soils and Mineral Soils in Lithuania. *Plant and Soil*, 2015, vol. 392, pp. 345–356. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2466-9>

13. Hellmann L., Agafonov L., Ljungqvist F.C., Churakova O., Duthorn E., Esper J. et al. Diverse Growth Trends and Climate Responses across Eurasia's Boreal Forest. *Environmental Research Letters*, 2016, vol. 11, art. 074021. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/7/074021>

14. Hughes M.K., Olchev A., Bunn A.G., Berner L.T., Losleben M., Novenko E. Different Climate Responses of Spruce and Pine Growth in Northern European Russia. *Dendrochronologia*, 2019, vol. 56, art. 125601. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2019.05.005>

15. Kirchhefer A.J. Reconstruction of Summer Temperature from Tree-Rings of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) in Coastal Northern Norway. *The Holocene*, 2001, vol. 11, iss. 1, pp. 41–52. <https://doi.org/10.1191/095968301670181592>
16. Koval I. Climatic Signal in Earlywood, Latewood and Total Ring Width of Crimean Pine (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana*) from Crimean Mountains, Ukraine. *Baltic Forestry*, 2013, vol. 19, no. 2(37), pp. 245–251.
17. Kozłowski T.T. Water Supply and Tree Growth. Part II. Flooding. *Forestry Abstracts*, 1982, vol. 43, pp. 145–161.
18. Lebourgeois F. Climatic Signals in Earlywood, Latewood and Total Ring Width of Corsican Pine from Western France. *Annals of Forest Science*, 2000, vol. 57, no. 2, pp. 155–164. <https://doi.org/10.1051/forest:2000166>
19. Limm E.B., Simonin K.A., Bothman A.G., Dawson T.E. Foliar Water Uptake: A Common Water Acquisition Strategy for Plants of the Redwood Forest. *Oecologia*, 2009, vol. 161, pp. 449–459. <https://doi.org/10.1007/s00442-009-1400-3>
20. Lindholm M., Lehtonen H., Kolström T., Meriläinen J., Eronen M., Timonen M. Climatic Signals Extracted from Ring-Width Chronologies of Scots Pines from the Northern, Middle and Southern Parts of the Boreal Forest Belt in Finland. *Silva Fennica*, 2000, vol. 34, no. 4, pp. 317–330. <https://doi.org/10.14214/sf.616>
21. Lopatin E., Kolström T., Spiecker H. Impact of Climate Change on Radial Growth of Siberian Spruce and Scots Pine in North-Western Russia. *iForest – Biogeosciences and Forestry*, 2008, vol. 1, iss. 1, pp. 13–21. <https://doi.org/10.3832/ifer0447-0010013>
22. Macias M., Timonen M., Kirchhefer A.J., Lindholm M., Eronen M., Gutiérrez E. Growth Variability of Scots Pine (*Pinus sylvestris*) along a West-East Gradient across Northern Fennoscandia: A Dendroclimatic Approach. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 2004, vol. 36, iss. 4, pp. 565–574. [https://doi.org/10.1657/1523-0430\(2004\)036\[0565:GVOS PP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1657/1523-0430(2004)036[0565:GVOS PP]2.0.CO;2)
23. Moir A.K., Leroy S.A.G., Helama S. Role of Substrate on the Dendroclimatic Response of Scots Pine from Varying Elevations in Northern Scotland. *Canadian Journal of Forest Research*, 2011, vol. 41(4), pp. 822–838. <https://doi.org/10.1139/x10-241>
24. Nikolaev A.N., Federov P.P., Desyatkin A.R. Influence of Climate and Soil Hydrothermal Regime on Radial Growth of *Larix cajanderi* and *Pinus sylvestris* in Central Yakutia, Russia. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2009, vol. 24, iss. 3, pp. 217–226. <https://doi.org/10.1080/02827580902971181>
25. Oberhuber W., Gruber A. Climatic Influences on Intra-Annual Stem Radial Increment of *Pinus sylvestris* (L.) Exposed to Drought. *Trees*, 2010, vol. 24, iss. 5, pp. 887–898. <https://doi.org/10.1007/s00468-010-0458-1>
26. Seo J.-W., Eckstein D., Jalkanen R., Schmitt U. Climatic Control of Intra- and Inter-Annual Wood-Formation Dynamics of Scots Pine in Northern Finland. *Environmental and Experimental Botany*, 2011, vol. 72, iss. 3, pp. 422–431. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.01.003>
27. Shestakova T.A., Gutiérrez E., Valeriano C., Lapshina E., Voltas J. Recent Loss of Sensitivity to Summer Temperature Constrains Tree Growth Synchrony among Boreal Eurasian Forests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2019, vol. 268, pp. 318–330. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.01.039>
28. Wodzicki T.J. Mechanism of Xylem Differentiation in *Pinus silvestris* L. *Journal of Experimental Botany*, 1971, vol. 22, iss. 3, pp. 670–687. <https://doi.org/10.1093/jxb/22.3.670>

**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