

Научная статья

УДК 582.475:57.032/57.045
DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2021.4.02

Изменчивость роста деревьев *Pinus sylvestris* L. на верховых торфяных почвах в долине реки Кеми

Екатерина Александровна Пинаевская¹

кандидат биологических наук

Сергей Николаевич Тарханов²

доктор биологических наук

Григорий Сергеевич Потапов³

кандидат биологических наук

Аннотация. Рассматриваются результаты исследований роста деревьев в сосняках кустарничково-сфагновых в долине реки Кеми (Республика Карелия). Специфические климатические условия Карелии (влияние Атлантики и близость Белого и Баренцева морей, равнинный рельеф, близкое залегание слабодопроницаемых почвенных горизонтов) обуславливают высокую заболоченность территории. Исследования проводили на основании измерений морфометрических параметров (высота дерева, диаметр ствола, протяженность и диаметр кроны) и кернов древесины, отобранных для дендрохронологического анализа у 25 деревьев сосны в возрасте 120–140 лет. Выполнен расчет основных показателей, в том числе прироста по площади годичного кольца. Для выявления реакций радиального прироста сосны на изменение климатических характеристик использовали данные по температуре воздуха и количеству осадков метеостанции Кемь-Порт. Установлено, что среднее значение радиального прироста *Pinus sylvestris* L. составляет 1,36 мм, а прирост по площади годичного кольца – 2,27 см². Динамика этих показателей имеет сходный характер с 3-мя выраженными периодами роста деревьев сосны. Максимальные значения по радиальному приросту наблюдаются в старшем возрасте (2,25 мм). Для оценки комплексного влияния факторов среды на рост деревьев выявлена цикличность колебаний радиального прироста сосны, которая близка к солнечному циклу. Установлены невысокие значения коэффициента корреляции радиального прироста с метеопараметрами (среднегодовая температура воздуха и количество осадков за год) за весь период наблюдения. За 2000–2016 гг. выявлено положительное влияние количества осадков (за год и вегетационный период) на величину прироста по диаметру ствола у деревьев в условиях постоянного избыточного увлажнения почв.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, кустарничково-сфагновые сосняки, радиальный прирост деревьев, морфометрические параметры, климатические показатели.

Для цитирования: Пинаевская Е.А., Тарханов С.Н., Потапов Г.С. Изменчивость роста деревьев *Pinus sylvestris* L. на верховых торфяных почвах в долине реки Кеми // Лесохозяйственная информация. 2021. № 4. С. 26–37. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2021.4.02

¹ Федеральний исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, старший научный сотрудник лаборатории приарктических лесных экосистем (Архангельск, Российская Федерация), aviatorov8@mail.ru

² Федеральний исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, ведущий лабораторией приарктических лесных экосистем (Архангельск, Российская Федерация), tarkse@yandex.ru

³ Федеральний исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, ведущий научный сотрудник лаборатории приарктических лесных экосистем (Архангельск, Российская Федерация), grigorij-potapov@yandex.ru

Original article

DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2021.4.02

Variability of Growth of *Pinus Sylvestris* L. Trees on Upper Peat Soils in the Valley of the Kem River

Ekaterina A. Pinaevskaya¹

Candidate of Biological Sciences

Sergey N. Tarkhanov²

Doctor of Biological Sciences

Grigoriy S. Potapov³

Candidate of Biological Sciences

Abstract. The results of studies of tree growth in pine forests of dwarf shrub-sphagnum in the valley of the Kem River (Republic Karelia) are considered. The studies were carried out on the basis of morphometric measurements (tree height, trunk diameter, crown length and diameter) and wood cores samples taken for dendrochronological analysis from 25 pine trees aged 120–140 years. We used data on air temperature and precipitation from the Kem-Port weather station to identify the reactions of pine radial growth to changes in climatic indicators. The average value of the radial growth of *Pinus sylvestris* L. is 1,36 mm and the growth in the area of the ring is 2,27 cm². The dynamics of these indicators is similar. The maximum radial growth rates are observed at an older age (2,25 mm). To assess the complex influence of environmental factors on the growth of trees, the cyclical fluctuations in the radial growth of pine were revealed. Low values of the correlation coefficient of radial growth with meteorological parameters (average annual air temperature and annual precipitation) were established for the entire observation period. For 2000–2016 revealed a positive effect of the amount of precipitation (for the year and the growing season) on the value of the increase in the diameter of the trunk in trees under conditions of constant excessive soil moisture.

Key words: scots pine, dwarf-sphagnum pine forests, radial growth of trees, morphometric parameters, climatic indicators.

For citation: Pinaevskaya E.A., Tarkhanov S.N., Potapov G.S. Variability of Growth of *Pinus Sylvestris* L. Trees on upper Peat Soils in the Valley of the Kem River // Forestry information. 2021. № 4. P. 26–37. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2021.4.02.

¹ N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Senior Researcher of Laboratory of Subarctic Forest Ecosystems (Arkhangelsk, Russian Federation), aviatorov8@mail.ru

² N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Head of Laboratory of Ecology of Subarctic Forest Ecosystems (Arkhangelsk, Russian Federation), tarkse@yandex.ru

³ N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Leading Researcher of Laboratory of Subarctic Forest Ecosystems (Arkhangelsk, Russian Federation), grigorij-potapov@yandex.ru

Введение

Леса являются природными регуляторами климата и играют решающую роль в смягчении последствий его изменения. Существующие климатические модели прогнозируют повышение средней глобальной температуры воздуха и изменение режима осадков [1], что влияет на ростовые реакции деревьев [2, 3]. Для оценки скорости роста деревьев лесобразующих пород широко используют дендрохронологические методы исследований с использованием долговременных трендов радиального прироста, которые позволяют получать информацию о продуктивности насаждений и состоянии лесных экосистем [4–8]. Ежегодные изменения факторов окружающей среды вызывают колебания ширины годовичных колец у древесных видов. Пространственное распределение температуры воздуха и осадков географически сильно варьирует, поэтому необходимо учитывать региональные особенности территории [9–11]. Специфика климатических условий Карелии (влияние Атлантики и близость Белого и Баренцева морей, равнинный рельеф, близкое залегание



Рис. 1. Сосняк кустарничково-сфагновый в долине Кеми

слабоводопроницаемых почвенных горизонтов) обуславливает высокую заболоченность территории (около 35 %). До 40 % хвойных древостоев произрастают по V, Va, Vб классам бонитета [12]. Наибольшее распространение имеют сфагновая (44 %) и травяно-сфагновая (42 %) группы типов леса [13]. Работы по изучению роста и развития насаждений основных лесобразующих пород на территории Карелии проводятся многими исследователями [14–19], и получение новых данных для сравнительного анализа остается актуальным.

Цель исследований – изучить изменчивость радиального прироста деревьев сосны обыкновенной в северотаежных сосняках кустарничково-сфагновых долины реки Кеми.

Объекты и методы исследований

Исследования проведены в разновозрастных сосняках кустарничково-сфагновых с низкой сомкнутостью крон древостоя в долине реки Кеми (64°58' с.ш., 34°34' в.д.) (рис. 1).

На временных пробных площадях, заложенных стандартными методами, у 25 деревьев сосны в возрасте 120–140 лет определяли морфометрические показатели ствола и кроны. Керны древесины отбирали в двух направлениях (С–Ю, В–З) на высоте 1,3 м. Ширину годовичного слоя древесины измеряли методом световой микроскопии с точностью 0,05 мм. Проводили дендрохронологический анализ временных рядов радиального прироста деревьев сосны [20–22]. Методом 5-летнего скользящего сглаживания рассчитывали индекс прироста. Этот метод обеспечивает удаление возрастного тренда и позволяет выявить общую ответную реакцию деревьев на изменяющиеся условия среды. Для установления циклических компонент изменчивости камбиального роста деревьев рассчитывали «норму» прироста. Для оценки связей между хронологиями вычисляли коэффициент синхронности (K_c), характеризующий число однонаправленных изменений по годам между двумя хронологиями по формуле [20, 23]:

$$K_c = \frac{\sum_1^n |A+B|^+}{\sum_1^n |A| + |B|},$$

где:

A – разница в величине прироста между предыдущим и последующим годами в хронологии одного дерева;

B – разница в величине прироста между смежными годами хронологии другого дерева;

$|A+B|^+$ – сумма разностей с одним знаком;

$|A| + |B|$ – сумма абсолютных величин всех разностей.

С некоторой ошибкой усреднения через радиус годичных колец осуществляли расчет прироста площади годичного кольца [24]. В расчете радиальный прирост (P) каждого дерева представляется числовым рядом $P_1 \dots P_n$ (мм) за период от условно первого до последнего года жизни. Радиусы колец (R) вычисляли последовательным суммированием $R_1 = P_1, R_2 = R_1 + P_2 \dots R_n = R_{n-1} + P_n$. После этого поочередно определяли площадь круга соответствующего радиуса по формуле: $S = \pi R^2$. Для расчета прироста площади годичного кольца из площади большего круга вычитали площадь меньшего круга. Для выявления реакций прироста сосны на климатические показатели использовали данные по

температуре воздуха и количеству осадков метеостанции Кемь-Порт, взятые с сайта Северо-Евразийского климатического центра (до 2008 г.) и «Расписание Погоды», gr5.ru (2009–2019 гг.). Температурные данные охватывают временной промежуток с 1865 по 2019 г., данные по сумме осадков – с 1966 по 2019 г. Между сериями годичных колец и метеопараметрами определяли коэффициент корреляции. При оценке тесноты связи использовали шкалу Чеддока [25].

Результаты и обсуждение

Основные морфометрические параметры ствола и кроны деревьев сосны приведены в табл. 1. Коэффициенты вариации морфоструктурных параметров деревьев изменялись от 10 % (диаметр кроны) до 27 % (протяженность кроны), что соответствует низкому и повышенному уровням изменчивости.

Определены средние абсолютные и относительные значения радиального прироста, рассчитан соответствующий прирост площади годичного кольца у сосны (табл. 2). Индивидуальная изменчивость средней величины радиального прироста соответствует высокому

Таблица 1. Морфометрические параметры деревьев сосны

Показатель	Значение статистического показателя		
	Среднее	Максимальное	Минимальное
Высота дерева, м	7,7	9,8	4,0
Диаметр ствола на высоте 1,3 м, см	12,1	15,0	10,0
Протяженность кроны, м	6,2	8,3	2,2
Диаметр кроны, м	3,0	3,7	2,5

Таблица 2. Средние значения радиального прироста у деревьев сосны

Показатель	Значение статистического показателя		
	Среднее	Максимальное	Минимальное
Абсолютный прирост, мм	1,36±0,10	2,41	0,32
Индекс прироста, %	101±0,23	103	99
Прирост по площади годичного кольца, см ²	2,27±0,19	4,20	0,38

уровню (36 %), а средней величины прироста по площади годичного кольца – очень высокому уровню (42 %). Ранее было установлено, что средняя величина радиального прироста сосны в условиях средней тайги Архангельской обл. составляет 0,28 мм [26], что меньше, чем у сосны, произрастающей в условиях северной тайги района исследований. Это обусловлено

специфическими климатическими условиями Карелии.

По средним значениям радиального прироста и прироста площади годичного кольца установлена сходная динамика роста (рис. 2). По обобщенной хронологии величина прироста увеличивается до 120–130 лет. В молодом возрасте значения радиального прироста незначительные. В более старшем возрасте (>120–130 лет) наблюдаются максимальные значения радиального прироста и прироста по площади годичного кольца. По обобщенной кривой радиального прироста и прироста по площади годичного кольца можно выделить 3 периода по максимальным и минимальным значениям этих показателей, что может быть связано с климатическими факторами (табл. 3).

Максимальные значения приростов зафиксированы в 1975–2010 гг. Разница значений между рассматриваемыми периодами большей частью достоверна на уровне значимости $\alpha = 0,05$ ($t_{\text{факт.}} = 10,1-14,0 > t_{0,05} = 2,0$). Недостоверна лишь разница в средних радиальных приростах в 1880–1915 и 1934–1969 гг.

Коэффициенты вариации радиального прироста в разные периоды составляют 32–37 % (высокий уровень), а прироста по площади годичного кольца – 52–83 % (очень высокий уровень).

Коэффициент синхронности между дендрохронологическими рядами сосны (по абсолютным значениям) выше, чем для хронологии одного дерева (табл. 4). Среднее значение K_c составляет 67 % и между некоторыми парами хронологий достигает 94 %. Если значение коэффициента синхронности выше 50 % [20], то это указывает на строго направленные колебания в рядах радиального прироста, обусловленные

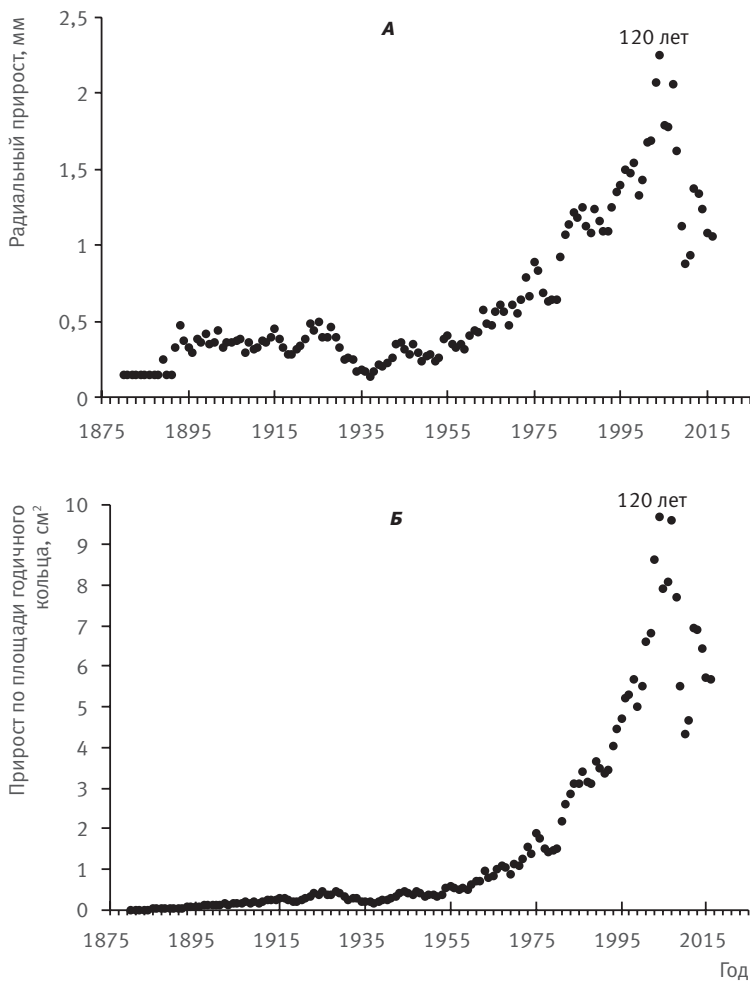


Рис. 2. Обобщенная хронология радиального прироста (А) и прироста по площади годичного кольца (Б) деревьев сосны

Таблица 3. Изменение средних значений радиального прироста и прироста по площади годичного кольца в разные периоды

Прирост	Период, годы		
	1880–1915	1934–1969	1975–2010
Радиальный, мм	0,30±0,02	0,34±0,02	1,28±0,07
По площади годичного кольца, см²	0,10±0,01	0,50±0,04	4,49±0,39

Таблица 4. Коэффициенты синхронности радиального прироста, %, между парами деревьев сосны

№ ДЕРЕВА	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	X	79	76	83	73	65	57	81	91	88	80	76	78	69	75	76	81	64	63	57	76	65	86	80	68
2		X	76	77	75	77	61	74	73	93	72	73	80	68	78	83	74	53	64	83	76	76	86	77	61
3			X	68	53	66	53	71	66	84	74	61	60	63	53	72	67	58	68	60	60	74	74	68	57
4				X	66	59	69	64	68	83	69	64	74	61	60	76	73	58	72	45	63	77	77	73	52
5					X	78	54	76	82	73	81	75	65	74	94	58	50	64	57	52	70	49	60	80	77
6						X	51	75	60	68	84	65	59	72	82	64	57	50	56	68	69	61	50	69	69
7							X	55	58	53	55	52	66	56	61	50	48	57	67	55	60	52	76	70	64
8								X	76	82	77	88	83	70	74	74	63	55	51	69	71	61	75	65	70
9									X	87	76	81	71	72	81	64	64	66	55	52	57	60	79	90	69
10										X	78	77	79	70	77	78	73	65	73	75	75	79	88	79	66
11											X	67	65	82	78	71	72	39	61	55	67	62	56	80	61
12												X	69	74	70	68	57	60	55	57	62	56	64	65	60
13													X	62	67	62	68	49	55	66	60	55	71	68	52
14														X	74	48	64	38	70	70	69	49	54	75	62
15															X	58	55	66	57	61	77	54	61	76	83
16																X	77	57	61	50	51	93	76	59	59
17																	X	54	64	62	55	72	67	55	53
18																		X	48	50	66	42	72	65	70
19																			X	56	50	72	66	66	36
20																				X	66	67	60	57	39
21																					X	59	69	65	48
22																						X	76	57	49
23																							X	73	61
24																								X	68

Примечание. Жирным шрифтом выделена асинхронность совпадений сопоставимых хронологий деревьев – $K_c \leq 50$.

действием общих (в основном климатических) факторов.

Существует мнение, что астрофизические факторы могут влиять на климатические характеристики и таким образом опосредованно воздействовать на камбиальную активность деревьев. В работах Н.В. Ловелиуса и других исследователей показано, что солнечная активность вносит значительный вклад в процесс

формирования условий произрастания деревьев [17]. Прирост деревьев изменяется циклично. При визуальном анализе графика «нормы» прироста (средняя многолетняя кривая) выявлены наиболее проявляющиеся циклы в динамике прироста (по минимальным и максимальным значениям). Установлено, что цикличность составила 11,4 и 14,6 лет (солнечный цикл) по максимумам и минимумам прироста (рис. 3). Не выявлено корреляций между рядами индексов прироста и числами Вольфа ($r = -0,08$). Диапазон астрофизических факторов разных точек земной поверхности относительно мало варьирует, поэтому при вариабельности прироста необходимо учитывать комплексное влияние факторов.

В умеренной зоне наблюдается комплексное влияние осадков и температуры на величину прироста деревьев и связь с климатом более слабая, чем в районах, где на прирост оказывает влияние один из факторов (высокие широты, аридные области) [27–29]. Анализ климатических данных в районе исследования показал явно выраженные тренды увеличения среднегодовой температуры и суммы осадков (рис. 4). Эти изменения согласуются с ранее полученными данными для территории Карелии (1940–2008 гг.) [15]. Среднегодовая температура и количество осадков за последние 20 лет (2000–2019 гг.) выше на 1,22 °С и 292 мм соответственно по сравнению с показателями предыдущего периода (1980–1999 гг.).

У деревьев в возрасте 120–140 лет наблюдаются невысокие значения коэффициента корреляции радиального прироста с метеопараметрами (среднегодовая температура воздуха и количество осадков за год) ($r = 0,14–0,28$) за весь период наблюдения. За 2000–2016 гг. установлена положительная заметная достоверная корреляция между индексами прироста и количеством осадков за год и за вегетационный период ($r = 0,48–0,58$; $\alpha < 0,05$). Реакция деревьев на количество выпавших осадков более выражена, что может быть связано с тем, что сосна в условиях постоянного избыточного увлажнения почв устойчива к избытку влаги.

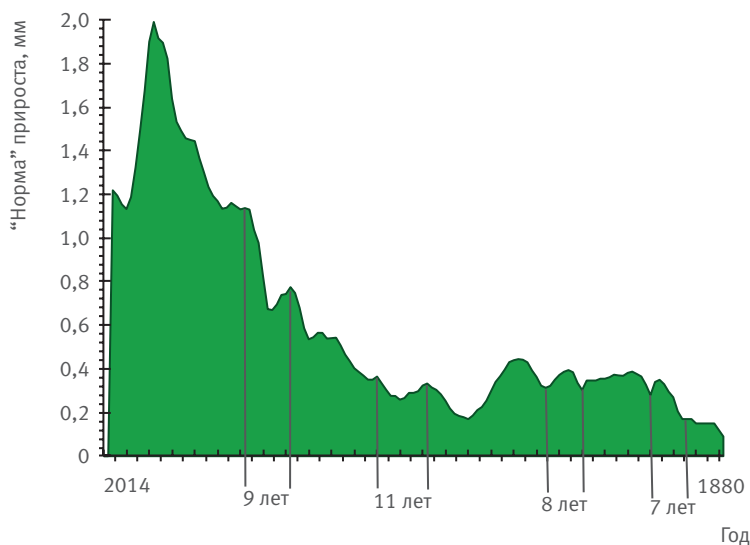


Рис. 3. Циклические колебания радиального прироста у деревьев сосны

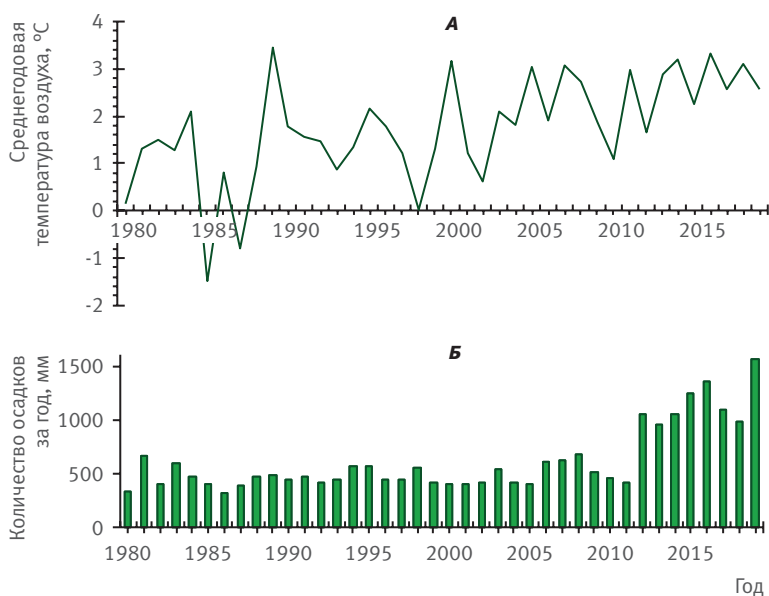


Рис. 4. Многолетняя динамика средней температуры (А) и суммы осадков (Б) в районе исследования

Непостоянство отклика радиального прироста сосны на климатические среднегодовые показатели, возможно, связано с региональными изменениями и особенностями климата. Такие же зависимости прироста и климата установлены и для Керетского архипелага Белого моря (Республика Карелия) [15].

Выводы

1. В кустарничково-сфагновом сосняке долины р. Кеми среднее значение радиального прироста сосны в возрасте 120–140 лет составляет 1,36 мм, а прирост по площади годичного кольца – 2,27 см².

2. Выявлены различия по радиальному приросту в разные временные периоды. Максимальные значения радиального прироста и прироста

по площади годичного кольца наблюдаются в более старшем возрасте деревьев.

3. Коэффициент синхронности между дендрохронологическими рядами деревьев сосны (по абсолютным значениям) выше (67 %), чем для хронологии одного дерева (36 %).

4. Цикличность колебаний радиального прироста сосны близка к солнечному циклу (в среднем 13 лет).

5. Установлены невысокие значения коэффициента корреляции радиального прироста деревьев с метеопараметрами (среднегодовая температура воздуха и количество осадков в год) за весь период наблюдения.

6. Выявлено, что повышение количества осадков в районе исследования за 2000–2016 гг. положительно влияет на величину прироста по диаметру ствола у деревьев в условиях постоянного избыточного увлажнения почв.

*Статья подготовлена при финансовой поддержке
ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, тема проекта
«Структура и изменчивость популяций лесных сообществ на
приарктических территориях Севера Русской равнины»,
№ проекта 0409-2019-0039.*

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Safeguarding reforestation efforts against changes in climate and disturbance regimes / R.H. Nolan, D.M. Drew, A.P. O'Grady, E.A. Pinkard, K. Paul, S.H. Roxburgh, P.J. Mitchell, J. Bruce, M. Battaglia, D. Ramp // *Forest Ecology and Management*. – 2018. – Vol. 424. – P. 458–467. DOI <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.05.025>.
2. Competition amplifies drought stress in forests across broad climatic and compositional gradients / K.E. Gleason, J.B. Bradford, A. Bottero, A.W. D'Amato, S. Fraver, B.J. Palik, M.A. Battaglia, L. Iverson, L. Kenefic, C.C. Kern // *Ecosphere*. – 2017. – Vol. 8. – Issue 7. DOI <https://doi.org/10.1002/ecs2.1849>.
3. Finley, K. Climate effect on ponderosa pine radial growth varies with tree density and shrub removal / K. Finley, J. Zhang // *Forests*. – 2019. – Vol. 10. – Issue 6. DOI <https://doi.org/10.3390/f10060477>.
4. Цветков, В.Ф. Методические рекомендации по оценке существующего и прогнозируемого состояния лесных насаждений в зоне влияния промышленных предприятий Мурманской области / В.Ф. Цветков. – Архангельск : АИЛиЛХ, 1990. – 20 с.
5. Лопатин, Е.В. Анализ динамики радиального прироста основных лесообразующих пород Республики Коми : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Е.В. Лопатин. – Санкт-Петербург, 2010. – С. 20.
6. Комин, Г.Е. Дендрохронологическая оценка динамики продуктивности лесов Северо-Западного Кавказа / Г.Е. Комин // *Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология*. – 2012. – Т. 5. – № 1. – С. 4–12.
7. Ярмишко, В.Т. Ход роста *Pinus sylvestris* L. на северном пределе распространения в условиях атмосферного загрязнения / В.Т. Ярмишко // *Известия Самарского научного центра РАН*. – 2012. – Т. 14. – № 1(6). – С. 1576–1580.
8. Ловелиус, Н.В. Изменения прироста годичных колец сосны и ели в восточноевропейской тайге в связи с геофизическими факторами среды / Н.В. Ловелиус, С.В. Лежнев. – Санкт-Петербург, Вологда : ВОУНБ, 2015. – 178 с.
9. Martin-Benito, D. Influence of drought on tree rings and tracheid features of *Pinus nigra* and *Pinus sylvestris* in a mesic Mediterranean forest / D. Martin-Benito, H. Beeckman, I. Canellas // *European Journal of Forest Research*. – 2013. – Vol. 132. – P. 33–45.
10. Dogon, M. Influence of climate on radial growth of black pine on the Mountain Regions of Southwestern Turkey / M. Dogon, N. Kose // *Plants*. – 2019. – Vol. 8. – Issue 8. DOI <https://doi.org/10.3390/plants8080276>.
11. Differences in the climate-growth relationship of scots pine: a case study from Poland and Hungary / D. Misi, R. Puchalka, C. Pearson, I. Robertson, M. Koprowski // *Forests*. – 2019. – Vol. 10. – Issue 3. DOI <https://doi.org/10.3390/f10030243>.
12. Ананьев, В.А. С.А. Структура и динамика лесного фонда Республики Карелия / В.А. Ананьев, С.А. Мошников // *Лесной журнал*. – 2016. – № 4. – С. 19–29.
13. Саковец, В.И. Лесоводственно-экологическая оценка гидролесомелиорации в условиях северо-запада таежной зоны России (на примере Карелии) : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / В.И. Саковец. – Санкт-Петербург, 2001. – 24 с.
14. Румянцев, Д.Е. Диагностика особенностей роста сосны и ели в Южной Карелии с использованием методов дендрохронологии : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Д.Е. Румянцев. – М., 2004. – 22 с.
15. Тишин, Д.В. Дендроклиматические исследования сосны *Pinus sylvestris* L. островов Керетского архипелага Белого моря / Д.В. Тишин // *Журнал Сибирского федерального университета. Сер.: Биология*. – 2011. – Т. 4. – № 4. – С. 378–388.
16. Кучеров, И.Б. Кустарничковые сфагново-зеленомошные и сфагновые сосняки средней и северной тайги Европейской России / И.Б. Кучеров, С.А. Кутенков // *Труды Карельского научного центра РАН*. – 2012. – № 1. – С. 16–32.

17. Ловелиус, Н.В. Аномальные приросты сосны в Карелии и факторы среды / Н.В. Ловелиус, С.Б. Пальчиков, А.Ю. Ретеюм // Общество. Среда. Развитие. – 2015. – № 3. – С. 193–197.
18. Раевский, Б.В. Селекция и семеноводство сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и сосны скрученной (*Pinus contorta* Dougl. Ex Loud. var. *latifolia* Engelm) на северо-западе таежной зоны России : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / Б.В. Раевский – Санкт-Петербург, 2015. – 43 с.
19. Кищенко, И.Т. Влияние климатических факторов на сезонное развитие хвойных лесообразующих видов в таежной зоне (Карелия) / И.Т. Кищенко // Лесной журнал. – 2020. – № 3. – С. 72–82.
20. Шиятов, С.Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале / С.Г. Шиятов. – Москва: Наука, 1986. – 137 с.
21. Fritts, H.C. Tree ring and Climate / H.C. Fritts. – Caldwell NY USA : Blackburn Press, 2001. – 567 p.
22. Магда, В.Н. Радиальный прирост древесных растений как показатель увлажнения на юге Сибири : автореф. дис. ... канд. биол. наук / В.Н. Магда. – Красноярск, 2003. – 17 с.
23. Феклистов, П.А. К методике установления сходства дендрохронологических рядов / П.А. Феклистов // Дендроклиматические исследования в СССР : тез. докл. 3-й Всесоюз. конф. – Архангельск : АЛТИ, 1978. – С.71–72.
24. Лянгузов, А.Ю. Новый метод оценки годичного прироста стволов древесных растений / А.Ю. Лянгузов, В.Т. Ярмишко, И.В. Лянгузова // Растительные ресурсы. – 2017. – Т. 53. – № 4. – С. 580–593.
25. Шорохова, И.С. Статистические методы анализа / И.С. Шорохова, Н.В. Кисляк, О.С. Мариев. – Екатеринбург : изд-во Урал. ун-та, 2015. – 300 с.
26. Пинаевская, Е.А. Оценка изменчивости роста у разных форм сосны обыкновенной в условиях постоянного избыточного увлажнения почв средней тайги / Е.А. Пинаевская, С.Н. Тарханов // Лесохозяйственная информация. – 2018. – № 4. – С. 5–11.
27. Феклистов, П.А. Дендроклиматический анализ прироста по диаметру в сосняке мохово-лишайниковом северной тайги / П.А. Феклистов // Лесоведение. – 1978. – № 2. – С. 23–28.
28. Горячев, В.М. Сезонный рост и развитие древесных растений в первобытных пихтово-еловых лесах / В.М. Горячев // Экологические особенности и восстановительная динамика темнохвойных лесов Среднего Урала. – Свердловск : УрО АН СССР, 1991. – С. 78–100.
29. Тишин, Д.В. Влияние природно-климатических факторов на радиальный прирост основных видов деревьев Среднего Поволжья : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Д.В. Тишин. – Казань, 2006. – 20 с.

References

1. Safeguarding reforestation efforts against changes in climate and disturbance regimes / R.H. Nolan, D.M. Drew, A.P. O'Grady, E.A. Pinkard, K. Paul, S.H. Roxburgh, P.J. Mitchell, J. Bruce, M. Battaglia, D. Ramp // Forest Ecology and Management. – 2018. – Vol. 424. – S. 458–467. DOI <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.05.025>.
2. Competition amplifies drought stress in forests across broad climatic and compositional gradients / K.E. Gleason, J.B. Bradford, A. Bottero, A.W. D'Amato, S. Fraver, B.J. Palik, M.A. Battaglia, L. Iverson, L. Kenefic, C.C. Kern // Ecosphere. – 2017. – Vol. 8. – Issue 7. DOI <https://doi.org/10.1002/ecs2.1849>.
3. Finley, K. Climate effect on ponderosa pine radial growth varies with tree density and shrub removal / K. Finley, J. Zhang // Forests. – 2019. – Vol. 10. – Issue 6. DOI <https://doi.org/10.3390/f10060477>
4. Tsvetkov, V.F. Metodicheskie rekomendatsii po otsenke sushchestvuyushchego i prognoziruemogo sostoyaniya lesnykh nasazhdeniy v zone vliyaniya promyshlennykh predpriyatiy Murmanskoy oblasti / V.F. Tsvetkov. – Arkhangel'sk: AILiKh, 1990. – 20 s.
5. Lopatin, E.V. Analiz dinamiki radial'nogo prirosta osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod Respubliki Komi : avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk / E.V. Lopatin. – Sankt-Peterburg, 2010. – S. 20.

6. Komin, G.E. Dendrokronologicheskaya otsenka dinamiki produktivnosti lesov Severo-Zapadnogo Kavkaza / G.E. Komin // Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Ser.: Biologiya. – 2012. – T. 5. – № 1. – S. 4–12.
7. Yarmishko, V.T. Khod rosta *Pinus sylvestris* L. na severnom predele rasprostraneniya v usloviyakh atmosfernogo zagryazneniya / V.T. Yarmishko // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN. – 2012. – T. 14. – № 1(6). – S. 1576–1580.
8. Lovelius, N.V., Lezhneva, S.V. Izmeneniya prirosta godichnykh kolets sosny i eli v vostochnoevropeyskoy tayge v svyazi s geofizicheskimi faktorami sredy / N.V. Lovelius, S.V. Lezhnev. – Sankt-Peterburg, Vologda: VOUNB, 2015. – 178 s.
9. Martin-Benito, D. Influence of drought on tree rings and tracheid features of *Pinus nigra* and *Pinus sylvestris* in a mesic Mediterranean forest / D. Martin-Benito, H. Beeckman, I. Canellas // European Journal of Forest Research. – 2013. – Vol. 132. – S. 33–45.
10. Dogon, M. Influence of climate on radial growth of black pine on the Mountain Regions of Southwestern Turkey / M. Dogon, N. Kose // Plants. – 2019. – Vol. 8. – Issue 8. DOI <https://doi.org/10.3390/plants8080276>.
11. Differences in the climate-growth relationship of scots pine: a case study from Poland and Hungary / D. Misi, R. Puchalka, C. Pearson, I. Robertson, M. Koprowski // Forests. – 2019. – Vol. 10. – Issue 3. DOI <https://doi.org/10.3390/f10030243>.
12. Anan'ev, V.A. Struktura i dinamika lesnogo fonda Respubliki Kareliya / V.A. Anan'ev, S.A. Moshnikov // Lesnoy zhurnal. – 2016. – № 4. – S. 19–29.
13. Sakovets, V.I. Lesovodstvenno-ekologicheskaya otsenka gidrolesomelioratsii v usloviyakh severo-zapada taezhnoy zony Rossi (na primere Karelii): avtoref. dis. ... d-ra s.-kh. nauk / V.I. Sakovets. – Sankt-Peterburg, 2001. – 24 s.
14. Rumyantsev, D.E. Diagnostika osobennostey rosta sosny i eli v Yuzhnoy Karelii s ispol'zovaniem metodov dendrokronologii: avtoref. dis. kand. biol. nauk / D.E. Rumyantsev. – M., 2004. – 22 s.
15. Tishin, D.V. Dendroklimaticheskie issledovaniya sosny *Pinus sylvestris* L. ostrovov Keretskogo arhipelaga Belogo morya / D.V. Tishin // Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Ser.: Biologiya. – 2011. – T. 4. – № 4. – S. 378–388.
16. Kucherov, I.B. Kustarnichkovye sfagnovo-zelenomoshnye i sfagnovye sosnyaki sredney i severnoy taygi Evropeyskoy Rossii / I.B. Kucherov, S.A. Kutenkov // Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN. – 2012. – № 1. – S. 16–32.
17. Lovelius, N.V. Anomal'nye prirosty sosny v Karelii i faktory sredy / N.V. Lovelius, S.B. Pal'chikov, A.Yu. Retezum // Obshchestvo. Sreda. Razvitie. – 2015. – № 3. – S. 193–197.
18. Raevskiy, B.V. Seleksiya i semenovodstvo sosny obyknovennoy (*Pinus sylvestris* L.) i sosny skruchennoy (*Pinus contorta* Dougl. ex Loud. var. *latifolia* Engelm) na severo-zapade taezhnoy zony Rossii : avtoref. dis. ... d-ra. s.-kh. nauk / B.V. Raevskiy – Sankt-Peterburg, 2015. – 43 s.
19. Kishchenko, I.T. Vliyanie klimaticheskikh faktorov na sezonnoe razvitie khvoynykh lesoobrazuyushchikh vidov v taezhnoy zone (Kareliya) / I.T. Kishchenko // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal. – 2020. – № 3. – S. 72–82.
20. Shiyatov, S.G. Dendrokronologiya verkhney granitsy lesa na Urale / S.G. Shiyatov. – Moskva: Nauka, 1986. – 137 s.
21. Fritts, H.C. Tree ring and Climate / H.C. Fritts. – Caldwell NY USA: Blackburn Press, 2001. – 567 s.
22. Magda, V.N. Radial'nyy prirost drevesnykh rasteniy kak pokazatel' uvlazhneniya na yuge Sibiri: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk / V.N. Magda. – Krasnoyarsk, 2003. – 17 s.
23. Feklistov, P.A. K metodike ustanovleniya skhodstva dendrokronologicheskikh ryadov / P.A. Feklistov // Dendroklimaticheskie issledovaniya v SSSR : tez. dokl. 3 Vsesoyuz. konf. – Arkhangel'sk : ALTI, 1978. – S. 71–72.
24. Lyanguzov, A.Yu. Novyy metod otsenki godichnogo prirosta stvolov drevesnykh rasteniy / A.Yu. Lyanguzov, V.T. Yarmishko, I.V. Lyanguzova // Rastitel'nye resursy. – 2017. – T. 53. – № 4. – S. 580–593.
25. Shorokhova, I.S. Statisticheskije metody analiza / I.S. Shorokhova, N.V. Kislyak, O.S. Mariev. – Ekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta, 2015. – 300 s.

26. Pinaevskaya, E.A. Otsenka izmenchivosti rosta u raznykh form sosny obyknovnoy v usloviyakh postoyannogo izbytochnogo uvlazhneniya pochv sredney taygi / E.A. Pinaevskaya, S.N. Tarkhanov // Lesokhozyaystvennaya informatsiya. – 2018. – № 4. – S. 5–11.

27. Feklistov, P.A. Dendroklimaticheskiy analiz prirosta po diametru v sosnyake mokhovo-lishaynikovom severnoy taygi / P.A. Feklistov // Lesovedenie. – 1978. – № 2. – S. 23–28.

28. Goryachev, V.M. Sezonnny rost i razvitie drevesnykh rasteniy v pervobytnykh pikhtovo-elovykh lesakh / V.M. Goryachev // Ekologicheskie osobennosti i vosstanovitel'naya dinamika temnokhvoynykh lesov Srednego Urala. – Sverdlovsk : UrO AN SSSR, 1991. – S. 78–100.

29. Tishin, D.V. Vliyaniye prirodno-klimaticheskikh faktorov na radial'nyy prirost osnovnykh vidov derev'ev Srednego Povolzh'ya: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk / D.V. Tishin. – Kazan', 2006. – 20 s.