

## КЛИМАТИЧЕСКИЙ ОТКЛИК В КАМБИАЛЬНОМ РОСТЕ ФОРМ СОСНЫ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ

Е.А. Пинаевская✉, С.Н. Тарханов

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, 163069, г. Архангельск, Набережная Северной Двины, д. 23

aviatorov8@mail.ru

Проведено исследование по выявлению климатического отклика в камбиальном росте у сосны разных форм в условиях избыточного увлажнения почв северной и средней тайги. Представлены результаты по росту деревьев сосны с разной формой апофиза семенной чешуи шишек различных мест произрастания (бассейны рек Северная Двина, Пинега, Вага и устьев рек Мезень и Вычегда). Установлены достоверные различия по росту между деревьями с «выпуклой» и «плоской» формой апофиза семенной чешуи шишек в бассейнах рек Северная Двина, Пинега и Вага, устье р. Вычегда. Значения радиального прироста у деревьев с «плоской» формой апофиза семенной чешуи шишек ниже, чем у деревьев с «выпуклой». Выявлено, что разные формы сосны имеют невысокие и близкие значения показателя «чувствительности» (19...27%), а изменчивость этого показателя в более северных ценопопуляциях характеризуется как средняя, а в других — среднеповышенная. По «индексу стресса» деревьям разных форм характерно устойчивое и менее устойчивое состояние к условиям избытка влаги. В ценопопуляции сосны в устье р. Мезень и бассейне р. Пинега установлены близкие средние значения по этому показателю. В бассейне р. Северная Двина у деревьев с «выпуклой» формой апофиза семенной чешуи шишек среднее значение «индекса стресса» ниже, чем у «плоской» формой апофиза. В бассейне р. Вага и устье р. Вычегда значения «индекса стресса» больше у деревьев с «выпуклой» формой апофиза, чем у деревьев с «плоской» формой. По радиальному приросту деревьев сосны разных форм и температуре воздуха в районах исследования установлены значимые корреляции. Полученные результаты могут быть использованы в решении природоохранных проблем, связанных с климатическими изменениями.

**Ключевые слова:** сосна (*Pinus sylvestris* L.), форма апофиза семенной чешуи шишек, камбиальный рост, таежная зона, температура воздуха

**Ссылка для цитирования:** Пинаевская Е.А., Тарханов С.Н. Климатический отклик в камбиальном росте форм сосны (*Pinus sylvestris* L.) таежной зоны Европейского Севера России // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 5. С. 5–14. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-5-14

В последние десятилетия глобальное потепление климата оказывает все большее влияние на природные экосистемы. Это может привести к их модификации на структурном и функциональном уровнях [1]. Для России отмечается тенденция повышения среднегодовой температуры воздуха: число дней с высокой температурой воздуха увеличивается, а с низкой — уменьшается [2]. Лесные экосистемы реагируют на изменения климатических параметров в большей или меньшей степени. В структуре древесины деревьев фиксируется климатическая реакция, которая зависит от локальных условий местопроизрастания и видовых особенностей [3–5]. В разных физико-географических районах изменения в росте деревьев в связи с потеплением климата специфично [6–9].

Для современных дендроклиматических исследований представляется важным изучение анатомических параметров древесных колец [10, 11]. В последние годы в этом направлении в таежных экосистемах проводятся исследования по

влиянию осадков и температур первой половины вегетационного сезона на радиальный прирост деревьев [4, 5]. В частности, проведен дендроклиматический анализ на Южном Урале [12]. Изучено влияние температур первой половины сезона на рост деревьев на верхней и северной границе леса. Исследования по влиянию осадков на радиальный прирост древесных видов проводились в наиболее засушливых регионах [13, 14]. В ряде работ по изучению роста древесных видов указана важность определения взаимодействия и влияния наследственных экологических факторов как одной из основополагающих проблем современной биологии [15, 16].

У сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) как основного лесообразующего хвойного вида выделены разные формы по признакам генеративных органов, в том числе по форме апофиза семенной чешуи шишек, этот признак является надежным морфологическим маркером [17–19]. Исследования многолетней динамики роста разных форм сосны интересны в точки зрения реакции деревьев климатические изменения. Были изучены



Рис. 1. Карта-схема пробных площадей  
Fig. 1. Schematic map of sampling areas

адаптивные реакции разных форм сосны обыкновенной в условиях длительного избыточного увлажнения в устье р. Северная Двина [20, 21], а полученные результаты дополнили исследования в данном направлении.

### Цель работы

Цель работы — выявление климатического отклика в камбиальном росте у сосны разных форм в условиях избыточного увлажнения почв северной и средней тайги.

### Материалы и методы

Исследования проведены в северо- (устье р. Мезень, бассейны рек Северная Двина и Пинега) и среднетаежных (бассейн р. Вага и устье р. Вычегда) кустарничково-сфагновых сосняках (состав 10С, класс бонитета Va) на пробных площадях в Архангельской области, заложенных стандартными методами (рис. 1).

Выполнено геоботаническое и таксационное описание этих пробных площадей. Возраст деревьев на пробных площадях определен по кернам, отобраным с помощью приростного бурава Naglof у основания ствола. Средняя высота деревьев на пробных площадях составила 5,2...6,1 м, средний диаметр стволов на высоте 1,3 м — 9,0...14,3 см.

Были выделены деревья с элементарными вариациями по форме апофиза семенной чешуи шишек: с «выпуклой» и «плоской» формами апофиза (рис. 2) [22].

Для оценки климатического отклика в камбиальном росте у 32...60 деревьев каждой формы

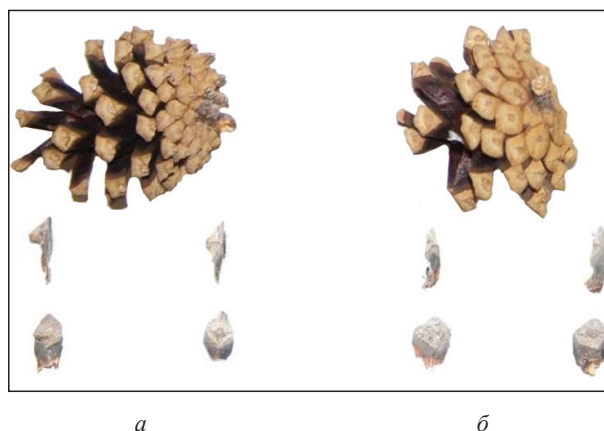
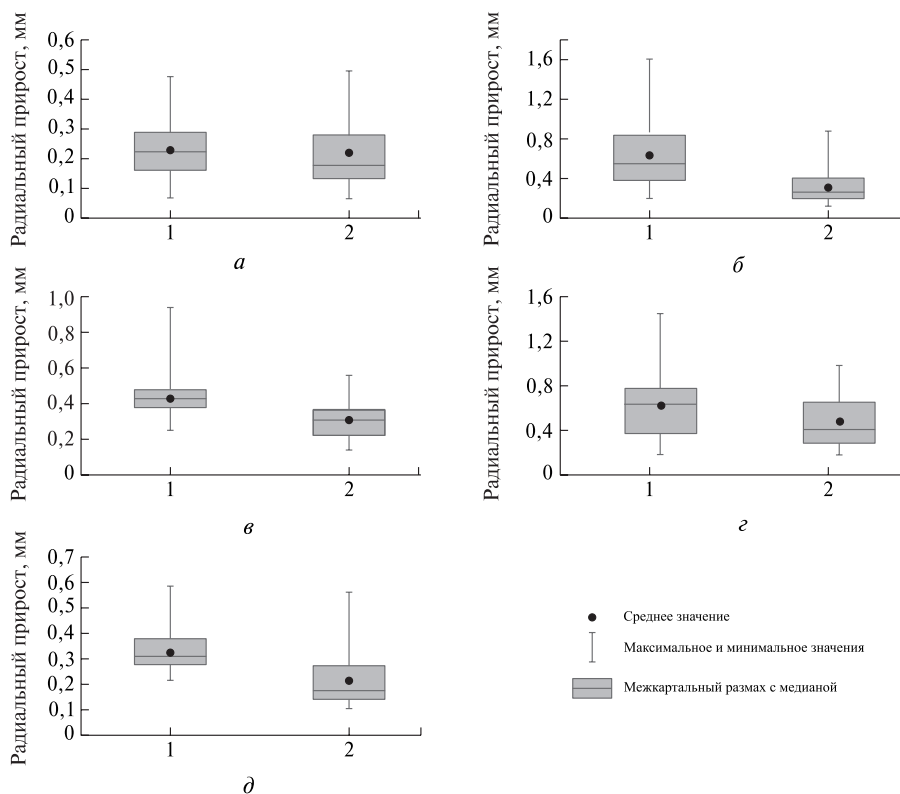


Рис. 2. «Выпуклая» (а) и «плоская» (б) формы апофиза семенной чешуи шишек

Fig. 2. «Convex» (a) and «flat» (b) apophysis of the cones seed scales

130–190-летнего возраста отобраны керны древесины на высоте ствола 1,3 м (годы отбора с 2014 по 2016). У разных форм сосны в лабораторных условиях проведены измерения радиального прироста, выполнены стандартизация измерений [23, 24] и дендрохронологический анализ [25–27]. Рассчитаны дендрохронологические показатели: степень надежности хронологий (оценка представительности рядов данных), индекс прироста (относительная величина, рассчитанная методом 5-летнего сглаживания средних значений), показатель «чувствительности» (относительная величина, рассчитанная через отношение разности соседних значений радиального прироста к среднему значению), «индекс стресса» (показатель устойчивости деревьев) [28–30]. Значения по температуре



**Рис. 3.** Средние статистические показатели камбиального роста у форм сосны разных ценопопуляций: 1 — деревья с «выпуклой» формой апофиза семенной чешуи шишек; 2 — деревья с «плоской» формой апофиза; а — устье р. Мезень; б — бассейн р. Северная Двина; в — бассейн р. Пинега; г — бассейн р. Вага; д — устье р. Вычегда

**Fig. 3.** Average statistical indicators of cambial growth in pine of different populations: 1 — trees with a «convex» apophysis of the cones seed scales; 2 — trees with a «flat» form of the apophysis; а — the mouth of the Mezen River; б — the Northern Dvina River basin; в — the Pinega River basin; г — the Vaga River basin; д — the Vychegda River mouth

воздуха были взяты из архивов ближайших к пунктам исследования метеорологических станций (информация предоставлена сайтом «Расписание Погоды», [gr5.ru](http://gr5.ru)). Для выявления климатического отклика в камбиальном росте у разных форм сосны применялся корреляционный анализ.

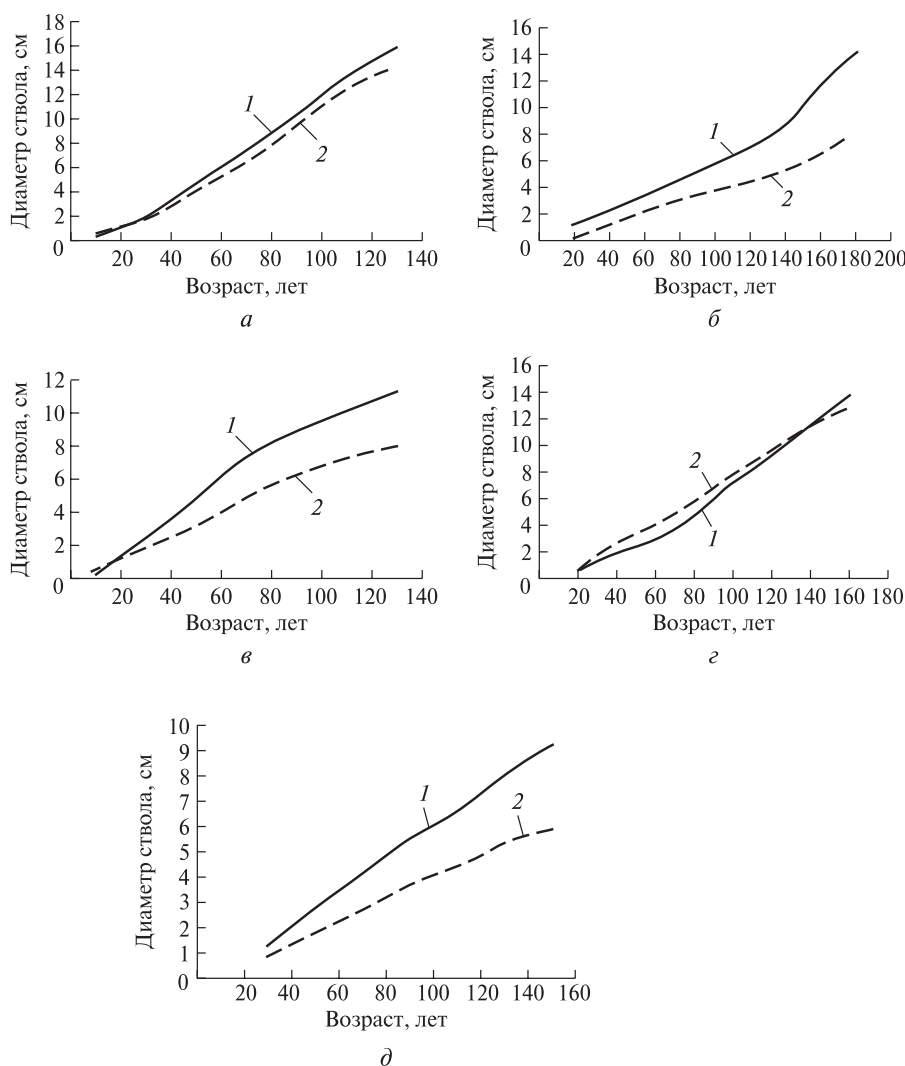
## Результаты и обсуждение

Установлено, что в разных ценопопуляциях средние значения радиального прироста у деревьев с «выпуклой» и «плоской» формами апофиза отличаются (рис. 3). У деревьев с «плоской» формой апофиза семенной чешуи шишек значения ниже, чем у деревьев с «выпуклой». Достоверность различий установлена между деревьями в бассейнах рек Северная Двина и Пинега, в устье р. Вычегда ( $t = 5,10 \dots 6,41$ ;  $t_{0,001} = 3,39 \dots 3,42$ ) и бассейне р. Вага ( $t = 3,03$ ;  $t_{0,01} = 2,62$ ).

Возрастная изменчивость камбиального роста у выделенных форм разных ценопопуляций представлена на графиках (рис. 4). Установлено, что диаметр ствола (без коры) у сосны с «плоской» формой апофиза ниже, чем у сосны с «выпуклой» формой апофиза семенной чешуи шишек в ис-

следуемых ценопопуляциях. В ценопопуляциях в устье р. Мезень, бассейнах рек Пинега и Вага у деревьев возрастом до 30 лет диаметр ствола с этими формами близок. Достоверность различий ценопопуляций в бассейне р. Северная Двина подтверждается на 0,1%-м уровне значимости, в устье р. Мезень и бассейнах рек Пинега и Вага — на 1%-м, в устье р. Вычегда — на 5%-м по  $t$ -критерию Стьюдента.

У деревьев сосны разных форм установлены дендрохронологические показатели, которые отражают влияние на растение климатических и других факторов. Установлено, что ряды радиального прироста разных ценопопуляций надежны и пригодны для анализа (степень надежности хронологий — 0,78...0,94). Формы крайнесеверотаежной ценопопуляции сосны в устье р. Мезень имеют одинаковые значения по показателю «чувствительности», а у ценопопуляций в бассейнах рек Северная Двина, Пинега, Вага и устья р. Вычегда этот показатель имеет близкие значения. Изменчивость показателя «чувствительности» в более северных ценопопуляциях характеризуется как средняя, а в других — среднеповышенная



**Рис 4.** Динамика роста по диаметру ствола в разном возрасте у форм сосны разных ценопопуляций: 1 — деревья с «выпуклой» формой апофиза семенной чешуи шишек; 2 — деревья с «плоской» формой апофиза; а — устье р. Мезень; б — бассейн р. Северная Двина; в — бассейн р. Пинега; г — бассейн р. Вага; д — устье р. Вычегда

**Fig 4.** Growth dynamics by trunk diameter at different ages in pine forms of different populations: 1 — trees with a «convex» apophysis of the cones seed scales; 2 — trees with a «flat» form of the apophysis; а — the mouth of the Mezen River; б — the Northern Dvina River basin; в — the Pinega River basin; г — the Vaga River basin; д — the Vychegda River mouth

(табл. 1). По данным работы Ferguson C.W. [31], этот показатель у разных форм сосны невысокий, что указывает на слабую реакцию деревьев на комплекс экологических факторов. В районах Севера при длительном увлажнении почв деревья могут быть менее чувствительными к локальным условиям окружающей среды. Ранее было установлено, что у форм сосны с разным цветом пыльников в условиях северной тайги показатель «чувствительности» имеет низкие значения (< 30 %), что согласуется с полученными данными для деревьев с разной формой апофиза семенной чешуи шишек разных ценопопуляций сосны [20].

При оценке климатического отклика в рядах радиального прироста деревьев используются

различные показатели. Так, дополнительно был рассчитан «индекс стресса» у разных форм сосны (за 30-летний период). Нулевое значение этого показателя указывает на устойчивость деревьев к неблагоприятным факторам, а при его высоких значениях — на неустойчивость. В ценопопуляции сосны в устье р. Мезень и бассейне р. Пинега установлены близкие средние значения «индекса стресса». В бассейне р. Северная Двина у деревьев с «выпуклой» формой апофиза семенной чешуи шишек среднее значение «индекса стресса» ниже (большая устойчивость), чем с «плоской» формой апофиза. Ранее выявлено, что значения этого показателя у форм сосны с разным цветом пыльников в бассейне р. Северная Двина соответ-

Т а б л и ц а 1

**Показатель «чувствительности» у форм сосны  
разных ценопопуляций в различных местах произрастания, %**

**The indicator of «sensitivity» for pine of different populations in different places of growth, %**

Место произрастания	Среднее значение		Диапазон варьирования признака		Коэффициент вариации	
	1	2	1	2	1	2
Устье р. Мезень	24	24	14...36	14...31	19	16
Бассейн р. Северная Двина	21	25	8...32	16...35	18	18
Бассейн р. Пинега	19	22	9...27	13...30	21	20
Бассейн р. Вага	27	24	16...39	14...39	21	23
Устье р. Вычегда	22	24	16...30	8...36	16	25

*Примечание:* 1 — деревья с «выпуклой» формой апофиза семенной чешуи шишек; 2 — деревья с «плоской» формой апофиза семенной чешуи шишек.

Т а б л и ц а 2

**«Индекс стресса» у форм сосны разных ценопопуляций**

**The «stress index» of pine of different populations**

Место произрастания	Диапазон колебаний индекса		Среднее значение с ошибкой		Уровень стресса	
	1	2	1	2	1	2
Устье р. Мезень	-0,34...+0,21	-0,43...+0,27	0,257 ± 0,018	0,243 ± 0,020	средний	средний
Бассейн р. Северная Двина	-0,29...+0,25	-0,18...+0,21	0,228 ± 0,012	0,302 ± 0,016	средний	высокий
Бассейн р. Пинега	-0,25...+0,15	-0,25...+0,23	0,139 ± 0,017	0,168 ± 0,021	низкий	низкий
Бассейн р. Вага	-0,34...+0,23	-0,33...+0,27	0,307 ± 0,016	0,233 ± 0,017	высокий	средний
Устье р. Вычегда	-0,17...+0,19	-0,14...+0,17	0,204 ± 0,023	0,146 ± 0,021	средний	низкий

*Примечание:* 1 — деревья с «выпуклой» формой апофиза семенной чешуи шишек; 2 — деревья с «плоской» формой апофиза семенной чешуи шишек.

ствуют высокому уровню стресса [20], что близко к полученным данным для деревьев с «выпуклой» и «плоской» формами апофиза семенной чешуи шишек. В среднетажных ценопопуляциях (бассейн р. Вага и устье р. Вычегда) значения «индекса стресса» больше у деревьев с «выпуклой» формой апофиза, чем у деревьев с «плоской» формой. По-видимому, в более благоприятных условиях деревья с «плоской» формой апофиза более устойчивы. В разных ценопопуляциях у форм сосны выявлено от низкого (устойчивого состояния) до высокого (менее устойчивого состояния) уровня «индекса стресса» (табл. 2). Это имеет наследственно обусловленный характер и связано с адаптацией деревьев к условиям почвенного избытка влаги.

Начало и интенсивность формирования побегов зависят от показателей температуры воздуха. Термический режим вегетационного сезона в условиях Севера влияет на все ростовые процессы деревьев. Известно [25, 32, 33], что по северной границе леса единственным лимитирующим климатическим фактором, определяющим прирост, является температура воздуха вегетационного периода. Температура воздуха периода

вегетации является определяющим фактором, влияющим на ростовые процессы деревьев [34]. Ранее было установлено, что в ценопопуляции в бассейне р. Северная Двина за последние 50 лет у деревьев разных форм сосны максимальные (0,45...0,97 мм) и минимальные (0,21...0,42 мм) значения радиального прироста совпадают с повышенной (1,6 °С) и низкой (-1,4 °С) среднегодовой температурой воздуха [21].

Наиболее распространенным инструментом для анализа радиального прироста и климатическими рядами служит коэффициент корреляции [35, 36]. Более сильный климатический сигнал проявляется, если учитывать влияние метеорологических факторов начала вегетации и вегетационного периода. Температура летних месяцев стимулирует фотосинтез и положительно влияет на ростовые процессы деревьев [3]. У форм сосны разных ценопопуляций рассчитан коэффициент корреляций между радиальным приростом (в относительных индексах) и температурой воздуха (среднегодовые значения, средние значения за период начала вегетации, среднее значение за вегетационный период) за 5-летний период (табл. 3).



Т а б л и ц а 3

Средние значения температуры воздуха за 5-летний период  
Average values of air temperature over a 5-year period

Район исследования	Температура воздуха, °С		
	Среднегодовая	Начало вегетации (май — июнь)	Вегетационный период (май — сентябрь)
Устье р. Мезень	1,7	11,3	12,7
Бассейн р. Северная Двина	3,2	13,2	13,8
Бассейн р. Пинега	2,8	13,5	13,9
Бассейн р. Вага	4,5	15,0	15,7
Устье р. Вычегда	3,9	14,3	14,7

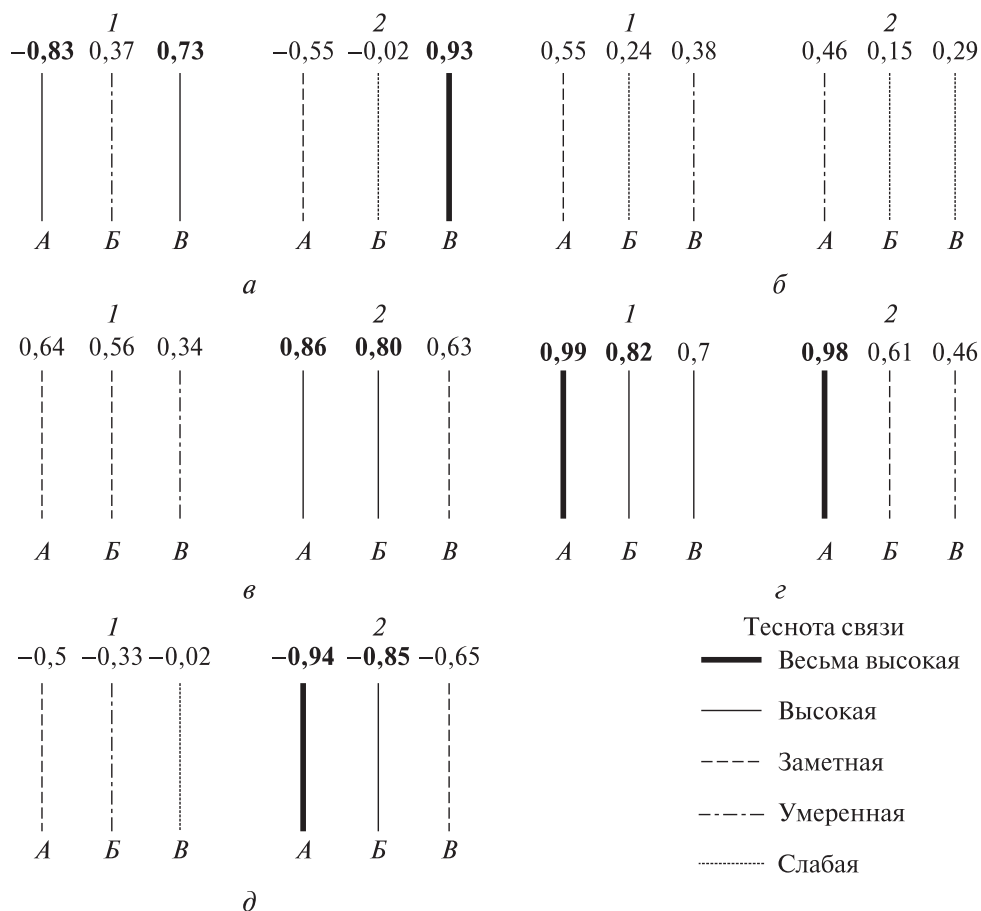


Рис. 5. Коэффициент корреляции температуры воздуха и относительного индекса радиального прироста разных форм сосны: 1 — деревья с «выпуклой» формой апофиза семенной чешуи шишек; 2 — деревья с «плоской» формой апофиза; а — устье р. Мезень; б — бассейн р. Северная Двина; в — бассейн р. Пинега; г — бассейн р. Вага; д — устье р. Вычегда; А — среднегодовая температура воздуха; Б — температура воздуха начала вегетации; В — температура воздуха вегетационного периода; полужирным — уровень значимости ( $p < 0,05$ )

Fig. 5. Correlation parameter of air temperature and relative index of pine growth : 1 — trees with a «convex» apophysis of the cones seed scales; 2 — trees with «flat» form of the apophysis; а — the mouth of the Mezen River; б — the Northern Dvina River basin; в — the Pinega River basin; г — the Vaga River basin; д — the Vychegda River mouth; А — average annual air temperature; Б — air temperature at the beginning of vegetation; В — air temperature of the growing season; bold — level of significance ( $p < 0,05$ )

Установлен значимый коэффициент корреляции между приростом и температурой воздуха вегетационного периода (май — сентябрь) в ценопопуляции устья р. Мезень (рис. 5). У деревьев с «плоской» формой апофиза семенной чешуи шишек выявлена более тесная связь между приростом и температурой воздуха по сравнению с деревьями с «выпуклой» формой апофиза. В ценопопуляции в бассейне р. Северная Двина установлен положительный коэффициент корреляции между приростом и среднегодовой температурой воздуха. У деревьев с «плоской» формой апофиза в бассейне р. Пинега установлены высокие связи между приростом и среднегодовой температурой и температурой начала вегетации. В ценопопуляции в бассейне р. Вага установлена очень высокая значимая связь между приростом и среднегодовой температурой воздуха у разных форм сосны. У деревьев с «выпуклой» формой апофиза семенной чешуи шишек высокие значимые связи выявлены между приростом и температурой воздуха начала вегетации, приростом и температурой воздуха периода вегетации. У деревьев в устье р. Вычегда установлена отрицательная очень высокая связь между приростом и среднегодовой температурой и температурой начала вегетации у деревьев с «плоской» формой апофиза семенной чешуи шишек (см. рис. 5).

## Выводы

1. У деревьев с «плоской» формой апофиза семенной чешуи шишек значения радиального прироста ниже, чем у деревьев с «выпуклой» формой. Между деревьями выделенных форм в ценопопуляциях сосны в бассейнах рек Северная Двина и Пинега, в устье р. Вычегда и бассейне р. Вага установлены достоверные различия.

2. Разные формы сосны имеют невысокие и близкие значения показателя «чувствительности» (19...27 %).

3. В разных ценопопуляциях сосны деревьям с «выпуклой» и «плоской» формами апофиза семенной чешуи шишек характерно устойчивое и менее устойчивое состояние к условиям почвенного избытка влаги.

4. По радиальному приросту деревьев разных форм и температуре воздуха (среднегодовой, вегетационного периода, начала вегетации) в ценопопуляциях сосны в устьях рек Мезень и Вычегда, бассейнах рек Северная Двина, Пинега и Вага установлены значимые корреляции

*Исследования выполнены в рамках государственного задания ФГБУН Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН (№ госрегистрации — 122011400384-2).*

## Список литературы

- [1] Tchebakova N.M., Rehfeldt G., Parfenova E.I. From vegetation zones to climatypes: Effects of climate warming on Siberian ecosystems // Permafrost ecosystems: Siberian larch forests. Eds. Osawa A., Zyryanova O.A., Matsuura Y., Kajimoto T., Wein R.W. Berlin, Heidelberg, N.Y.: Springer-Verlag, 2010, pp. 427–446. DOI: 10.1007/978-1-4020-9693-8\_22
- [2] Замолодчиков Д.Г., Краев Г.Н. Влияние изменений климата на леса России: зафиксированные воздействия и прогнозные оценки // Устойчивое лесопользование, 2016. № 4 (48). С. 23–31.
- [3] Babushkina E.A., Belokopytova L.V. Climatic signal in radial increment of conifers in forest steppe of Southern Siberia and its dependence on local growing conditions // Russian J. of Ecology, 2014, v. 45, no. 5, pp. 325–332. DOI: 10.1134/S1067413614050038
- [4] Бабушкина Е.А., Ваганов Е.А., Силкин П.П. Влияние климатических факторов на клеточную структуру годичных колец хвойных, произрастающих в различных топоэкологических условиях лесостепной зоны Хакасии // Журнал Сибирского федерального университета. Сер. Биология, 2010. Т. 3, № 2. С. 159–176.
- [5] Бабушкина Е.А., Кнорре А.А., Ваганов Е.А., Брюханова М.В. Трансформация климатического отклика в радиальном приросте деревьев микроэкологическими условиями их произрастания // География и природные ресурсы, 2011. № 1. С. 159–166.
- [6] Шашкин Е.А., Ваганов Е.А. Динамика прироста площадей сечения стволов у деревьев в разных районах Сибири в связи с глобальными изменениями температуры // Лесоведение, 2000. № 3. С. 3–11.
- [7] Комин Г.Е. Методика дендрохронологической оценки влияния парникового эффекта на рост леса // Лесоведение, 2003. № 1. С. 58–64.
- [8] Wilmking M., D'Arrigo R., Jacoby G.C., Juday G.P. Increased temperature sensitivity and divergent growth trends in circumpolar boreal forests // Geophysical Research Letters, 2005, v. 32, L15715, pp. 1–4. DOI: 10.1029/2005GL023331
- [9] McGuire A.D., Chapin III F.S., Walsh J.E., Wirth C. Integrated regional changes in Arctic climate feedbacks: implications for the global climate system // Annual Review of Environment and Resources, 2006, v. 31, pp. 61–91. DOI: 10.1146/annurev.energy.31.020105.100253
- [10] Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазепа В.С. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. Новосибирск: Наука, 1996. 246 с.
- [11] Румянцев Д.Е. Влияние климатических факторов на рост сосны в южной Карелии // Лесоведение, 2004. № 5. С. 73–75.
- [12] Магда В.Н., Ваганов Е.А. Климатический отклик прироста деревьев в горных лесостепях Алтая — Саянского региона // Известия РАН. Сер. географическая, 2006. № 5. С. 92–100.
- [13] Naurzbaev M.M., Vaganov E.A., Sidorova O.V. Variability of the air temperature in the north of Eurasia inferred from millennial tree-ring chronologies // Криосфера Земли, 2003. Т. 7, № 2. С. 84–91.
- [14] Briffa K.R., Osborn T.J., Schweingruber F.H. Large-scale temperature inferences from tree rings: a review // Global and Planetary Change, 2004, v. 40, iss. 1–2, pp. 11–26. DOI: 10.1016/S0921-8181(03)00095-X
- [15] Драгавцев В.А. О возможности быстрой оценки адаптивного полиморфизма в естественных популяциях монопоидальных хвойных деревьев // Эко-потенциал, 2016. № 2 (14). С. 22–27.

- [16] Тихонова И.В., Тарханов В.В., Кнорре А.А., Тихонова Н.А. Наследуемость климатического отклика у клонов сосны обыкновенной в условиях Среднеобского бора // Экология, 2015. № 6. С. 411–419. DOI: 10.7868/S0367059715060190
- [17] Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. М.: Наука, 1964. 192 с.
- [18] Абатурова М.П. Исследование элементарных морфологических признаков ели обыкновенной // Научные основы селекции хвойных древесных пород. М.: Наука, 1978. С. 87–98.
- [19] Видякин А.И. Фены лесных древесных растений: выделение, масштабирование и использование в популяционных исследованиях (на примере *Pinus sylvestris* L.) // Экология, 2001. № 3. С. 197–202.
- [20] Tarkhanov S.N., Pinaevskaya E.A., Aganina Y.E. Adaptive responses of morphological forms of pine (*Pinus sylvestris* L.) under stressful conditions of the northern taiga (in the Northern Dvina Basin) // Contemporary Problems of Ecology, 2018, v. 11, no. 4, pp. 377–387. DOI: 10.1134/S1995425518040091
- [21] Тарханов С.Н., Пинаевская Е.А., Аганина Ю.Е. Особенности адаптации разных форм сосны обыкновенной в условиях длительного избыточного увлажнения почв // ИВУЗ Лесной журнал, 2021. № 2 (380). С. 30–44. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-2-30-44
- [22] Молотков П.И., Патлай И.Н., Давыдова Н.И. Селекция лесных пород. М.: Лесная пром-сть, 1982. 224 с.
- [23] Магда В.Н. Радиальный прирост древесных растений как показатель увлажнения на юге Сибири: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Красноярск, 2003. 17 с.
- [24] Methods of dendrochronology. Application in the Environmental Science / ed. E.R. Cook, L.A. Kairiukstis. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Acad. Publishers, 1990, 394 p.
- [25] Шиятов С.Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале. М.: Наука, 1986. 137 с.
- [26] Briffa K.R., Jones P.D. Measuring the statistical quality of a chronology // Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences. Ed. E.R. Cook, L.A. Kairiukstis. Boston, Mass., USA: Kluwer Academic Publishers, 1990, pp. 137–152.
- [27] Fritts H.C. Tree ring and Climate. Caldwell NY USA: Blackburn Press, 2001, 567 p.
- [28] Битвинскас Т.Т. Дендроклиматические исследования. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 172 с.
- [29] Wigley T.M.L., Briffa K.R., Jones P.D. On the average value of correlated time series, with applications in dendrochronology and hydrometeorology // J. of Climate and Applied Meteorology, 1984, v. 23, pp. 201–213. DOI: 10.1175/1520-0450(1984)023<0201:OTAVOC>2.0.CO;2
- [30] Арефьев С.П. Оценка устойчивости кедровых лесов Западно-Сибирской равнины // Экология, 1997. № 3. С. 175–183.
- [31] Ferguson C.W. A 7104-year annual tree-ring chronology for Bristlecone pine, *Pinus aristata*, from the White Mountains, California // Tree-Ring Bulletin, 1969, v. 29, no. 3–4, pp. 3–29.
- [32] Ваганов Е.А., Шашкин А.В. Рост и структура годичных колец хвойных. Новосибирск: Наука, 2000. 214 с.
- [33] Шишов В.В., Ваганов Е.А., Хьюс М.К., Корец М.А. Пространственная изменчивость радиального прироста деревьев на территории Сибири в последнем столетии // Доклады Академии наук, 2002. Т. 387, № 5. С. 690–693.
- [34] Hustish J. The scotch pine in northernmost Finland and its dependence on the climate in the last decades // Acta Botanica Fennica, 1948, no. 42, pp. 1–75.
- [35] Cavin L., Jump A.S. Highest drought sensitivity and lowest resistance to growth suppression are found in the range core of the tree *Fagus sylvatica* L. not the equatorial range edge // Global Change Biology, 2017, v. 23, iss. 1, pp. 362–379. DOI: 10.1111/gcb.13366
- [36] Rozas V., Olano J.M. Dendroclimatic responses of four European broadleaved tree species near their south-western range edges // Dendrobiology, 2017, v. 77, pp. 65–75. DOI:10.12657/DENBIO.077.006

## Сведения об авторах

**Пинаевская Екатерина Александровна** <sup>✉</sup> — канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаборатории приарктических лесных экосистем Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, aviatorov8@mail.ru

**Тарханов Сергей Николаевич** — д-р биол. наук, зав. лабораторией приарктических лесных экосистем Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, tarkse@yandex.ru

Поступила в редакцию 24.03.2022.

Одобрено после рецензирования 26.05.2022.

Принята к публикации 15.08.2022.



# PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) CAMBIAL GROWTH IN TAIGA ZONE OF RUSSIAN EUROPEAN NORTH

E.A. Pinaevskaya✉, S.N. Tarkhanov

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 23, emb. Northern Dvina, 163069, Arkhangelsk, Russia

aviatorov8@mail.ru

A study was carried out to identify the climatic response in the pine cambial growth under the conditions of excessive moisture in the soils of the northern and middle taiga. The results of the pine trees growth with different apophysis of the cones seed scales from different habitats (the basins of the Northern Dvina, Pinega, Vaga rivers and the mouths of the Mezen and Vychehda rivers) are presented. Significant differences in growth were established between trees with a «convex» and «flat» apophysis of the cones seed scales in the basins of the Northern Dvina, the Pinega and the Vaga rivers and the mouth of the river Vychehda. The values of radial growth in trees with a «flat» apophysis of the cones seed scales are lower than in trees with a «convex» one. It was revealed that different forms of pine have low and close values of the «sensitivity» index (19...27%), and the variability of this indicator in the more northern cenopopulations is characterized as medium, and in others as medium increased. According to the «stress index», trees of different forms are characterized by a stable and less resistant state to conditions of excess moisture. The cenopopulation of pine at the mouth of the river Mezen and the river basin Pinega established close average values for this indicator. In the river basin of the Northern Dvina, in trees with a «convex» shape of apophysis of the cones seed scales, the average value of the «stress index» is lower than with the «flat» apophysis. In the river basin Vaga and the mouth of the river Vychehda the value of the «stress index» is higher in trees with a «convex» apophysis than in trees with a «flat» shape. Significant correlations were established for the radial growth of various pine trees and air temperature in the study areas. The results obtained can be used in solving environmental problems connected with climate change.

**Keywords:** pine (*Pinus sylvestris* L.), shape of apophysis of the cones seed scales, cambial growth, taiga zone, air temperature

**Suggested citation:** Pinaevskaya E.A., Tarkhanov S.N. *Klimaticheskii otklik v kambial'nom roste form sosny (Pinus sylvestris L.) taezhnoy zony Evropeyskogo Severa Rossii* [Pine (*Pinus sylvestris* L.) cambial growth in Taiga zone of Russian European North]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 5, pp. 5–14. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-5-14

## References

- [1] Tchebakova N.M., Rehfeldt G., Parfenova E.I. From vegetation zones to climatypes: Effects of climate warming on Siberian ecosystems. *Permafrost ecosystems: Siberian larch forests*. Eds. Osawa A., Zyryanova O.A., Matsuura Y., Kajimoto T., Wein R. W. Berlin, Heidelberg, N.Y.: Springer-Verlag, 2010, pp. 427–446. DOI: 10.1007/978-1-4020-9693-8\_22
- [2] Zamolodchikov D.G., Kraev G.N. *Vliyaniye izmeneniy klimata na lesa Rossii: zafiksirovannyye vozdeystviya i prognoznye otsenki* [The impact of climate change on Russian forests: recorded impacts and predictive estimates]. *Ustoychivoe lesopol'zovanie [Sustainable forest management]*, 2016, no. 4 (48), pp. 23–31.
- [3] Babushkina E.A., Belokopytova L.V. Climatic signal in radial increment of conifers in forest steppe of Southern Siberia and its dependence on local growing conditions. *Russian J. of Ecology*, 2014, v. 45, no. 5, pp. 325–332. DOI: 10.1134/S1067413614050038
- [4] Babushkina E.A., Vaganov E.A., Silkin P.P. *Vliyaniye klimaticheskikh faktorov na kletochnyuyu strukturu godichnykh kolets khvoynykh, proizrastayushchikh v razlichnykh topoekologicheskikh usloviyakh lesostepnoy zony Khakasii* [Influence of climatic factors on tree-ring cell structure of conifers growing in different topoecological conditions in the forest-steppe zone of Khakassia]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Ser. Biologiya [Journal of the Siberian Federal University. Biology series]*, 2010, t. 3, no. 2, pp. 159–176.
- [5] Babushkina E.A., Knorre A.A., Vaganov E.A., Bryukhanova M.V. *Transformatsiya klimaticheskogo otklika v radial'nom priroste derev'ev mikroekologicheskimi usloviyami ikh proizrastaniya* [Transformation of climatic response in radial increment of trees depending on topoecological conditions of their occurrence]. *Geografiya i prirodnye resursy [Geography and natural resources]*, 2011, no. 1, pp. 159–166.
- [6] Shashkin E.A., Vaganov E.A. *Dinamika prirosta ploshchadey secheniya stvolov u derev'ev v raznykh rayonakh Sibiri v svyazi s global'nymi izmeneniyami temperatury* [Dynamics of increase in cross-sectional areas of tree trunks in different regions of Siberia due to global temperature changes]. *Lesovedeniye [Russian Journal of Forest Science]*, 2000, no. 3, pp. 3–11.
- [7] Komin G.E. *Metodika dendrokronologicheskoy otsenki vliyaniya parnikovogo effekta na rost lesa* [Methods of dendrochronological estimation of greenhouse effect on growth of forest]. *Lesovedeniye [Russian Journal of Forest Science]*, 2003, no. 1, pp. 58–64.
- [8] Wilming M., D'Arrigo R., Jacoby G.C., Juday G.P. Increased temperature sensitivity and divergent growth trends in circumpolar boreal forests. *Geophysical Research Letters*, 2005, v. 32, L15715, pp. 1–4. DOI: 10.1029/2005GL023331
- [9] McGuire A.D., Chapin III F.S., Walsh J.E., Wirth C. Integrated regional changes in Arctic climate feedbacks: implications for the global climate system. *Annual Review of Environment and Resources*, 2006, v. 31, pp. 61–91. DOI: 10.1146/annurev.energy.31.020105.100253
- [10] Vaganov E.A., Shiyatov S.G., Mazepa V.S. *Dendroklimaticheskie issledovaniya v Uralo-Sibirskoy Subarktike* [Dendroclimatic research in the Ural-Siberian Subarctic]. Novosibirsk: Nauka [The Science], 1996, 246 p.
- [11] Rummyantsev D.E. *Vliyaniye klimaticheskikh faktorov na rost sosny v yuzhnoy Karelii* [Influence of climatic factors on growth of pine in Southern Karelia]. *Lesovedeniye [Russian Journal of Forest Science]*, 2004, no. 5, pp. 73–75.
- [12] Magda V.N., Vaganov E.A. *Klimaticheskii otklik prirosta derev'ev v gornykh lesostepnykh Altaya — Sayanskogo regiona* [Climate response on the mountain forest-steppe in Altay — Sayany region]. *Izvestiya RAN. Ser. geograficheskaya [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geographic series]*, 2006, no. 5, pp. 92–100.
- [13] Naurzbaev M.M., Vaganov E.A., Sidorova O.V. Variability of the air temperature in the north of Eurasia inferred from millennial tree-ring chronologies. *Kriosfera Zemli [Earth's cryosphere]*, 2003, t. 7, no. 2, pp. 84–91.
- [14] Briffa K.R., Osborn T.J., Schweingruber F.H. Large-scale temperature inferences from tree rings: a review. *Global and Planetary Change*, 2004, v. 40, iss. 1–2, pp. 11–26. DOI: 10.1016/S0921-8181(03)00095-X

- [15] Dragavtsev V.A. *O vozmozhnosti bystroy otsenki adaptivnogo polimorfizma v estestvennykh populyatsiyakh monopodial'nykh khvoynnykh derev'ev* [The possibility of fast estimation of adaptive polymorphism in natural populations of monopodial coniferous trees]. *Eko-potentsial* [Eco potential], 2016, no. 2 (14), pp. 22–27.
- [16] Tikhonova I.V., Tarakanov V.V., Knorre A.A., Tikhonova N.A. *Nasleduemost' klimaticheskogo otklika u klonov sosny obyknovennoy v usloviyakh Sredneobskogo bora* [Heritability of the climatic response in scotch pine clones under conditions of the Sredneobskiy pine forest]. *Ekologiya* [Russian Journal of Ecology], 2015, no. 6, pp. 411–419. DOI: 10.7868/S036705971506019
- [17] Pravdin L.F. *Sosna obyknovennaya. Izmenchivost', vnutrividovaya sistematika i selektsiya* [Scots pine. Variability, intraspecies taxonomy and selection]. Moscow: Nauka [The Science], 1964, 194 p.
- [18] Abaturova M.P. *Issledovanie elementarnykh morfologicheskikh priznakov eli obyknovennoy*. Nauchnye osnovy selektsii khvoynnykh drevesnykh porod [Study of elementary morphological characters of common spruce]. Nauchnye osnovy selektsii khvoynnykh drevesnykh porod [Scientific basis of conifer genus selection]. Moscow: Nauka [The Science], 1978, pp. 87–98.
- [19] Vidyakin A.I. *Feny lesnykh drevesnykh rasteniy: vydelenie, masshtabirovanie i ispol'zovanie v populyatsionnykh issledovaniyakh (na primere Pinus sylvestris L.)* [Phenes of woody plants: identification, scaling and use in population studies (an example of *Pinus sylvestris* L.)]. *Ekologiya* [Russian Journal of Ecology], 2001, no. 3, pp. 197–202.
- [20] Tarkhanov S.N., Pinaevskaya E.A., Aganina Y.E. Adaptive responses of morphological forms of pine (*Pinus sylvestris* L.) under stressful conditions of the northern taiga (in the Northern Dvina Basin). *Contemporary Problems of Ecology*, 2018, v. 11, no. 4, pp. 377–387. DOI: 10.1134/S1995425518040091
- [21] Tarkhanov S.N., Pinaevskaya E.A., Aganina Y.E. *Osobennosti adaptatsii raznykh form sosny obyknovennoy v usloviyakh dlitel'nogo izbytochnogo uvlazhneniya pochv* [Features of adaptation of different forms of scots pine under conditions of prolonged excessive soil moistening]. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2021, no. 2 (380), pp. 30–44. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-2-30-44
- [22] Molotkov P.I., Patlay I.N., Davydova N.I. *Selektsiya lesnykh porod* [Selection forest species]. Moscow: Lesnaya prom-t' [Forest Industry], 1982, 223 p.
- [23] Magda V.N. *Radial'nyy prirost drevesnykh rasteniy kak pokazatel' uvlazhneniya na yuge Sibiri* [Radial growth of woody plants as an indicator of moisture in the south of Siberia]. Dis. Cand. Sci. (Biol.). Krasnoyarsk, 2003, 17 p.
- [24] *Methods of dendrochronology. Application in the Environmental Science*. Ed. E.R. Cook, L.A. Kairiukstis. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Acad. Publishers, 1990, 394 p.
- [25] Shiyatov S.G. *Dendrokronologiya verkhney granitsy lesa na Urale* [Dendrochronology of the Upper Forest Margin in Ural]. Moscow: Nauka [The Science], 1986, 137 p.
- [26] Briffa K.R., Jones P.D. Measuring the statistical quality of a chronology. *Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences*. Ed. E.R. Cook, L.A. Kairiukstis. Boston, Mass., USA: Kluwer Academic Publishers, 1990, pp. 137–152.
- [27] Fritts H.C. *Tree ring and Climate*. Caldwell NY USA: Blackburn Press, 2001, 567 p.
- [28] Bitvinskis T.T. *Dendroklimaticheskie issledovaniya* [Dendroclimatic Analysis]. Leningrad: Gidrometeoizda [Gidrometeoizdat Publ.], 1974, 172 p.
- [29] Wigley T.M.L., Briffa K.R., Jones P.D. On the average value of correlated time series, with applications in dendrochronology and hydrometeorology. *J. of Climate and Applied Meteorology*, 1984, v. 23, pp. 201–213. DOI: 10.1175/1520-0450(1984)023<0201:OTAVOC>2.0.CO;2
- [30] Aref'ev S.P. *Otsenka ustoychivosti kedrovyykh lesov Zapadno-Sibirskoy ravniny* [Assessment of the stability of the siberian stone pine forest in the Western Siberian Plain]. *Ekologiya* [Russian Journal of Ecology], 1997, no. 3, pp. 175–183.
- [31] Ferguson C.W. A 7104-year annual tree-ring chronology for Bristlecone pine, *Pinus aristata*, from the White Mountains, California. *Tree-Ring Bulletin*, 1969, v. 29, no. 3–4, pp. 3–29.
- [32] Vaganov E.A., Shashkin A.V. *Rost i struktura godichnykh kolets khvoynnykh* [Growth and structure of coniferous growth rings]. Novosibirsk: Nauka [The Science], 2000, 214 p.
- [33] Shishov V.V., Vaganov E.A., Hughes M.K., Korets M.A. *Prostranstvennaya izmenchivost' radial'nogo prirosta derev'ev na territorii Sibiri v poslednem stoletii* [Spatial variability in the annual tree-ring growth in Siberia in the past century]. *Doklady Akademii nauk* [Doklady Earth Sciences], 2002, t. 387, no. 5, pp. 690–693.
- [34] Hustish J. The scotch pine in northernmost Finland and its dependence on the climate in the last decades. *Acta Botanica Fennica*, 1948, no. 42, pp. 1–75.
- [35] Cavin L., Jump A.S. Highest drought sensitivity and lowest resistance to growth suppression are found in the range core of the tree *Fagus sylvatica* L. not the equatorial range edge. *Global Change Biology*, 2017, v. 23, iss. 1, pp. 362–379. DOI: 10.1111/gcb.13366
- [36] Rozas V., Olano J.M. Dendroclimatic responses of four European broadleaved tree species near their south-western range edges. *Dendrobiology*, 2017, v. 77, pp. 65–75. DOI:10.12657/DENBIO.077.006

*The research was carried out within the framework of the state task of the Federal Research Center for the Comprehensive Study of the Arctic named after academician N.P. Laverov Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (state registration number — 122011400384-2).*

## Authors' information

**Pinaevskaya Ekaterina Aleksandrovna**  — Cand. Sci (Biology), Senior Researcher of Laboratory of Subarctic Forest Ecosystems of N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, aviatorov8@mail.ru

**Tarkhanov Sergey Nikolaevich** — Dr. Sci. (Biology), Head of the Laboratory of Subarctic Forest Ecosystems of N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, tarkse@yandex.ru

Received 24.03.2022.

Approved after review 26.05.2022.

Accepted for publication 15.08.2022.

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