



DOI 10.21178/2079-6080.2020.2.34
УДК 630*561.21

Влияние климатических факторов на радиальный прирост сосны обыкновенной в Ленинградской области

© И.В. Никифорчин, Л.С. Ветров, М.О. Гурьянов, А.А. Садовникова

Influence of climatic factors on the radial growth of scots pine in the Leningrad region

I.V. Nikiforchin, L.S. Vetrov, M.O. Guryanov, A.A. Sadovnikova (St. Petersburg State Forest Engineering University of S.M. Kirov)

Global changes in the Earth's climate have become almost the most important environmental problem of our time. This problem has recently become the focus of many international meetings, as it is irreversible and threatens the safe living of millions of people.

When identifying long-term growth trends of woody plants, data from permanent trial areas, taxation of plantings in the process of forest management, and dendrochronological analysis can be used. These methods have their advantages and disadvantages. There are very few permanent trial areas with long-term, regular monitoring of growth processes, both in Russia and abroad. The time interval covered by such observations is quite limited. Against this background, data on the growth of stands obtained by dendrochronological analysis looks quite advantageous.

Our research was conducted to assess the influence of climate factors (air temperature, precipitation) on the radial growth of common pine trees (*Pinus sylvestris* L.) in the conditions of the Lisinsky district forest area of the Leningrad region.

The analysis of the average annual temperature for the 136-year period showed that for the conditions of the Leningrad region there is a tendency to increase the temperature by 0.02 °C per year. An increase in the average annual temperature leads to an increase in precipitation, and this increase over the observation period was 158 mm.

Using correlation analysis methods, it was found that the average annual temperature and average annual precipitation have a greater impact on the radial growth rate than these climatic indicators for the growing season or for the month of July.

The share of the influence of the average annual temperature on the growth rate is more than 66 %.

Keywords: climate change, model tree, radial growth, dendrochronology, age trend, climatic factors

Влияние климатических факторов на радиальный прирост сосны обыкновенной в Ленинградской области

И.В. Никифорчин, Л.С. Ветров, М.О. Гурьянов, А.А. Садовникова

Глобальные изменения климата Земли стали едва ли не важнейшей экологической проблемой современности. В последнее время эта проблема оказалась в центре внимания многих международных собраний, поскольку она имеет необратимый характер и угрожает безопасному проживанию миллионов людей.

При выявлении долговременных тенденций роста древесных растений могут быть использованы данные постоянных пробных площадей, таксации насаждений в процессе лесоустройства, дендрохронологический анализ. Эти методы имеют свои достоинства и недостатки. Постоянных пробных площадей с длительным регулярным наблюдением за процессами роста очень мало, как в России, так и за рубежом. Интервал времени, который охватывают такие наблюдения, достаточно ограничен. На этом фоне достаточно выигрышно выглядят данные о росте древостоев, получаемых при дендрохронологическом анализе.

Наши исследования проведены с целью оценки влияния климатических факторов (температуры воздуха, количества осадков) на радиальный прирост деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях Лисинского участкового лесничества Ленинградской области.

Анализ среднегодовой температуры за 136-летний период показал, что для условий Ленинградской области имеется тенденция увеличения этого показателя на 0,02 °С в год. Это приводит к повышению количества осадков, и данный рост за период наблюдений составил 158 мм.

Методами корреляционного анализа установлено, что среднегодовые температура и количество осадков оказывают большее влияние на величину радиального прироста, чем эти климатические показатели за вегетационный период или за июль месяц.

Доля влияния этих климатических факторов на величину прироста составляет более 66 %.

Ключевые слова: изменения климата, модельное дерево, радиальный прирост, дендрохронология, возрастной тренд, климатические факторы

Никифорчин Иван Васильевич – доцент кафедры лесной таксации, лесоустройства и ГИС, канд. с.-х. наук

Ветров Леонид Степанович – доцент кафедры лесной таксации, лесоустройства и ГИС, канд. с.-х. наук

E-mail: leotax@mail.ru

Гурьянов Михаил Олегович – доцент кафедры лесной таксации, лесоустройства и ГИС, канд. с.-х. наук

Садовникова Анастасия Александровна – магистрантка кафедры лесной таксации, лесоустройства и ГИС

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова» 194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., д. 5

Телефон: 8 (812) 670-92-46

E-mail: public@spbftu.ru

Введение

Перемены климата стали общепризнанным фактом, они отмечаются во всех природных зонах и фиксируются практически по всем компонентам экосистем. Многочисленные исследования указывают на изменения режима атмосферных осадков в различных регионах мира в связи с варьированием температуры приземного воздуха [5]. Глобальное повышение температуры может привести к уменьшению снегового запаса, речного стока, почвенной влаги, увеличению засухливости и другим негативным последствиям.

Древесная растительность является достоверным индикатором преобразования природной среды и климата. В связи с этим в дендрэкологических исследованиях широко используется метод древесно-кольцевого анализа, который позволяет оценивать реакцию радиального прироста деревьев на изменения основных климатических факторов – температуры воздуха и осадков. Большинство исследователей основное внимание уделяют эффекту воздействия температуры воздуха [3, 7, 8, 13, 21].

Существует большой перечень научных публикаций, посвященных анализу влияния климатических факторов на радиальный прирост сосны обыкновенной. Установлено, что в Карелии величина годовичного радиального прироста зависит от температуры воздуха в начальный и конечный периоды вегетации [11]. Для Эстонии установлена корреляция с температурой воздуха в зимний и летний периоды, с осадками – весной и осенью [21]. В более южных широтах наблюдается положительное влияние осадков и отрицательное – температуры воздуха [15]. В условиях средней полосы описано отрицательное воздействие зимних и летних температур в сравнении с положительным воздействием осадков [17].

При анализе зависимости радиального прироста от климатических условий необходимо учитывать возрастную категорию насаждений, так как молодые и старовозрастные

деревья различаются по характеру реакции на внешние факторы [4].

В результате исследований, проведенных А.И. Тарасовым [16], было установлено, что величина годовичного прироста у деревьев, относящихся к разным фитоценоотическим группам, сильно варьирует. Г.Е. Коминым [12] выявлена неоднородность реакции древесных организмов на климатические факторы в пределах насаждения.

Существенное значение для формирования радиальных приростов в отдельных случаях имеют годовые (суммарные и средние) величины осадков [6, 17]. Ряд исследователей отмечают положительное влияние осадков на радиальный прирост сосны в период вегетации [10, 14, 20].

Обобщив данные, приведенные в литературных источниках, можно заключить, что реакция сосны обыкновенной на воздействие климатических факторов разнородна.

Настоящее исследование выполнено с целью изучения влияния климатических факторов (температуры воздуха, осадков) на радиальный прирост деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) для условий Лисинской части Учебно-опытного лесничества в Ленинградской области.

Методика и объекты и исследований

На постоянных пробных площадях в Лисинском учебно-опытном лесничестве у модельных деревьев (их возраст варьировал от 32 до 164 лет) с помощью бурава Пресслера отбирались керны (по две штуки на каждом участке). Для получения величин радиальных приростов керны закреплялись с помощью кромочной ленты и зашлифовывались для лучшего распознавания годовичных колец. Подготовленные образцы сканировали с разрешением 600 точек на дюйм.

Обработка отсканированных кернов проводилась с помощью программы Windendro, которая автоматически распознает годовичные кольца по тону. После этой операции необходимо проверить правильность расстановки и

при необходимости выполнить корректировку. Ширина годичных колец измерялась с точностью до 0,01 мм, полученные результаты после внесения изменений заносились в виде дендрохронологических рядов в компьютерную базу данных для последующего удаления возрастного тренда с помощью метода Фостера-Стьюарта [19].

Для определения общего влияния климата на вариабельность ширины годичного прироста за весь период построенных хронологических рядов рассчитывался коэффициент детерминации (R^2), который показывает долю дисперсии радиального прироста, объясненную климатическими факторами. Этот подход был использован А.С. Алексеевым при анализе радиального прироста в условиях атмосферного загрязнения [1].

Установление связи между радиальным приростом и климатическими факторами (осадками, температурой) за вегетационный период и за июль месяц было проведено методами статистического анализа. Корреляционный анализ был проведен в программе Excel, а регрессионный анализ в программе Statgraphycs Plus 5.0.

Деревья сосны одного естественного ряда роста и развития отбирались на основании общего типа леса и класса бонитета для наса-

ждений, в которых они произрастали. Далее, принадлежность к одному естественному ряду проверялась способом прямых линий по методике проф. Н.В. Третьякова [18].

У деревьев, являющихся звеньями одного естественного ряда, произведения средней высоты преобладающей породы на возраст и среднего диаметра на возраст, отложенные на графике, должны были располагаться на одной прямой линии. Деревья, показатели которых давали отклонения от прямых по высоте не более $\pm 10\%$, а по диаметру не выходили за пределы $\pm 15\%$, относились к одному естественному ряду. При большем различии они исключались из дальнейшей обработки или присоединялись к другому близкому по динамике типу лесорастительных условий.

В ходе исследования в 2016 году в сосновых насаждениях лесного фонда Лисинского участкового лесничества было обследовано 16 постоянных пробных площадей. Они охватывают все разнообразие сосновых насаждений по типам леса, классам бонитета, классам возраста и полнотам.

Всего в процессе исследования было детально обмерено и морфологически описано 32 дерева сосны. Распределение модельных деревьев по типам лесорастительных условий и классам возраста представлено в таблице 1.

Таблица 1

Распределение модельных деревьев сосны по классам возраста и типам лесорастительных условий (ТЛУ)

ТЛУ	Классы возраста, лет								Итого		
	21–40	41–60	61–80	81–100	101–120	121–140	141–160	161–180	шт.	%	
Кисличники	-	2	1	-	-	1	1	-	5	15,6	
Черничники	-	5	12	4	-	-	-	1	22	68,8	
Долгомошники	2	-	1	-	-	-	2	-	5	15,6	
Всего	шт.	2	7	14	4	0	1	3	1	32	-
	%	6,3	21,9	43,7	12,5	0	3,1	9,4	3,1	-	100,0

Из приведенных данных следует, что модельные деревья были взяты преимущественно в черничниках (68,8%). Это объясняется тем, что данный тип лесорастительных условий явля-

ется преобладающим в лесном фонде Лисинского участкового лесничества. На долю двух других типов лесорастительных условий (кисличники и долгомошники) приходится по 5 экземпляров.

Деревья, взятые в качестве образцов, охватывают все разнообразие классов возраста сосновых древостоев, за исключением насаждений моложе 20 и от 101 до 120 лет. Большая часть деревьев (43,7 %) имеет возраст 61–80 лет, несколько меньшая доля (21,9 %) – 41–60 лет. Для остальных классов возраста количество моделей было незначительным.

Результаты исследований

Нами проанализирована динамика среднегодовых температур в период с 1881 по 2016 год для Санкт-Петербурга и Ленинград-

ской области. Для наглядности показатели были сгруппированы по 20-летиям. С 1881 года температура приземного воздуха возросла на 2,3 °С (рис. 1), увеличиваясь ежегодно в среднем на 0,02 градуса. Однако во времени этот процесс протекал неравномерно. Можно выделить три периода аномальных изменений температуры: потепление 1901–1940 годов, небольшое относительное похолодание 1941–1960 годов и наиболее интенсивное потепление, начавшееся в 80-х годах прошлого века, которое продолжается по настоящее время.

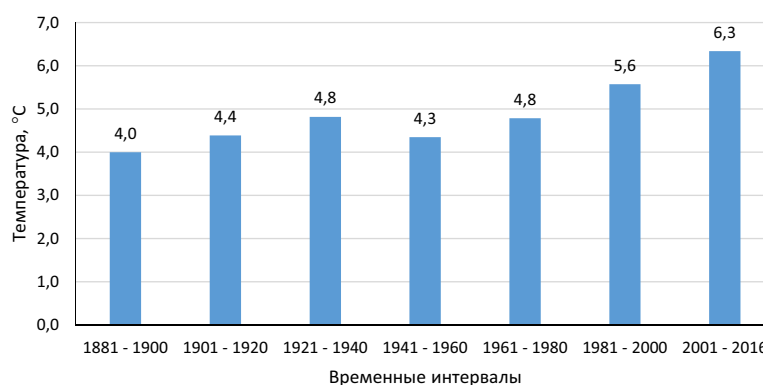


Рис. 1. Изменение среднегодовой температуры за период с 1881 по 2016 год

Вследствие повышения температуры происходит интенсивное испарение поверхностной влаги, что вызывает увеличение количества выпадающих осадков. Как показали

наши исследования, значения этого показателя увеличились с 523 мм в начале рассматриваемого периода до 681 мм – к его окончанию (рис. 2).

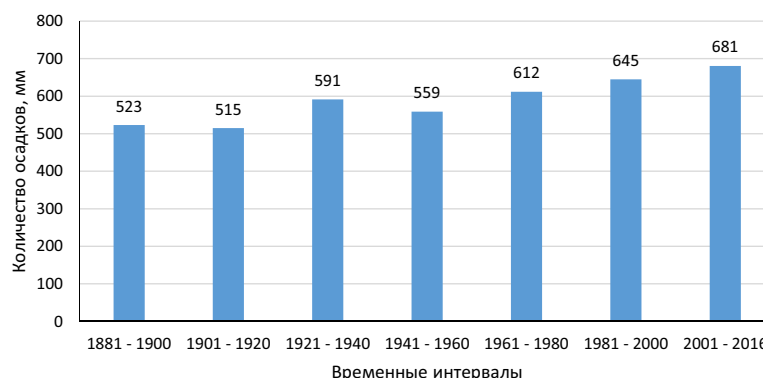


Рис. 2. Изменение количества осадков за период с 1881 по 2016 год

На основании анализа данных по климатическим факторам за исследуемый период можно сделать вывод о том, что имеется тенденция к потеплению климата и увеличению количества осадков.

При использовании дендрохронологического метода для изучения хода роста отдель-

ных деревьев и древостоев важным является проблема удаления из дендрохронологического ряда возрастного тренда, чтобы анализ влияния климатических факторов на прирост проводился без учета естественного роста. Графическое отображение полученных расчетов, на примере дерева № 3, приведено на рисунке 3.

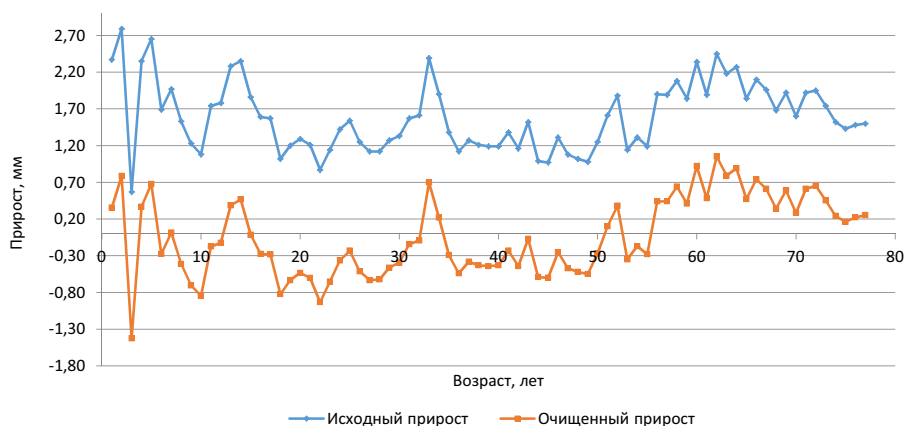


Рис. 3. Исходный и очищенный радиальный приросты для дерева № 3 к 77-летнему возрасту

Анализируя приведенные данные, не трудно заметить, что с увеличением возраста радиальный прирост – как исходный (неочищенный), так и очищенный – уменьшаются.

На радиальный прирост у сосны суще-

ственное влияние оказывают лесорастительные условия, в которых произрастают отдельные деревья и древостои. Чем условия лучше, тем ощутимее их влияние, особенно в первое 20-летие (рис. 4).

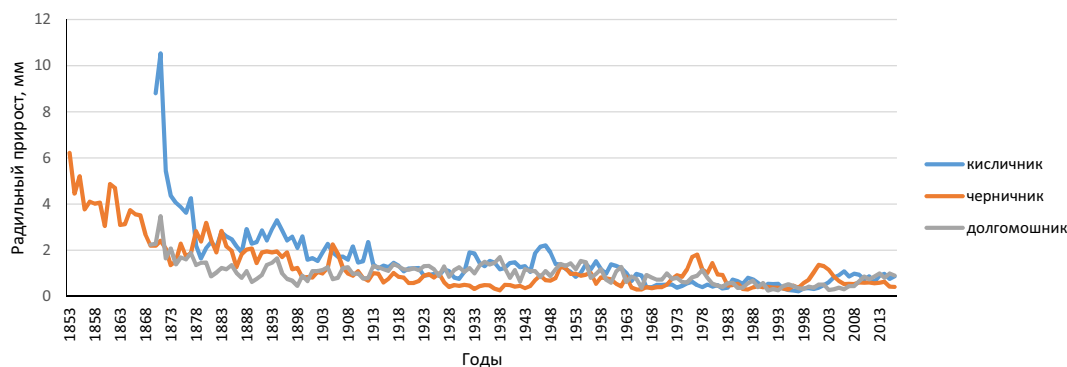


Рис. 4. Динамика радиального прироста деревьев сосны, произрастающих в различных лесорастительных условиях (возраст деревьев более 100 лет)

При этом следует отметить, что четкой зависимости величины радиального прироста от типа лесорастительных условий не наблюдается. В отдельные возрастные периоды величина радиального прироста в долгомошниках превышает этот показатель в черничниках. Причиной такого явления могут служить другие факторы, оказывающие свое влияние на радиальный прирост деревьев и в первую очередь — история их роста, определяемая, прежде всего, конкуренцией с соседями (расстояние до близлежащих деревьев, их параметры и т. д.).

Корреляционный анализ проводился в отдельности по каждому образцу. Устанавли-

валась зависимость радиального прироста — исходного и очищенного от возрастного тренда — от основных климатических факторов: температуры ($t_{\text{год}}$ — среднегодовой, $t_{\text{вег}}$ — средней за вегетационный сезон, $t_{\text{июль}}$ — средней за июль месяц) и осадков ($Oc_{\text{год}}$ — за год, $Oc_{\text{вег}}$ — вегетационный период, $Oc_{\text{июль}}$ — июль месяц).

На рисунках приведены средние значения коэффициентов корреляции с перечисленными выше факторами величин радиального прироста модельных деревьев сосны: исходного, не очищенного от возрастного тренда, (рис. 5) и очищенного (рис. 6).

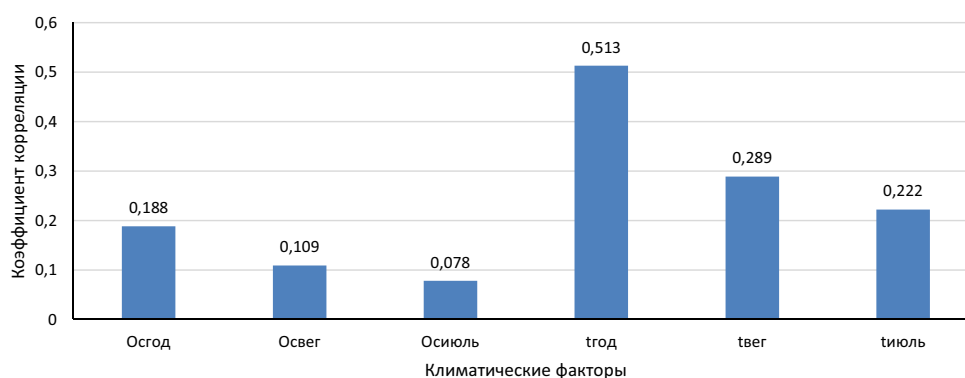


Рис. 5. Средние значения коэффициентов корреляции неочищенного радиального прироста (по модулю) с климатическими факторами

Из полученных результатов видно, что наибольшее влияние из исследуемых нами климатических факторов на неочищенный радиальный прирост оказывает средняя температура воздуха. Среди разновидностей температуры особенно значимой является средняя температура за год — средний коэффициент корреляции с радиальным приростом 0,513 (по модулю). Несколько ниже коэффициент корреляции у температуры в среднем за вегетационный период — 0,289 и самый небольшой — у средней температуры за июль месяц — 0,222. Осадки оказывают меньшее влияние, чем температура.

Кoeffициенты корреляции количества осадков по разным срокам исчисления (за год, вегетационный период, июль месяц) с радиальным приростом составили: 0,188; 0,109 и 0,078 (по модулю). То есть, чем короче исследуемый период, тем меньше влияние изучаемых климатических факторов на объект исследования. Такое соотношение характерно как для средней температуры воздуха, так и для количества осадков.

Похожая ситуация и для очищенного от возрастного тренда радиального прироста, с той лишь разницей, что влияние климатических факторов в этом случае менее выражено.

Как видно из рисунка 6, из исследуемых нами климатических факторов наибольшее влияние оказывает средняя температура за год – средний коэффициент корреляции – 0,188 (по мо-

дулю). Несколько меньшая зависимость наблюдается от температуры в среднем за вегетационный период – 0,13 и самая низкая – от средней температуры за июль месяц – 0,113.

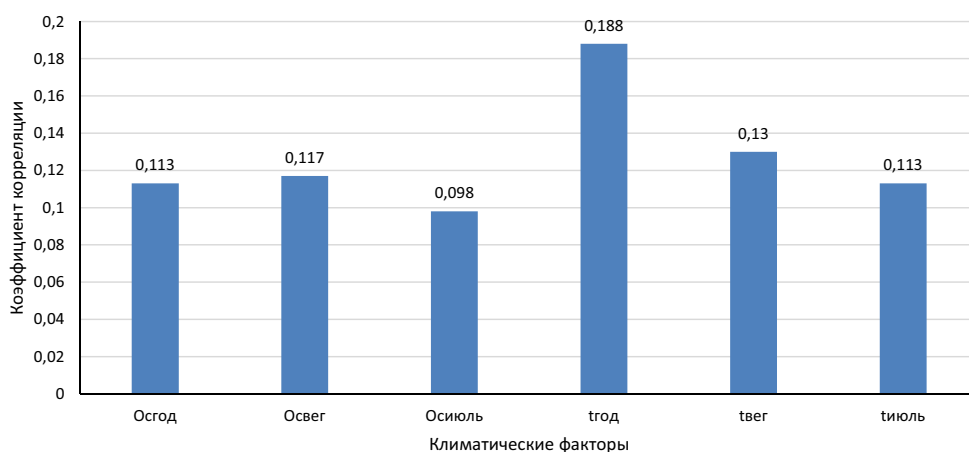


Рис. 6. Средние значения коэффициентов корреляции очищенного от возрастного тренда радиального прироста (по модулю) с климатическими факторами

Осадки за самый теплый месяц, за вегетационный период и в целом за год оказывает меньшее влияние на увеличение диаметра деревьев сосны, чем температура (рис. 6). Если рассмотреть взаимосвязь этого показателя по разным срокам исчисления (за год, вегетационный период, июль месяц) с радиальным приростом, то соответствующие коэффициенты корреляции составят: 0,113; 0,117 и 0,098 (по модулю).

В результате проведенного анализа установлено, что более информативными являются данные, полученные при анализе исходного прироста. Чем короче исследуемый период, тем слабее влияние изучаемых климатических факторов на радиальный прирост. Наибольшее воздействие оказывают среднегодовая температура и количество осадков за год. Корреляционный анализ не выявил значимой связи между радиальным приростом и суммарными значениями температуры и осадков за вегетационный период и за июль.

Для всех 32 модельных деревьев выполнялся регрессионный анализ. Климатические фак-

торы, включаемые во множественную регрессию, выбирались по результатам корреляционного анализа – по более высокой степени зависимости между фактором и радиальным приростом. Среди разновидностей температуры наиболее значимой является средняя температура за год – средний коэффициент корреляции с радиальным приростом составляет 0,513 (по модулю). Также большое влияние оказывает суммарное количество осадков за год – средний коэффициент корреляции 0,188. Для регрессионного анализа использовался исходный прирост, так как он является наиболее показательным.

Ниже приведены результаты множественного регрессионного анализа на примере дерева № 3. Полученная регрессионная модель в данном случае имеет вид:

$$Z = 1,8481 - 0,000795Oс + 0,04499t,$$

где Z – прирост, мм;

$Oс$ – среднегодовое количество осадков, мм;

t – среднегодовая температура, °С.

Из результатов дисперсионного анализа влияния осадков и температуры на радиальный прирост (табл. 2) суммы квадратов источников варьирования позволяют оценить вклад каждой независимой переменной в общую сумму квадратов отклонений.

Таблица 2

Дисперсионный анализ данных о влиянии осадков и температуры на радиальный прирост деревьев

Источник варьирования	Сумма квадратов, SS	Число степеней свободы, df	Средний квадрат mss	F -фактическое	Уровень значимости	Вклад, %
Среднегодовое количество осадков	0,305	1	0,305	1,41	0,238	57
Среднегодовая температура	0,230	1	0,230	1,07	0,305	43
Общий	0,535	2	-			100

Таким образом, можно заключить, что наибольший вклад (57 %) в описание изменений прироста дерева № 3 с помощью рассматриваемой модели вносит суммарное количество осадков за год. Доля влияния среднегодовой температуры составляет 43 %.

Сводные результаты двухфакторного дисперсионного анализа по всем модельным деревьям объекта исследования приведены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа

Сумма квадратов	Абсолютная величина	%
$SS_{\text{Общ}}$	3200	100
$SS_{\text{Ос}}$	1093	34
SS_t	2107	66

На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что в описание изменений радиального прироста модельных деревьев 66 % вносит среднегодовая температура, и 34 % – количество осадков за год.

Выводы

1. Проведенный анализ изменения основных климатических факторов (температура воздуха, количество осадков) за период с 1880 по 2016 год подтвердил тенденцию потепления климата и увеличения количества осадков. На территории Ленинградской области ежегодно происходит повышение температуры на 0,02 °С. За 136 лет температура возросла на 2,3 °С, а количество осадков – на 158 мм.

2. Роль естественного роста и развития на радиальный прирост в основном проявляется в раннем возрасте дерева.

3. На радиальный прирост значительное воздействие оказывают также лесорастительные условия, но четкой зависимости не наблюдается. Причиной этого может быть воздействие других факторов, прежде всего – конкуренции с соседними деревьями.

4. На основании результатов корреляционного анализа можно говорить о том, что радиальный прирост находится в зависимости от среднегодовых показателей температуры воздуха и количества осадков. Воздействие тех же факторов, но за более короткий период (вегетационный сезон или июль месяц) существенной роли не имеют.

5. Из всех климатических факторов, от которых зависит величина радиального прироста деревьев сосны, главное значение имеет среднегодовая температура воздуха. На ее долю приходится 66 % влияния. Среднегодовое количество выпавших осадков обуславливает 34 % воздействия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеев, А.С. Радиальный прирост деревьев и древостоев в условиях атмосферного загрязнения / А.С. Алексеев // Лесоведение. – 1993. – № 4. – С. 66–69.
2. Битвинскас, Т.Т. Дендроклиматические исследования: монография / Т.Т. Битвинскас. – Л.: Гидрометеоздат, 1974. – 172 с.
3. Брукштус, В.И. О периодической ритмичности структуры сезонного радиального прироста сосняков / В.И. Брукштус, В.П. Бальнюнас; Литовская сельскохозяйственная академия АН ЛитССР. Научная конференция (1986, июнь 5–6; Каунас, Литва) // Мониторинг лесных экосистем. – Каунас, 1986. – С. 55.
4. Брукштус, В.И. Изменчивость некоторых особенностей радиального прироста сосняков Литовской ССР / В.И. Брукштус // Временные и пространственные изменения климата и годовые кольца деревьев. Каунас. – 1987. – Ч. 3. – С. 99–113.
5. Будыко, М.И. Климат в прошлом и будущем / М.И. Будыко. – Л.: Гидрометеоздат, 1980. – 351 с.
6. Бузыкин, А.И. Радиальный прирост хвойных древостоев среднего Приангарья и климат / А.И. Бузыкин, И.С. Дашковская // Временные и пространственные изменения климата и годовые кольца деревьев. – Каунас. – 1987. – Ч. 3. – С. 87–89.
7. Ваганов, Е.А. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике / Е.А. Ваганов, С.Г. Шиятов, В.С. Мазепа. – Новосибирск: Наука, 1996. – 245 с.
8. Ваганов, Е.А. Дендроклиматические и дендрэкологические исследования в Северной Евразии / Е.А. Ваганов, С.Г. Шиятов // Лесоведение. – 2005. – № 4. – С. 18–27.
9. Ефимова, Н.А. Радиационные факторы продуктивности растительного покрова / Н.А. Ефимова; ред. М.И. Будыко; Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова. – Л.: Гидрометеоздат, 1977. – 216 с.
10. Забуга, В.Ф. Зависимость радиального прироста сосны обыкновенной от факторов внешней среды в лесостепи Предбайкалья / В.Ф. Забуга, Г.А. Забуга // Лесоведение. – 2003. – № 5. – С. 73–74.
11. Кищенко, И.Т. Сезонный рост ствола сосны в южной и северной Карелии / И.Т. Кищенко, И.В. Грудинин // Лесоведение. – 1985. – № 3. – С. 20–25.
12. Комин, Г.Е. Динамика прироста деревьев и древостоев и солнечная активность / Г.Е. Комин // Материалы Всесоюзной научной конф. по вопросам дендрохронологии и дендроклиматологии. – Вильнюс. – 1968. – С. 130–131.
13. Оленин, С.М. Климатически обусловленная динамика радиального прироста сосны в ленточных борах Казахстана и ее прогноз / С.М. Оленин, В.С. Мазепа // Временные и пространственные изменения климата и годовые кольца деревьев. Каунас. – 1987. – Ч. 2. – С. 53–61.
14. Пугачев, П.Г. Динамика годового прироста сосны обыкновенной в Тургайской впадине в связи с климатическими факторами / П.Г. Пугачев // Ботан. журн. – 1975. – Т. 60. – № 3. – С. 401–412.
15. Рогальский, А.И. Влияние экологических условий на прирост сосны по диаметру в Инском бору (Минусинская котловина) / А.И. Рогальский, В.П. Черкашин // Временные и пространственные изменения климата и годовые кольца деревьев. Каунас. – 1987. – Ч. 3. – С. 13–21.

16. Тарасов, А.И. Об изменчивости годичного прироста ели по толщине в связи со степенью угнетения деревьев и колебаниями погодных условий / А.И. Тарасов // Лесоведение. – 1968. – № 2. – С. 24–32.
17. Тимофеев, А.В. Влияние факторов среды на радиальный прирост сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в пригородных лесах Тольятти / А.В. Тимофеев, А.Е. Халеев // Бюллетень Самарская Лука. – 1995. – № 6. – С. 189–192.
18. Третьяков, Н.В. Закон единства в строении насаждений: допущено Гос. Уч. советом в качестве пособия для с.-х. и лесных вузов / Н.В. Третьяков; Ленинградский Лесной Институт. – М.; Л.: Новая деревня, 1927. – 114 с.
19. Четыркин, Е.М. Статистические методы прогнозирования. Изд. 2-е, переработанное и дополненное / Е.М. Четыркин. – М.: Статистика, 1977. – 200 с.
20. Шпалтэ, Э.П. Влияние метеорологических факторов на радиальный прирост сосны в Латвийской ССР / Э.П. Шпалтэ // Лесоведение. – 1978. – № 3. – С. 11–18.
21. Priit, K. Climate – radial increment relationships in Estonian conifer stands / K. Priit // Изв. АН Эстонии. – 1992. – Vol. 2, № 1. – P. 22–27.

REFERENCES

1. Alekseev A.S. Radial'nyj prirost derev'ev i drevostoev v usloviyah atmosfernogo zagryazneniya. *Lesovedenie*, 1993, no. 4, pp. 66–69. (In Russian)
2. Bitvinskas T.T. Dendroklimaticheskie issledovaniya. Leningrad, 1974, 172 p. (In Russian)
3. Brukshtus V.I., Bal'chyunas V.P. O periodicheskoj ritmichnosti struktury sezonnogo radial'nogo prirosta sosnyakov. Litovskaya sel'skohozyajstvennaya akademiya AN LitSSR. *Nauchnaya konferenciya (1986, Iyun' 5–6; Kaunas, Litva). Monitoring lesnyh ekosistem*. Kaunas, 1986, p. 55. (In Russian)
4. Brukshtus V.I. Izmenchivost' nekotoryh osobennostej radial'nogo prirosta sosnyakov Litovskoj SSR. *Vremennye i prostranstvennye izmeneniya klimata i godichnye kol'ca derev'ev*. Kaunas, 1987, vol. 3, pp. 99–113. (In Russian)
5. Budyko M.I. Klimat v proshlom i budushchem. Leningrad, 1980, 351 p. (In Russian)
6. Buzykin A.I., Dashkovskaya I.S. Radial'nyj prirost hvojnnyh drevostoev srednego Priangar'ya i klimat. *Vremennye i prostranstvennye izmeneniya klimata i godichnye kol'ca derev'ev*. Kaunas, 1987, vol. 3, pp. 87–89. (In Russian)
7. Vaganov E.A., Shiyatov S.G., Mazepa V.S. Dendroklimaticheskie issledovaniya v Uralo-Sibirskoj Subarktike. Novosibirsk, 1996, 245 p. (In Russian)
8. Vaganov E.A., Shiyatov S.G. Dendroklimaticheskie i dendroekologicheskie issledovaniya v Severnoj Evrazii. *Lesovedenie*, 2005, no. 4, pp. 18–27. (In Russian)
9. Efimova, N.A. Radiacionnye faktory produktivnosti rastitel'nogo pokrova. Leningrad, 1977, 216 p. (In Russian)
10. Zabuga V.F., Zabuga G.A. Zavisimost' radial'nogo prirosta sosny obyknovennoj ot faktorov vneshnej sredy v lesostepi Predbajkal'ya. *Lesovedenie*, 2003, no. 5, pp. 73–74. (In Russian)
11. Kishchenko I.T., Grudinin I.V. Sezonnyj rost stvola sosny v yuzhnoj i severnoj Karelii. *Lesovedenie*, 1985, no. 3. pp. 20–25. (In Russian)
12. Komin G.E. Dinamika prirosta derev'ev i drevostoev i solnechnaya aktivnost'. *Materialy Vsesoyuz. nauchn. konf. po voprosam dendrohronologii i dendroklimatologii*. Vil'nyus, 1968, pp. 130–131. (In Russian)

13. Olenin S.M., Mazepa V.S. Klimaticheski obuslovlennaya dinamika radial'nogo prirosta sosny v lentochnyh borah Kazahstana i ee prognoz. Vremennye i prostranstvennye izmeneniya klimata i godichnye kol'ca derev'ev. Kaunas, 1987, vol. 2. pp. 53–61. (In Russian)
14. Pugachev P.G. Dinamika godichnogo prirosta sosny obyknovenoj v Turgajskoj vpadine v svyazi s klimaticheskimi faktorami. *Botanicheskij zhurnal*. 1975, vol. 60, no. 3, pp. 401–412. (In Russian)
15. Rogal'skij A.I., Cherkashin V.P. Vliyanie ekologicheskikh uslovij na prirost sosny po diametru v Inskom boru (Minusinskaya kotlovina). *Vremennye i prostranstvennye izmeneniya klimata i godichnye kol'ca derev'ev*. Kaunas, 1987, vol. 3, pp. 13–21. (In Russian).
16. Tarasov A.I. Ob izmenchivosti godichnogo prirosta eli po tolshchine v svyazi so stepen'yu ugneteniya derev'ev i kolebaniyami pogodnyh uslovij. *Lesovedenie*. 1968, no. 2, pp. 24–32. (In Russian)
17. Timofeev A.V., Haleev A.E. Vliyanie faktorov sredy na radial'nyj prirost sosny obyknovenoj (*Pinus sylvestris* L.) v prigorodnyh lesah Tol'yatti. Samarskaya Luka. 1995, no. 6, pp. 189–192. (In Russian)
18. Tret'yakov N.V. Zakon edinstva v stroenii nasazhdenij. Moskva, Leningrad. 1927, 114 p. (In Russian)
19. Chetyrkin E.M. Statisticheskie metody prognozirovaniya. Izdanie 2-e, pererabotannoe i dopolnennoe. Moskva, 1977, 200 p. (In Russian)
20. Shpalte E.P. Vliyanie meteorologicheskikh faktorov na radial'nyj prirost sosny v Latvijskoj SSR. *Lesovedenie*. 1978, no. 3, pp. 11–18. (In Russian)
21. Priit K. Climate – radial increment relationships in Estonian conifer stands. *Izv. AN Estonii*. 1992, vol. 2, no. 1, pp. 22–27.

Статья поступила в редакцию 26.02.2020