

Научная статья

УДК 551.58+57.044 DOI:

10.37482/0536-1036-2023-4-105-119

Воздействие климатических факторов на приросты сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на побережье Кандалакшского залива Белого моря

А.Е. Кухта^{1*}, канд. биол. науки; ID исследователя: [A-9570-2016](https://orcid.org/0000-0002-3710-3578), _____

ОРЦИД: <https://orcid.org/0000-0002-3710-3578>

О.В. Максимова^{1,2}, канд. техн. науки; Идентификатор исследователя: [AAB-8632-2020](https://orcid.org/0000-0002-0569-8650), _____

ОРЦИД: <https://orcid.org/0000-0002-0569-8650>

В.В. Кузнецова³, канд. геогр. науки; Идентификатор исследователя: [AAG-7392-2021](https://orcid.org/0000-0003-3155-7330), _____

ОРЦИД: <https://orcid.org/0000-0003-3155-7330>

¹Институт глобального климата и экологии им. академика Ю.А. Израэля, ул. Глебовская, д. 20 б, Москва, Россия, 107258; anna_koukhta@mail.ru*

²Университет МИСИС, просп. Ленинский, д. 4, Москва, Россия, 119049; o-maximova@yandex.ru

³Институт географии РАН, Старомонетный пер., д. 2 29, Москва, Россия, 119017; kuznetsova@igras.ru

Поступила в редакцию 11.04.21 / Одобрена после рецензирования 22.07.21 / Принята к печати 01.08.21

Аннотация. Цель работы – данный сравнительный анализ изменчивости линейных и радиальных приростов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) побережье Кандалакшского залива Белого моря в зависимости от условий произрастания, а также реакции этого вида на воздействие температуры и климатических условий и течения веге-тационных сезонов. Использованы стандартные методы измерений и анализа данных. Показателем отклика древних на воздействие факторов окружающей среды обитания служил динамик приростов по высоте и по диаметру. Проведена статистическая оценка изменчивости приростов в зависимости от типа места обитания, а также оценка связи биометрических показателей древостоев с минимальными показателями и уровнями температурами. Для рядов индексов линейных приростов выявлены значимые различия между различными биотопами; радиальных – не выявлены. Таким образом, по рядам радиальных приростов возможно вести наблюдение за типичным поведением изменчивости деревьев вне зависимости от типа биотопа. Это дает основание к осуществлению долгосрочного ретроспективного анализа древостоев и среды с использованием древесно-кольцевых хронологий без учета условий произрастания. Подтверждена роль влияния как лимитирующего фактора для радиальных и линейных приростов в ходе фенофазы роста междоузлий и развития ранней древесины. Лимитирующая роль температуры обнаружена для радиальных приростов лишь на этапах формирования поздней древесины и накопления ресурсов для роста в следующем вегетационном сезоне. Выявлена высокая чувствительность к воздействию климатических факторов линейных приростов, что обуславливает их большую информативность в критериях оценки состояния лесных экосистем в течение длительного (до 30 лет) периодов. Однако это, в свою очередь, диктует невозможность формирования многолетних рядов, как для радиальных приростов, что является существенным ограничением при



Используйте данный метод. Сделано заключение о том, что выбор методов анализа по линейным или по радиальным приростам определяется представителями Стандартного исследования – лесных экосистем в современных условиях изменения климата или долгосрочного палеоклиматического анализа. Ключевые слова: сосна обыкновенная, линейный прирост, радиальный прирост, биотоп, максимальная волна, температура, Кандалакшский залив, Республика Карелия.

Для цитирования: Кухта А.Е., Максимова О.В., Кузнецова В.В. Воздействие климатических факторов на приросты сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на побережье Кандалакшского залива Белого моря // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 4. С. 105–119. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-4-105-119>

Оригинальная статья

Влияние климатических факторов на произрастание сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на побережье Кандалакшского залива Белого моря

Анна Евгеньевна Кухта^{1*}, кандидат биологических наук; ResearcherID: [A-9570-2016](https://orcid.org/0000-0002-3710-3578),
ОРЦИД: <https://orcid.org/0000-0002-3710-3578>

Максимова Ольга Владимировна^{1,2}, кандидат технических наук; Идентификатор исследователя: [AAB-8632-2020](https://orcid.org/0000-0002-0569-8650),
ОРЦИД: <https://orcid.org/0000-0002-0569-8650>

Вероника В. Кузнецова³, Кандидат географических наук; ResearcherID: [AAG-7392-2021](https://orcid.org/0000-0003-3155-7330),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3155-7330> 1 Институт

глобального климата и экологии им. Ю.А. Израэля, ул. Глебовская, 206, Москва, 107058, Российская Федерация; anna_koukhta@mail.ru*

²НИТУ «МИСиС», просп. Ленинский, 4, Москва, 119049, Российская Федерация; o-maximova@yandex.ru 3
Институт географии РАН, пер.

Старомонетный, 29, Москва, 119017, Российская Федерация; kuznetsova@igras.ru

Получено 11 апреля 2021 г. / Одобрено после рассмотрения 22 июля 2021 г. / Принято 01 августа 2021 г.

Аннотация. Целью данной работы является сравнительный анализ линейных и радиальных приростов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в ответ на условия произрастания на побережье Кандалакшского залива Белого моря, а также оценка влияния температуры и осадков текущего и предыдущего вегетационного периода. При этом использовались общепринятые методы измерения и анализа данных. Динамика прироста по высоте и диаметру использовалась в качестве индикаторов реакции насаждений на условия местообитания. Проведен статистический анализ темпов прироста, которые различаются в зависимости от типа местообитания, а также оценка связи биометрических показателей насаждений с количеством осадков и средней температурой. Выявлены значимые различия в рядах линейных приростов как различия между биотопами, но они отсутствуют для радиального прироста. Таким образом, с помощью рядов радиального прироста можно отслеживать типичное поведение разнообразия деревьев независимо от типа биотопа. Это создает основу для долгосрочного ретроспективного анализа воздействия окружающей среды на насаждения с использованием годичных колец деревьев без учета условий произрастания.

Было установлено, что осадки являются ограничивающим фактором радиального и линейного роста на протяжении фазы междоузлового роста и раннего формирования древесины. Температура была определена



Это статья открытого доступа, распространяемая по лицензии CC BY 4.0.

как лимитирующий фактор радиального развития только на этапах позднего формирования древесины и накопления ресурсов для следующего вегетационного периода. Выявлена высокая чувствительность линейных приростов к климатическим условиям, что делает их полезными в качестве критерия оценки состояния лесных экосистем на коротких временных интервалах (до 30 лет). Однако это, в свою очередь, диктует невозможность формирования долгосрочных линейных рядов прироста, как для радиального прироста, что является существенным ограничением данного метода. Сделан вывод о том, что выбор методов анализа линейного или радиального прироста определяется целями предполагаемого исследования: мониторинг лесных экосистем в условиях современных изменений климата или долгосрочный палеоклиматический анализ. Ключевые слова: сосна обыкновенная, линейный прирост, радиальный прирост, биотоп, сумма осадков, температура, Кандалакшский залив, Республика Карелия

Для цитирования: Кухта А.Е., Максимова О.В., Кузнецова В.В. Влияние климатических факторов на рост сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на побережье Кандалакшского залива Белого моря // Лесной журнал. 2023. № 4. С. 105–119. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-4-105-119>

Введение

Развитие и продуктивность растительных сообществ напрямую зависят от климатических факторов. Повышенной уязвимости в условиях изменения климата характеризуются арктические фитоценозы. В последних версиях регистров определяются различные климатогенные преобразования биомов тайги и тундры [8, 10, 14, 24]. Для успешного определения тенденций и прогнозирования состояния бореальных лесных биогеоценозов необходимо иметь информацию о том, какие метеорологические факторы являются лимитирующими для роста древостоев. Решению этой задачи посвящен ряд отечественных и зарубежных работ [8, 19, 20, 27].

Методы дендрохронологии с использованием рядов индексированных кольцевых приростов деревьев, широко рассматриваемых с целью изучения многолетних взаимодействий климата и лесных экосистем. Получаемые данные содержат информацию об интегрированных откликах древних на воздействие температуры, погодных условий и других факторов внешней среды. В частности, дендрохронологический метод распространен при строительстве палеоклиматических реконструкций и исследованиях состояния экосистем прошлого [7, 22, 27]. Сюда же можно отнести ряд дендрохронологических исследований для побережья Белого моря [4, 5, 12].

В ранее опубликованных работах мы высказали предположение, что параметры изменчивости радиального прироста в бореальных биотопах (а значит и отклик на воздействие климатической системы) не зависят от характера условий произрастания. Получается, что дендрохронологические методы с использованием кольцевых хронологий применимы для оценок длительных периодов вне зависимости от условий произрастания [19, 20].

При использовании дендрохронологического метода в качестве исходных данных для анализа могут служить приросты по высоте и приросты по диаметру. В более продолжительные временные периоды (до 30 лет) наблюдаются реакции на внешние воздействия, вызываемые приростами роста [19, 25]. Почки выращивания древесных пород, из которых развиваются междоузлия, в противоположную сторону камбии, обеспечивающие рост деревьев в начале, создают основной мишень прессинга метеорологических факторов [8, 19, 20]. Линейным приростам свойственна большая, чем у радиальных, зависимость

от внешних факторов и, следовательно, действие факторов внешней среды более очевидно. Ограничением метода дендрохронологии по линейным приростам в отличие от анализа по радиальному является короткий период, в течение которого возможно изучение климатического сигнала. Дендрохронический метод, направленный на анализ прироста годовых колец и их различных параметров (ранняя, поздняя древесина, максимальная яркость, анатомические характеристики и т. д.), широко используется для дендроклиматических реконструкций [11, 22, 27] и обладает большей протяженностью временных рядов по сравнению с анализом по линейному приросту. Поэтому оба метода в совокупности представляют интерес для изучения как регионального, так и локального климатического сигнала для разных временных интервалов [6, 19, 20].

Цель – рассмотреть изменчивость линейных и радиальных приростов в зависимости от типа биотопа и причины сходств/различий их динамики, а также определить лимитирующие рост древостоев климатических факторов в разных местах обитания на побережье Белого моря.

Объекты и методы исследования

Исследование проводилось в государственном комплексном (ландшафтном) заказнике регионального значения «Полярный круг», в Республике Карелия, на побережье Кандалакшского залива Белого моря (66°32' с.ш., 33°11' в.д.). Территория расположена в Кольско-Печорской подпровинции Евроазиатской таежной области, в Североевропейской флористической провинции, на стыке 3-х флористических районов – Имандровского, Варзугского и Топозерского. Преобладающим типом растительности являются северотаежные леса [10]. Мурманская область находится в Атлантико-арктической климатической области умеренного пояса, в зоне избыточного увлажнения [1]. Согласно Л.С. Бергу [6], средообразующими факторами в бореальных биогеоценозах являются гумидный климат, а также микро- и мезорельеф местности. Высокий уровень разнообразия ландшафтов обуславливает мозаичность мест обитания и многообразие условий произрастания.

В соответствии с классической типологией В.Н. Сукачева [13], выделены 3 основных типа мест обитания (биотопов): влажные, свежие и сухие. Влажные биотопы представляют собой сосняки сфагновые (*Pineta sylvestris fruticuloso-sphagnosa*). Для новых биотопов обычны сосновые древостои (*Pineta fruticuloso-hylocomiosa*) с примесью ели (*Picea abies* (L.) H. Karst.), березы повислой (*Betula pendula* Roth) и рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia* Kom. ex Gatsch). В результате биотопов, на так называемых китовых лбах – выходах скальных пород – обычные сосняки лишайниковые (*Pineta sylvestris cladinoso*) [13, 15].

Для анализа ответа древостоев сосны на изменение климатических параметров были использованы результаты измерений линейных приростов (т. е. годовых приростов междоузлий) сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L., 1753 (класс *Pinopsida*, порядок *Pinales*, семейство *Pinaceae*) [10, 26].

Измерения линейных приростов подростка, молодняка и приспевающих лестниц в 2007 г. по методике, представленной в [8, 19]. Деревья указанных возрастных классов в рассматриваемых бореальных фитоценозах не превышают 2 м в высоту. Точность измерений измеряется используемым инструментом – мерной рулеткой. Пробные площади, в радиусе 10 м, были заложены маршрутным методом в новых (7 пробных площадях), въездных (8 пробных площадей) и влажных (4 пробных площадях) местах обитания.

(всего 19 пробных площадей). На каждой пробной площади случайным образом отбиралось и анализировалось по 5 деревьев одного класса без видимых повреждений. Таким образом, в новых биотопах ежегодно учитывалось 35 деревьев, в Конгрессе – 40, во влажных – 20 (всего 95 деревьев). У выбранных экземпляров производятся размеры междоузлия стволика/ствола, начиная с верхушки-него и до последнего, четко различимого над корневой шейкой. В результате этих измерений был получен архив за период 1980–2007 гг.

Для оценки параметров радиальных приростов взяты керны у 15 деревьев в новых биотопах, в связанных биотопах – у 15 деревьев, во влажных – у 12. Используются дендрохронологические образцы сосны обыкновенной, заметные из живых деревьев. Для каждой пробной площади предусмотрена ширина годового кольца – радиальный прирост древесины. Измерения производились с помощью специализированной программы TsarWin (точность измерения 0,01 мм). Контроль качества образцов осуществляется с помощью программы Cofecha [21, 22]. Ко всем образцам было применено 100-летнее линейное сглаживание [18]. Этот фильтр позволяет удалить неклиматический сигнал из рядов дендрохронологических данных (ежегодный прирост годовых колец).

Рядовых радиальных и линейных приростов индексов, т. е. из них возникла возрастная компонента. В дендрохронологических сериях возрастной тенденции [16, 29] удалено с помощью программы ARSTAN [17], для чего значение линейного прироста за каждый год поделено на значение точечной ап-проксимирующей функции за этот год. Результатом такой процедуры послужили динамические ряды индексов приростов, для чего стало возможным проведение сравнения биометрических показателей разного возраста на воздействие климатических факторов с учетом мозаичности местообитаний изучаемых древостоев [7, 9, 11, 19, 20]. Для получения устойчивых результатов при анализе изменчивости индексов приростов и их связи с метеофакторами производилось усреднение индексов по всем деревьям площадок указанного биотопа за каждый год.

Метеоданные данные с сайта Всероссийского Научно-исследовательского института Гидрометеорологической Информации (<http://meteo.ru/>) по данным метеорологической станции Кандалакшского государственного природного заповедника [2, 3]. Длина рядов метеоданных соответствует продолжительности наблюдений за линейными и радиальными приростами – общий период для серий составляет 21 год, с 1984 по 2005 г.

Для исследования связи линейных и радиальных приростов с минимальными температурами и суммарными осадками выбирались периоды с июля по август предыдущего года и с апреля по август текущего года. Данный период выбран для анализа, поскольку фенофаза активного роста длится почки восстановления. с учетом вегетационного сезона до осени.

Для первоначального анализа изменчивости индексов линейных и радиальных приростов используется диаграмма «ящик с усами», которая позволяет проводить сравнение массивов разных объемов не только по медианным значениям (размечаемым внутри ящика), но и оценивать изменчивость каждой группы. по размерам ящиков, границы которых задаются 1-м и 3-м квартилями [28]. Для статистической оценки всеобщего типа биотопа произрастания сосны на изменчивость ее линейных и радиальных приростов использовались непараметрические критерии Краскела–Уоллиса (H-критерии)

[23]. Этот критерий свободен от типа распределения данных, который при небольших объемах выбора, как и в нашем случае, допускает возможность возникновения ошибок в обеспечении нормальности данных. Критерий основан на западном равенстве среди нескольких групп [1], критерий Н-статистики имеет вид

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^M \frac{R_i^2}{n_i} - 3 \left(\frac{N+1}{2} \right),$$

n_i – число наблюдений в группе i ; $N = \sum_{i=1}^M n_i$ – общее число наблюдений во всех группах; R_i – последние ранги наблюдений в группе i .

Данные приведены как по линейному, так и по приростам междуузлий на территории резерва для каждого отдельного года изменения независимой изменчивости, поэтому для сравнения корреляционных связей с осадками и температурами вместо использования среднего прироста за год выбрано его медианное значение. Медианы устойчивы к экстремальным значениям при выборе (выбросам), и тем самым они дают более полное представление о «типичном» значении приростов междуузлий, чем просто среднее. Для оценки связи медианных индексов линейных приростов междуузлий сосны и суммарных атмосферных осадков, а также температурных коэффициентов использовались корреляции Пирсона (r) с оценкой инновационности по критерию Стьюдента на уровне $\alpha = 0,05$. Для реализации корректно-регрессионного анализа временных рядов и статистического оценивания применены программный модуль Statistica 15 и пакет Excel 2016.

Результаты исследования и их обсуждение

Вариабельность линейных и радиальных приростов в различных типах биотопов. Ранее проведенные нами исследования показали, что изменчивость приростов как показателя срабатывания древостоев на воздействие внешнего воздействия зависит от типа места произрастания [7, 9, 19, 20]. В данной работе индексы линейных и радиальных приростов также представлены для 3 типов биотопов: исходный, влажный и сухой [13]. Для оценки общего типа биотопа на линейные и радиальные приросты сосны взяты за период с 1984 по 2005 г., так как для данного периода существуют расширенные ряды индексов приростов. Вариативность приростов визуальна представлена на рис. 1 в виде диаграммы «коробка с усами» [28], отображающая различия изменчивости от года к году в каждом биотопе как в интерквартильном разбросе (IQR), так и в размахе этих результатов (R).

Визуальный анализ показателя variability IQR для индексов линейных и радиальных приростов выявил следующее. Для линейных приростов продемонстрирована меньшая межгодовая изменчивость во влажных и влажных биотопах по сравнению с новинками (рис. 1, а). Это объясняет тем, что в данном биоме свежие биотопы представляют собой зону экологического оптимума для сосны, сухие и влажные места обитания – зону пессимума, где, согласно одному из основных экологических направлений – закону Шелфорда, отмечено жесткое ограничение по ряду ресурсов, в том числе по количеству влаги в субстрате. Следовательно, как показано в наших ранее опубликованных работах [8, 19], давление естественного отбора в новых биотопах ниже, чем в членах и влажных. Межгодовая изменчивость индексов радиальных приростов визуальна больше, но от биотопа к биотопу различия IQR явно не выражены (рис. 1, б).

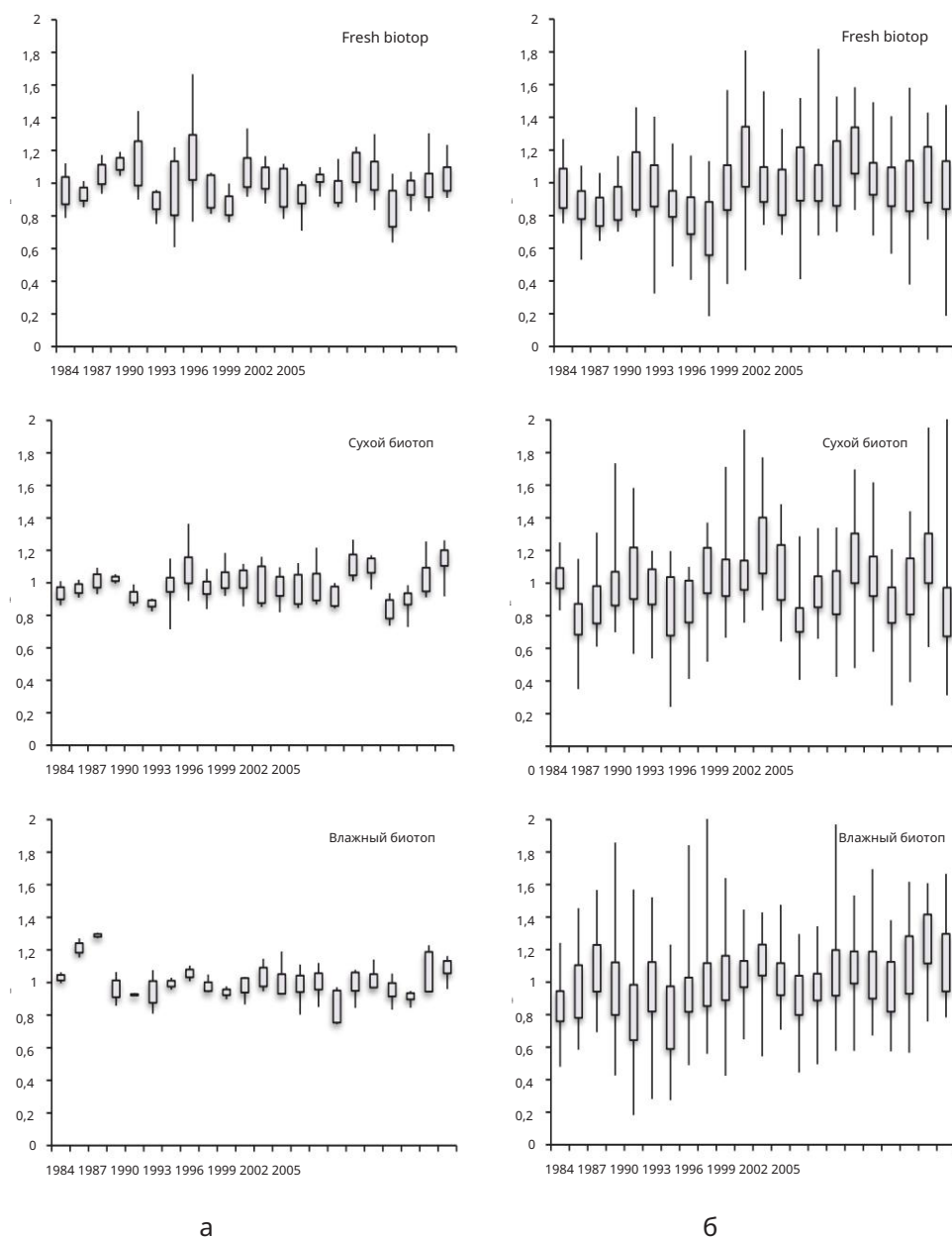


Рис. 1. Диаграммы индексов приростов сосны в 3 типах биотопов заказника «Полярный круг» с 1984 по 2005 г.: а – линейных; б – радиальных

Рис. 1. Диаграммы индексов приростов сосны в 3 типах биотопов заказника «Полярный круг» с 1984 по 2005 г.: а – линейных; б – радиальных

Статистическое рядов показателей IQR для разных типов биотопов с помощью непараметрического Н-критерия сравнения выявлено: Достоверные различия IQR для индексов линейных приростов от биотопа к биотопу ($p = 0,008 < \alpha$), при этом в новых биотопах IQR инновации больше; незначимые различия IQR для индексов радиальных приростов ($p = 0,8213 > \alpha$).

Таким образом, характеристики различных типов биотопов следует различать с точками воздействия на линейные приросты на уровне инновационности α и с точками воздействия на радиальные приросты. Гистограммы, составленные для показателя IQR, имеют колоколообразный вид для радиальных приростов (рис. 2) и тем самым дополнительно показывают однородность их вариабельности от биотопа к биотопу в отличие от гистограмм для линейных приростов. Это означает, что характер изменчивости радиальных приростов (и, следовательно, их реакция на воздействие факторов окружающей среды) сходится в разных типах биотопов, т.е. е. во всех условиях произрастания.

В отличие от радиальных приростов, параметры изменчивости линейных приростов не дают статистических подтверждений сходства от биотопа к биотопу, параметры изменчивости IQR обнаруживаются для влажных, констатирующих и новых местообитаний.

Дополнительное исследование равносречных результатов индекс-сов радиальных приростов (в условиях статистической незначимости различной вариабельности) по Н-критерию также показывает незначимые различия: полученная расчетная статистика критерия $p = 0,8338 > \alpha$. Это обеспечивает независимость радиальных приростов сосны по типу биотопа, что дает возможность наблюдать за данными показателями вне зависимости от места обитания. Дополнительный анализ массивов индексов радиальных приростов во времени также выявил отличие биотопа от биотопа, что является еще одним доказательством возможности анализа реакции прироста на воздействие климатических факторов вне зависимости от типа биотопа.

Соединение линейных и радиальных приростов с допустимыми температурами и суммарными осадками. Изменчивость параметров роста сосны по высоте зависит от типа биотопа, т.е. е. линейный прирост более стабильного случайного воздействия различных факторов окружающей среды обитания. Для оценки связи прироста с климатическими параметрами рассматривайте связь с его медианными значениями, такими как центральная тенденция выбора. Ввиду регистрируются значимые таблицы вариабельности индексов линейных приростов соответственно типа биотопа, далее исследуются медианные значения и радиальные, и линейные приросты для результатов последовательности. Как было отмечено, проведение наблюдения

Дения за типичное поведение изменчивости радиальных приростов возможно вне зависимости от типа биотопа, поэтому далее будем рассматривать индекс-сов радиальных приростов общего массива данных. Выделяем 2 периода текущего года: апрель–май, когда происходит активный рост по высоте, радиальный прирост осуществляется за счет ранней древесины (в этот период апикальный рост часто доминирует над растущим стволом в начале), и июнь–август, когда доминирует кольцевой прирост (за счет образования поздней древесины), а междуоз-лия замедляют и в перспективе прекращают развитие. Для прошлого вегетаци-онного сезона выделим август–сентябрь как период формирования сосной растительности, обеспечивающий рост побегов в следующем году. Рассчитанные коэффициенты погоды соотносятся со средними суммарными факторами вегетационных периодов (табл. 1):

значимые положительные связи наблюдаются в период апреля–мая текущего года как для радиальных приростов ($r = 0,35$), так и для линейных по краям последних ниши (в составе биотопов $r = 0,32$ и во влажных $r = 0,35$); в период августа–сентября прошлого года зафиксирована значимая связь для линейных приростов в составе биотопов ($r = 0,34$);

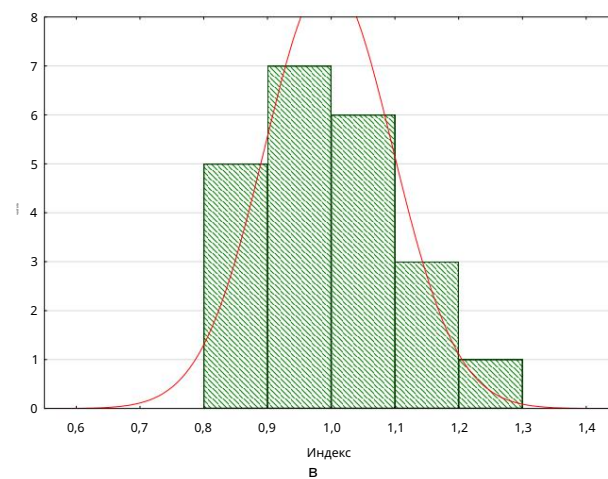
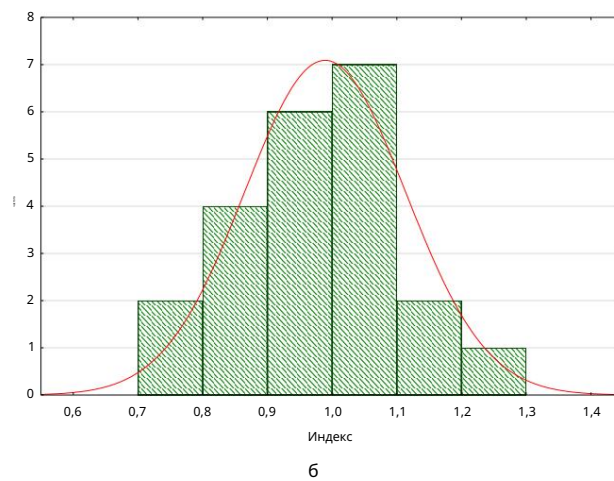
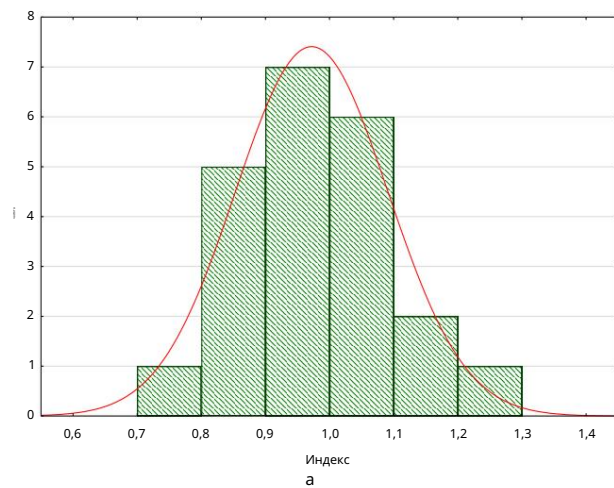


Рис. 2. Гистограммы для показателя вариабельности индексов IQR радиальных приростов в различных биотопах, 1984–2005 гг.: а – свежий; б – сухой; в – влажный

Рис. 2. Гистограммы межквартильной изменчивости индексов радиального прироста в разных биотопах, 1984–2005 гг.: а – свежий; б – сухой; в – влажный

Обнаружены значимые отрицательные связи только для линейных приростов во всех биотопах в период июня-июля текущего года ($r = -0,43$; $-0,30$; $-0,37$) для свежих, влажных и постоянных биотопов США.

Таблица 1

Коэффициенты соотносят между медианными индексами линейных и радиальных приростов сосны и последними тенденциями за 1986–2005 гг.

Коэффициенты корреляции между медианами индексов линейного и радиального прироста сосны и уровнем суммарных осадков за 1986–2005 гг.

Периодические проценты	Индексы приростов для биотопа			
	линейных			радиальные
	свежий	сухой	влажный	объединенный
Апрель-май текущего года	0,11	0,32	0,35 – 0,30 –	0,35
Июнь-июль текущего года	–0,43	0,37		-
Июнь-август текущего года	-	-	-	–0,07
Август-сентябрь прошлого года	0,12	0,34	0,08	0,05

Примечание: Здесь и в табл. 2 полужирными шрифтом выделяются индексы, значимые на уровне 0,05.

Причина положительной связи линейных приростов в соединении биотопов с осадками в начале лета очевидна: этот период – фенофаза апикального роста, в течение которого сохраняется междоузлий, требует дефицитной потребности в условиях произрастания влаги. Во 2-й половине дня рост фенофазы междоузлий атмосферных осадков вызывает вымывание и обеднение субстрата, на котором развивается корневая система сосны, и, следовательно, сокращение длины междоузлий. Положительные связи приростов с осадками августа-сентября периода вегетационного периода объясняются тем, что осадки компенсируют недостаток влаги, необходимый для развития почек возобновления и, соответственно, прироста следующего года.

Во влажных биотопах в начале лета атмосферные осадки, поступившие в холодную и закисленную среду обитания корневой системы деревьев, делают наблюдение доступным для ускорения междоузлийного роста. В середине вегетационного сезона избыток осадков, напротив, вызывает у деревьев водный стресс, из-за чего рост дерева по ступенькам замедляется. Этим самым отрицательные значения коэффициента корреляции между осадками и линейным приростом в середине лета во

влажных биотопах. В новых биотопах древостои не испытывают дефицита влаги. Кроме того, районные исследования касаются избыточного увлажнения области [1, 7], а при последующем воздействии факторов во 2-й половине фенофазы роста междоузлий деревьев так же испытывают водный стресс, что приводит к снижению формирования кроны. Следовательно, коэффициент корреляции имеет отрицательное значение. В отличие от линейных радиальных приростов усиление фено с проявлением изменений лишь в начале фазы раннего формирования древесины. В перспективе вегетационного сезона рост стволов будет происходить, не связанный

с поступлением атмосферной влаги. Коэффициенты соотносят линейные и радиальные приросты с этими температурами представлены в табл. 2.

Таблица 2

Коэффициенты соотносятся между медианными индексами линейных и радиальных приростов сосны и уровнями температур за 1986–2005 гг.

Коэффициенты корреляции между медианами индексов линейного и радиального прироста сосны и средними температурами за 1986–2005 гг.

Периодические проценты	Индексы приростов для биотопа			
	линейных			радиальные
	свежий	сухой	влажный	объединенный
Апрель–май текущего года	–0,04	–0,06	–0,21	0,13
Июнь–июль текущего года	–0,17	–0,06	–0,21	–
Июнь–август текущего года	–	–	–	0,41
Август–сентябрь прошлого года	–0,32	0,09	0,26	0,43

Значимая положительная связь со сниженными температурами в период активного радиального прироста сосны (июнь–август текущего года, $r = 0,41$) и период прошлого года (август–сентябрь, $r = 0,43$) с индексами радиальных приростов, обусловленных необходимостью. набор дополнительных температур для получения результатов поздней фазы, формирующей древесину в текущей Африке и накопления ресурсов для роста ствола в будущем году. Напротив, для индексов линейных приростов в новых биотопах наблюдается значимая отрицательная зависимость с высокими температурами августа–сентября прошлого года ($r = -0,32$) по причине негативного воздействия температуры (и, как теория, нехватки влаги) качества почек роста и прироста. в высоту в следующем году. На крупнейшем кольцевом приросте текущего года помимо наблюдаемых факторов влияет множество других, таких как содержание CO₂ в атмосфере, обе-

спеченность земли минеральными элементами, лесорастительные условия и др. Таким образом, полученные коэффициенты корректируют радиальный прирост с суммарными осадками и уровнями температур отражают значимую связь, но не подтверждают зависимость.

Заключение

На материале исследования древостоев сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* комплексного (ландшафтного) заказника «Полярный круг», расположенного на побережье Кандалакшского залива Белого моря, показано, что связь параметров изменчивости радиальных приростов с характером местообитания незначима. Следовательно, получение данных о показателях воздействия внешних (в том числе климатических) факторов может происходить сходным образом и в электричестве, и в новых, и во влажных биотопах. Это дает основание для долгосрочного ретроспективного анализа концепции древостоев и среды с использованием древесно-кольцевых хронологий без изучения условий произрастания.

Обнаружено несходство линейных приростов на воздействие климатических факторов в США, влажных и свежих биотопах. Другими слоями, тип биотопа является существенным условием для формирования характера изменчивости на протяжении междоузлий. Указанная закономерность позволяет разделить климатически обусловленные закономерности от межгодовой индивидуальной изменчивости деревьев, т.е. е. довести степень снижения уровня «шума», маскирующего истинные тенденции. Подтверждена роль последствий как лимитирующего фактора для радиальных и линейных приростов (для последних – в условиях и влажных биотопах, т.е. в зонах

экологического пессимума) в ходе роста фенофазы междоузлий и развития ранних камней. Лимитирующая роль температуры выявлена для радиальных приростов лишь на этапах формирования поздней древесины и накопления ресурсов для роста в следующем вегетационном сезоне. Линейные приросты в отличие от радиальных характерны принципами от температуры и изменения в ходе всех фенофазных показателей и изменения вегетационных сезонов и по этому более репрезентативны при подключении Диптихов лесных экосистем, хотя и льготы для создания длительных хронологий из-за необходимости рядовых измерений. Таким образом, линейные приросты (с учетом их чувствительности к воздействию климатических факторов) являются более информативным инструментом оценки состояния лесных экосистем за короткий (до 30 лет) период, чем радиальные. Однако основным ограничением при использовании линейных приростов для анализа хода роста сосны от климатических факторов становится невозможность

формирования многолетних рядов, таких, как радиальные приросты, в силу возрастных изменений деревьев.

Выбор методов анализа по линейным или по радикальным приростам
Определенные представителями Справочного исследования – Диптихи лесных экосистем в современных условиях изменения климата или долгосрочного палеоклиматический анализ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / ССЫЛКИ

1. Алисов Б.П. Климат СССР. М.: Моск. ун-т, 1956. 128 с.
Алисов Б. П. Климат СССР. М.: Изд-во МГУ, 1956. 128 с.
2. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Коршунова Н.Н., Шве́ц Н.В. Описание массива данных ежемесячных сумм на станциях России: свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620394. Режим доступа: <http://meteo.ru/data/158-total-precipitation#описание-массива-данных> (дата обращения: 21.03.21).
Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Коршунова Н.Н., Шве́ц Н.В. Описание массива данных месячных сумм осадков на станциях России // База данных ВНИИГидромета – Мировой центр данных.
Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620394 .
3. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Трофименко Л.Т., Шве́ц Н.В. Описание массива данных среднемесячной температуры воздуха на станциях России: Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621485. Режим доступа: <http://meteo.ru/data/156-temperature#описание-массива-данных> (дата обращения: 22.03.21).
Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Трофименко Л.Т., Шве́ц Н.В. Описание массива данных о средней месячной температуре воздуха на станциях России. База данных

Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621485.

4. Долгова Е.А., Мацковский В.В., Соломина О.Н. Дендрохронология Соловецких островов // География: развитие науки и образования. СПб.: РГПУ им. А.И. Герцена, 2018. Т. 1. С. 394–398.

Долгова Е.А., Мацковский В.В., Соломина О.Н. Дендрохронология Соловецких островов. География: развитие науки и образования. Том. 1. Санкт-Петербург: Изд-во Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена, 2018, т. 1. С. 394–398. (На русск.).

5. Долгова Е.А., Соломина О.Н., Мацковский В.В., Добрянский А.С., Семеняк Н.А., Шпунт С.С. Пространственная изменчивость прироста сосны на Соловецких островах // Изв. РАН. Сер.: Географическая. 2019. № 2. С. 41–50.

Долгова Е.А., Соломина О.Н., Мацковский В.В., Добрянский А.С., Семеняк Н.А., Шпунт С.С. Пространственная изменчивость годичного прироста сосен на Соловецких островах. Известия РАН. Серия Географическая. 2019. Вып. 2, стр. 41–50. (На русск.). <https://doi.org/10.31857/S2587-55662019241-50>

6. Кузнецова В.В., Чернокульский А.В., Козлов Ф.А., Кухта А.Е. Связь линейного и радиального прироста сосны обыкновенной с осадками разного генезиса в лесах Кер-женского заповедника // Изв. РАН. Сер.: Географическая. 2020. № 1. С. 93–102.

Кузнецова В.В., Чернокульский А.В., Козлов Ф.А., Кухта А.Е. Связь линейного и радиального прироста сосны обыкновенной с отложениями разного генезиса в лесах Кер-женского заповедника. Известия РАН, Серия Географическая, 2020, вып. 1, стр. 93–102. (На русск. яз.). <https://doi.org/10.31857/S2587556620010124>

7. Кухта А.Е. Измерение температуры и атмосферных воздействий на годовой линейный прирост сосны обыкновенной на берегах Кандалакшского залива // Вестн. МГУЛ – Лесн. вестн. 2009. № 1. С. 61–67.

Кухта А.Е. Влияние температуры и осадков на годовой линейный прирост сосны обыкновенной на побережье Кандалакшского залива // Лесной вестник. 2009. № 1. С. 61–67.

8. Кухта А.Е., Попова Е.Н. Климатический сигнал в линиях прироста сосны обыкновенной бореальных фитоценозов побережья Белого моря // Проблемы экологического Диптиха и учета экосистем. 2020. Т. 31, № 3-4. С. 33–45.

Кухта А.Е., Попова Е.Н. Климатический сигнал в линейном приросте сосны обыкновенной в бореальных фитоценозах побережья Белого моря // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2020. Т. 31, № 3-4. С. 33–45. <https://doi.org/10.21513/0207-2564-2020-3-33-45>

9. Кухта А.Е., Румянцев Д.Е. Линейный и радиальный приросты сосны обыкновенно-венной в Волжско-Камском и Центрально-Лесном государствах ожидания запо-ведниках // Вестн. МГУЛ – Лесн. вестн. 2010. № 3. С. 88–93.

Кухта А.Е., Румянцев Д.Е. Линейный и радиальный прирост сосны обыкновенной в Волжско-Камском и Центрально-Лесном государственных природных заповедниках // Лесной вестник. 2010, № 3, стр. 88–93.

10. Раменская М.Л. Анализ флоры Мурманской области и Карелии. Л.: Наука: Ленингр. отд-ние, 1983. 215 с.

Раменская М. Л. Анализ флоры Мурманской области и Карелии. Ленинград: Наука, 1983. 215 с.

11. Румянцев Д.Е., Епишков А.А., Липаткин В.А., Волкова Г.Л. Статистические правила изменчивости временных рядов радиального прироста сосны обыкновенно-венной по показателям синхронности на территории Русской границы // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 5. С. 688.

Румянцев Д.Е., Липаткин В.А., Епишков А.А., Волкова Г.Л. Статистические закономерности изменчивости временных рядов радиального прироста сосны обыкновенной по показателю синхронности на территории Русской равнины // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 5. Ст. № 688.

12. Соломина О.Н., Мацковский В.В., Жуков Р.С. Дендрохронологические «лето-писи» «Вологда» и «Соловки» как источник данных о климате последнего тысячелетия // Докл. Акад. наук. 2011. Т. 439, № 4. С. 539–544.

Соломина О.Н., Мацковский В.В., Жуков Р.С. Вологодские и Соловецкие дендрохронологические «летописи» как источник информации о климатических условиях последнего тысячелетия // Доклады Академии наук. – 2011. – Т. 439, № 4. – С. 539–544. (На русск. яз.). <https://doi.org/10.1134/S1028334X11080071>

13. Сукачев В.Н. Избранные труды: в 3 т. Т. 1. Основы лесной типологии и биогеоценологии / под общ. ред. Е.М. Лавренко. Л.: Наука, 1972. 419 с.

Сукачев В.Н. Избранные труды в трех томах. Т. 1: Основы лесной типологии и биогеоценология / Под ред. Е. М. Лавренко. Ленинград: Наука, 1972. 419 с.

14. Тишков А.А., Кренке-мл. А.Н. «Позеленение» Арктики в XXI в. как эффект синергизма действия глобального потепления и хозяйственного освоения // Арктика: экология и экономика. 2015. № 4(20). С. 28–37.

Тишков А.А., Кренке-мл. А.Н. «Озеленение» Арктики в XXI веке как синергетический эффект глобального потепления и экономического развития // Арктика: экология и экономика. 2015. Т. 4(20). С. 28–37.

15. Ценофонд лесов представлен России. Режим доступа: <http://cepl.rssi.ru/bio/Flora/princip.htm> (дата обращения: 02.03.21).

Типологическое разнообразие лесов Европейской России. База данных: Фонд цен Европейской России.

16. Кук Э.Р., Холмс Р.Л. Руководство по компьютерной программе ARSTAN. Библиотечная версия программы Международного банка данных по годичным кольцам, 1996, т. 2, стр. 75–87.

17. Кук Э., Питерс К. Сглаживающий сплайн: новый подход к стандартизации ряда ширины годичных колец внутри леса для дендроклиматических исследований. Tree-Ring Bulletin, 1981, т. 41, стр. 45–53.

18. Черногаева Г.М., Кухта А.Е. Реакция бореальных лесных насаждений на современные изменения климата на севере европейской части России // Метеорология и гидрология. 2018, т. 43, № 6, стр. 418–424. <https://doi.org/10.3103/S1068373918060109>

19. Черногаева ГМ, Кузнецова В.В., Кухта А.Е. Влияние осадков на рост бореальных лесных насаждений Поволжья // Метеорология и гидрология. 2020. Т. 45. № 12. С. 851–857. <https://doi.org/10.3103/S1068373920120055>

20. Долгова Е., Черенкова Е., Соломина О., Мацковский В. Влияние крупномасштабных изменений атмосферной циркуляции на прирост годичных колец ели на Соловецких островах (Россия) // Практическая география и проблемы XXI века. Труды тематической конференции Международного географического союза, посвященной 100-летию Института географии РАН, Москва, 4–6 июня 2018 г. М.: ФГБНУ Институт географии РАН, 2018. С. 96.

21. Гриссино-Майер HD Оценка точности кроссфейдинга: Руководство и учебник для компьютерной программы COFESHA, 2001, стр. 205–221.

22. Холмс Р. Л. Компьютерный контроль качества при датировании и измерении колец деревьев. Tree-Ring Bulletin, 1983, т. 43, стр. 69–78.

23. Kruskal WH, Wallis WA Использование рангов в однокритериальном дисперсионном анализе. Журнал Американской статистической ассоциации, 1952, т. 47, № 260, стр. 583–621. <https://doi.org/10.1080/01621459.1952.10483441>

24. Мацковский В., Кузнецова В., Морозова П., Семеняк Н., Соломина О.

Оценка влияния экстремальных климатических явлений в 21 веке на радиальный рост сосен в Поволжье (европейская часть России). Серия конференций IOP. Науки об окружающей среде и земле, 2020, т. 611, № 1, ст. № 012047. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/611/1/012047>

25. Миси Д., Пухалка Р., Пирсон К., Робертсон И., Копровски М. Различия в климато-ростовой связи сосны обыкновенной: исследование на примере Польши и Венгрии. Леса, 2019, т. 10, № 3, стр. 243. <https://doi.org/10.3390/f10030243>

26. *Pinus sylvestris*. База данных голосеменных растений. Доступно по адресу: https://www.conifers.org/pi/Pinus_sylvestris.php (дата обращения 21.03.20).

27. Thabeet A., Vennetier M., Gadbin-Henry C., Dendelle N., Roux M., Caraglio Y., Vila B. Реакция *Pinus sylvestris* L. на недавние климатические события во французском средиземноморском регионе. *Trees*, 2009, т. 23, № 4, стр. 843–853. <https://doi.org/10.1007/s00468-009-0326-z>

28. Тьюки Дж. В. Сравнение индивидуальных средних значений в дисперсионном анализе. *Биометрия*, 1949, т. 5, № 2, стр. 99–114. <https://doi.org/10.2307/3001913>

29. Wilson R., Anchukaitis K., Briffa KR, Büntgen U., Cook E., Darrigo R., Davi N., Esper J., Frank D., Gunnarson B., Hegerl G. Летние температуры в Северном полушарии в прошлом тысячелетии по годовичным кольцам. Часть I: Долгосрочный контекст. *Quaternary Science Reviews*, 2016, т. 134, стр. 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.12.005>

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликтных интересов

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи.

Вклад авторов: Все авторы внесли равный вклад в написание статьи.