

Природные ресурсы Арктики и Субарктики / Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2023;28(4):584–594

УДК 630*11:630*164:551

<https://doi.org/10.31242/2618-9712-2023-28-4-584-594>

Оригинальная статья

Дендроклиматические исследования лиственницы Каяндера на территории бассейна реки Омолой

А. И. Колмогоров^{1,2}, Ш. Крузе⁴, А. Н. Николаев¹,
А. В. Кирдянов^{2,3}, Л. А. Пестрякова¹

¹Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Российская Федерация; ²Сибирский федеральный университет, г. Якутск, Российская Федерация

³Федерация, Сибирский федеральный университет, г. Якутск, Российская Федерация; ⁴Красноярск, Российская Федерация

³Институт лесов СО РАН В.Н. Сукачев, г. Красноярск, Российская Федерация; ⁴Институт Альфреда

⁴Вегенера, Центр полярных и морских исследований им. Гельмгольца, г. Потсдам, Германия

ai.kolmogorov@s-vfu.ru

Аннотация

В работе представлены результаты исследований климатического осигнала радиального прироста лиственницы.

Каяндера (*Larix sibirica* Mayr.), произрастающей на территории бассейна реки Омолой (северо-восток Якутии). На трех участках, расположенных в долинах комплексов субарктической тундры и притундровом

редко, полученных рондологических периодах древесных колец, длительность продолжительности до 498 лет. Сравнительный анализ динамики радиального прироста их характеристик, составляющих наиболее распространенную изменчивость диапазона колец в пределах рас с матрицей регрессии. Результаты дендроклиматического анализа

Основным фактором, определяющим величину радиального прироста лиственницы, является температура воздуха в первой половине сезона роста. Рост температуры приводит к возрастанию напряжения и возникновению корреляционных связей прироста с температурой, прежде всего, для

северных участков. Исследование свидетельствует о перспективности проведения дендроклиматических и дендрологических исследований на севере Якутии.

Ключевые слова: тундра, лесотундра, радиальный прирост, температура, дендроклиматология, Якутия.

Финансирование. Работа выполнена в рамках проектной части государственных заданий Минобрнауки РФ.

«Биота и абиотические компоненты экосистемы Северо-Востока России и разумное внедрение».

ресурсы криолитозоны в условиях изменения климата и техногенного воздействия» (№ ФСРГ-2023-0027) и

«Разработка новых методов анализа цифровой анатомии древесных растений для изучения процессов изменения климата Евразии» (№ ФСРГ-2020-0014).

Благодарности. Авторы выражают глубокую благодарность к.б.н. Е.И. Троевой, к.б.н. А. Арзак и к.б.н.

Р.М. Гордичеву за участие в исследовании.

Для цитирования: Колмогоров А.И., Крузе Ш., Николаев А.Н., Кирдянов А.В., Пестрякова Л.А. Дендроклиматические исследования лиственницы Каяндера на территории бассейна реки Омолой. Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2023;28(4):584–594. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2023-28-4-584-594>

Оригинальная статья

Дендроклиматические исследования *Larix sibirica* Mayr. в бассейне реки Омолой

А.И. Колмогоров^{1,2}, Ш. Крузе⁴, А.Н. Николаев¹, А.В. Кирдянов^{2,3}, Л.А. Пестрякова¹

¹Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Российская

Федерация; ²Сибирский федеральный университет, Красноярск,

Российская Федерация; ³Институт лесов им. С.Н. Сукачев, Сибирское отделение Российской академии наук, Красноярск,

⁴Российская Федерация; ⁴Институт Альфреда Вегенера, Центр полярных и морских исследований им. Гельмгольца, Потсдам, Германия

ai.kolmogorov@s-vfu.ru

Абстрактный

В данной работе представлены результаты исследований климатического осигнала радиального прироста лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Mayr.) в бассейне реки Омолой (северо-восток Якутии). Хронологии ширины годичных колец были получены из трех участков

А.И. Колмогоров и др. Дендроклиматические исследования *Larix cajanderi* Mayr...

расположенные в долинных комплексах субарктической тундры и лесотундрового экотона, с хронологиями, охватывающими до 498 лет. Сравнительный анализ динамики радиального прироста и его статистических параметров показал, что охолождением в пределах исследуемого региона. Дендроклиматический анализ показал, что основным ограничивающим фактором, определяющим Величину радиального прироста лиственничной сибирской - температура воздуха в первой половине вегетационного периода. температуры привели к увеличению роли осадков и изменению их связи с температурой корреляции, особенно на северных участках. Это исследование подчеркивает потенциал дендроклиматических и дендрохронологических исследований на севере Якутии.

Ключевые слова: тундра, лесотундра, радиальный прирост, температура, дендроклиматология, Якутия
 Финансирование. Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания в сфере научной деятельности «Биота и абиотические компоненты экосистем Северо-Востока России и рациональное освоение природных ресурсов криолитозоны в условиях изменения климата и антропогенного воздействия «Воздействие» (номер ФС РФ -2023-0027) и «Разработка новых методов анализа цифровой анатомии древесины растений «Изучение процессов изменения климата в Евразии» (номер ФС РФ -2020-0014).
 Благодарности. Авторы выражают глубокую благодарность Елене Ивановне Троевой, к.б.н., А. Арзак, к.б.н., и кандидату биологических наук Руслану Михайловичу Геродичеву за участие в исследовании.
 Цитирование: Колмогоров А.И., Крузе С., Николаев А.Н., Кирдянов А.В., Пестряков Л.А. Дендроклиматические исследования *Larix cajanderi* Mayr. в бассейне реки Омолой. Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2023;28(4):584–594.
 (На русск. яз.); <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2023-28-4-584-594>

Введение

В последние изменениях Арктические регионы Российской Федерации характеризуются существенным повышением температуры воздуха, темпы которого в разы превышают средние значения для планеты [1]. Изучение воздействия различных компонентов экосистемы региона этих климатических изменений, включая исследования динамики роста древесных пород в условиях сплошного расчистки многолетних мерзлот, является актуальной последовательностью требующей фазы специализированных последовательного профиля [1, 2].

Основным лесобразующим видом в арктических лесах северо-востока Сибири являются лиственничная, сособная произрастать в наиболее суровых условиях. Согласно последней ревизии российских ученых, на территории водосборного бассейна Омолой произведена лиственничная Каяндера (*Larix cajanderi* Mayr.) [3, 4].

Проводится несколько крупномасштабных дендрохронологических исследований, включающих, в том числе, территории Северной Якутии и посвященным исследованиям измерения температуры воздуха и количество выпадающих температур на радиальных приростах лиственничной [5–8; и др.].

Кроме того, в данных условиях можно облюбовать мест обитания, разрешение построить длительные древесные кольца хронологии, которые могут быть использованы для реконструкции летней температуры по годичным кольцам деревьев за последние несколько столетий и даже тысячелетий [9–11; и др.]. Несмотря на изученность отдельных регионов северной Якутии, территория бассейна Омолой до настоящего времени

менее изучена малоизученной в двадцати дендроклиматических исследованиях.

Целью работы является получение репрезентативных хронологий по широте древесных колец лиственничной для северных регионов бассейна Омолой, анализ климатического отклика радиального прироста деревьев и мощности потенциала полученных древесных колец хронологий для восстановления климата.

Материалы исследования

Район исследования – бассейн р. Омолой, которая берет начало на восточном склоне Орул-гунского хребта, входящего в состав системы Верхоянских гор и отделяющей бассейн Омолой от бассейна Лена. Река региона по территории м.Эвено-Бытантайского, Булунского и Усть-Янского олулов Якутии.

Климатические исследования резкоконтинентального характера с резкими перепадами температуры в холодный и теплый период. В соответствии с данными метеорологической станции «Юбилейный» (70°46' с.ш., 136°13' в.д.), средняя годовая температура за период с 1960 по 2014 г. работа -13,4 °C, средняя летняя температура 8,9 °C, общее количество осадков за год около 237 мм, существенная часть которых (112 мм, т.е. 47 %) выпадает в летний период.

Полевые работы проводятся в рамках Совместной Российской-Германской экспедиции Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова (г. Якутск) и Центральных и морских исследований им. Гельмгольца (г. Потсдам) в июле 2014 г. Дендрохронологи-

А. И. Колмогоров и др. Дендроклиматические исследования лиственницы Каяндера...

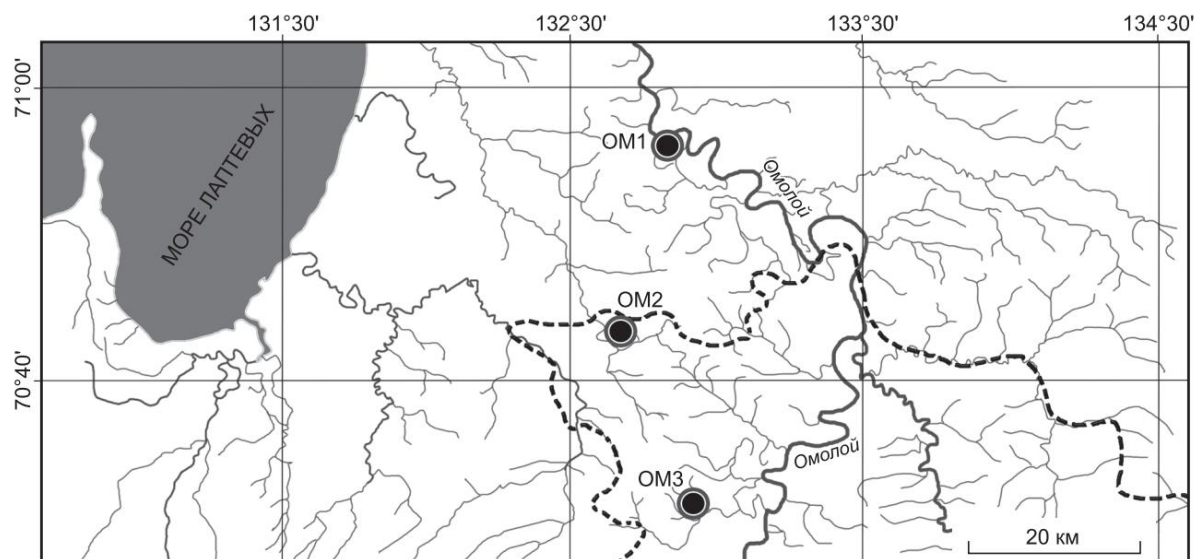


Рис. 1. Карта схематического изображения местности на территории бассейна р. Омлой, Усть-Янский улус. Штриховой линией обозначена северная граница леса. OM1, OM2, OM3 – исследования секторов

Рис. 1. Карта схематического изображения района исследований на территории бассейна реки Омлой Усть-Янского улуса. Пунктиром обозначены северная граница леса. Участки исследований: OM1, OM2, OM3

лесной материал живых деревьев лиственницы Каяндера (керы) был построен на трех участках, Расстояние между странами составило около 35 км. Пробные площадки были заложены для типичных участков в дальнейшем обследовании условий, охватывающих территорию от лесотундры до редколесья в зоне тундры (рис. 1).

Подготовка кернов, мерных мерных годовичных колец и крестовой датировки. Данные по методике, общепринятой в дендрохронологии [12]. Статистическая проверка качества датировки выполнены с помощью программы КОФЕША [13, 14]. Для удаления возрастного тренда составились в хронологии индексировались с использованием кривых, описываемых отрицательной экспонентой. В будущем стандартизированные серии усреднены для получения обобщенных хронологий.

С помощью пакета *dplg* в среде статистического С помощью программы *R* [15] были рассчитаны статистические параметры для измерения размеров и изменчивости радиального прироста [16]: средние ширина годовичных колец (ШГК), стандартное отклонение, автокорреляция первого порядка, чувствительность, среднее значение межсерийной соотносительности, популяционный сигнал (EPS) [17–19].

Для анализа климатических факторов был применен расчет коэффициентов корреляции между древесно-кольцевыми хронологиями, средней температурой воздуха и суммарной.

Влияние выбросов на месяцы, начавшиеся с июля месяца по сентябрь текущего года. Анализ проводится за общий период,

для которых имеются качественные древесно-кольцевые хронологии и метеорологические данные (с 1960 по 2013 г.) с метеостанции «Юбилейный». Помимо этого, были рассчитаны коэффициенты корреляции для промежутков.

25 лет с осмелой в один год. Расчет произойдет в пакете *TreeClim* для статистического программного моделирования *R* [20].

Результаты исследования

Основные параметры хронологии по широте годовичных колец приведены в табл. 1. Среднее величина радиального прироста деревьев и его стандартное отклонение на участках OM2 и OM3 примерно в два раза меньше, чем на самом северном участке OM1. Высокое значение среднеквадратического отклонения и диапазона годовичных колец на участке OM1 связано с наличием значительного количества (52 %) молодых деревьев, не достигших возраста 100 лет на уровне отбора дендрохронологических кернов.

Для всех трех участков характерны высокие средние значения коэффициента автокорреляции первого порядка, что свидетельствует о связи радиального прироста текущего года с отклонением колец обращения года. И снова значение автокорреляции наблюдается для юж-

Таблица 1

Статистические параметры рингологий диагональных колец, неиндексированных и индексированных за 1960–2013 гг.

Таблица 1

Статистические параметры рингологий ширины годовых колец (1960–2013)

Параметр	Участок		
	ОМ1	ОМ2	ОМ3
Количество индивидуальных серий, шт.	21	18	16
Длительность рингологий	278	274	498
Среднее ШГК ± среднеквадратичное отклонение, мм	0,555±0,301	0,270±0,199	0,214±0,151
Автокорреляция первого порядка	0,610	0,663	0,726
Средний коэффициент чувствительности, 1960–2013 гг.	0,456	0,562	0,578
Rбар, 1960–2013 гг.	0,324	0,425	0,335
EPS, 1960–2013 гг.	0,905	0,926	0,883

Примечание. Rбар – средний межсерийный коэффициент, EPS – выраженный популяционный сигнал.

Примечание. Rбар – средние коэффициенты корреляции, EPS – выраженный популяционный сигнал.

ног участка ОМ3, а наименьшее – для северного участка ОМ1. Таким образом, измените это значение Дендрохронологической характеристики уменьшится с севера на юг.

Все соответствующие временные серии радиального прироста характеризуются как сильно чувствительные, поскольку средний коэффициент индексированных чувствительностей рингологий для всех поражений за период с 1960 по 2013 г. 0,300. Более высокое значение данного обозначение отмечено на южном участке (ОМ3), а наименьшее значение — на северном (ОМ1).

Такой статистический параметр, как средний межсерийный коэффициент корреляции (Rбар), для индексированных рингологий свидетельствует о том, что радиальный прирост для всех деревьев в пределах ограничивающего региона индентифицирован под влиянием внешнего фактора, общепонятно, как минимум, отдельно участковые.

Популяционный сигнал (EPS) Позволяет охарактеризовать анализируемые рингологии как репрезентативны для каждого из участков, поскольку с их помощью выявлены интенсивность изменений прироста и количества использованного материала оказывается достаточно, чтобы EPS был выше обычного порога 0,850.

Стандартизированные рингологии радиального прироста характеризуются высокими с их корреляцией годовых изменений в пределах ближнего региона (рис. 2). Например,

для всех случаев последовательный длительный период понижения результатов индексирования прироста начиная с 1780-х до расхождения первого показателя XIX в. с изменением стабилизации индексирования до 1830-х гг. В период с 1835 по 1870-е гг. наблюдается несколько различных тенденций в ходе выполнения рингологий: увеличение индексирования длины древесных колец на северном участке (ОМ1) происходит параллельно уменьшению прироста на других участках, после чего в 1880–1890-е годы происходит их обратное снижение. Относительно пик выскожения прироста проблемы на 1940-е гг., после чего отмечается постепенное снижение индексирования ШГК, которые наблюдались до 1970-х гг.

Сравнительный корреляционный рингологический анализ показывает высокую степень согласованности динамики индексирования прироста на всех участках ($p < 0,01$). Наиболее важные значения коэффициентов соответствуют обобщенным рингологиям отмечены последствия происшествий (табл. 2).

Анализ климатических данных м/с «Юбилейный» [21] за вегетационный период 1960–2013 гг. показал выраженный положительный тренд температуры воздуха в июне-августе, который составил 0,5 °C (0,09 °C/десятилетие) (рис. 3).

Результаты дендроклиматического анализа (рис. 4) являют, что радиальный прирост на всех трех участках возникновения коррелирует с температурой воздуха в июне (от $r = 0,390$ (ОМ1) до $r = 0,618$ (ОМ3) при $p < 0,05$). Положительная связь с температурой воздуха в июле наблюдается только на северном участке ОМ1 ($r = 0,391$

А. И. Колмогоров и др. Дендроклиматические исследования лиственницы Каяндера...

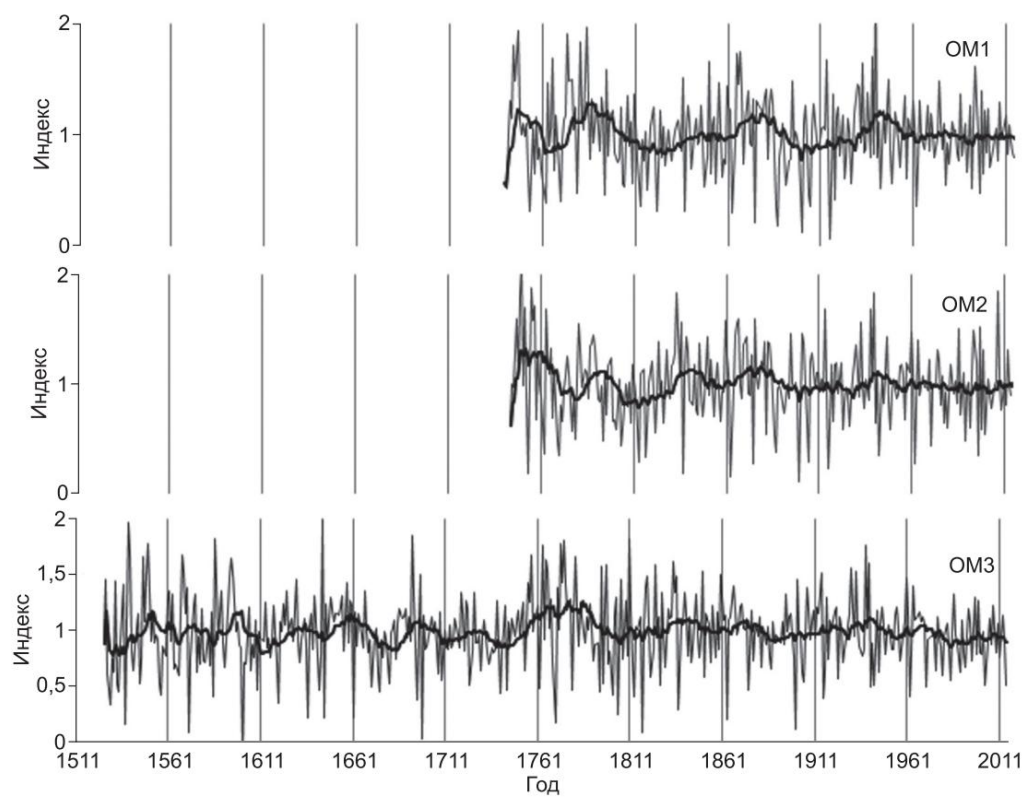


Рис. 2. Стандартизированные обобщенные хронологии по участкам. Линия с указанием скользящего среднего с шагом 15 лет

Рис. 2. Стандартизированные обобщенные хронологии по сайтам. Линия обозначает скользящее среднее с шагом в 15 лет

при $p < 0,05$). Для радиального прироста лиственницы участка OM1 выявлено отрицательное влияние температуры воздуха июля ($r = -0,280$ при $p < 0,05$) и декабря ($r = -0,289$ при $p < 0,05$) предыдущего года. Важное замечание, что такое открытие. Воздействия на радиальные приросты лиственницы не отмечены ни на одном из изученных участков.

Таблица 2

Коэффициент корреляции между
древеснокольцевыми хронологиями с 1960 по 2013 г.

Таблица 2			
Коэффициент корреляции между хронологиями годичных колец (1960–2013)			
	OM1	OM2	OM3
OM1		0,72*	0,50*
OM2			0,67*
OM3			

*Значим при $p < 0,001$.

* Значимо при $p < 0,001$.

Скользящий коэффициент корреляции (рис. 5) показал, что климатический отклик радиального прироста температуры воздуха вегетационный период меняется во времени. Для северного участка (OM1) наблюдается постепенное уменьшение связи с температурой воздуха июля июля до незначимой после периода 1977–2000 гг. Влияние температуры июля в промежутке 1967–1990 гг. становится более значимыми и приводит к концу изучаемого периода (коэффициент корреляции меняется от $r = 0,393$ до $r = 0,45$ при $p < 0,05$). На втором участке OM2 влияние на темпы июля в начале изучаемого периода. перенос с $r = 0,438$ за 1961–1985 гг. делать $r = 0,268$ ($p < 0,05$) за 1964–1987 гг. Возрастание. Изменение температуры июля для прироста лиственницы происходит с промежутка 1968–1991 гг. делать 1989–2013 гг. ($r = 0,261$ до $r = 0,479$ при $p < 0,05$ да). На третьем участке (OM3) наблюдается незначительное с снижение влияния температуры июля с $r = 0,714$ до $r = 0,635$. ($p < 0,05$). Для северного участка OM1 зафиксировано отрицательное влияние ($p < 0,05$). атмосферных выбросов, начиная с июля периода

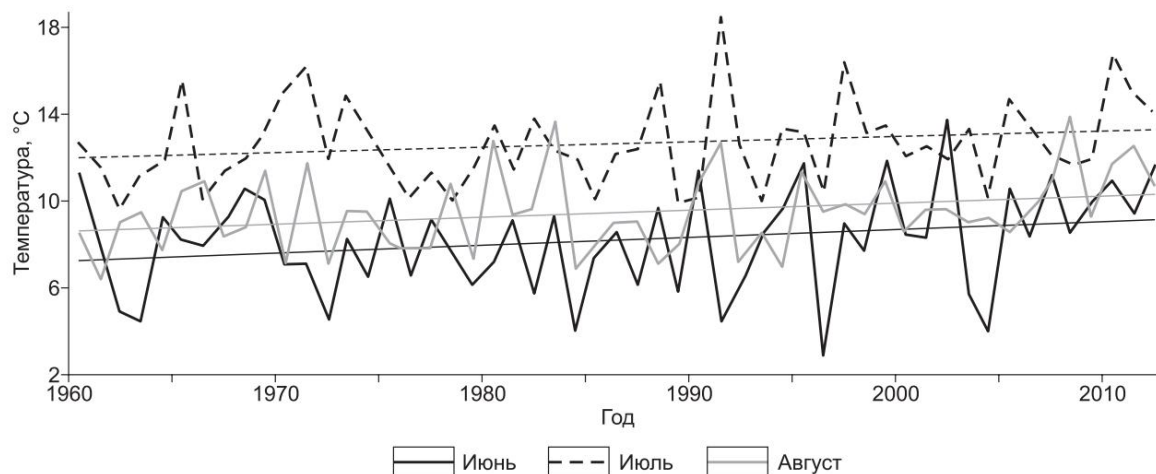
А.И. Колмогоров и др. Дендроклиматические исследования *Larix sibirica* Mayr...

Рис. 3. График температуры воздуха в летний период (июль, июль, август) с линией тренда 1960–2013 гг.

Рис. 3. График температуры воздуха в летний период (июль, июль, август) с линией тренда (1960–2013 гг.)

1987–2010 гг. Такая же, но более сильная реакция количества добавок в июле установлена для деревьев, произрастающих на участке ОМ2. Для южного участка ОМ3 значительные и устойчивые изменения в степени отрицательных последствий радиальный прирост деревьев не обнаружен, хотя и наблюдаются статистически значимые отрицательные коэффициенты соответствия для разных периодов.

Обсуждение

Для деревьев, произрастающих на границе леса, как правило, характерны более низкий радиальный прирост и более высокие значения коэффициента чувствительности [22]. В этом возрасте таких деревьев в среднем выше, чем в более оптимальных условиях [23]. В представленном исследовании возраст увеличивается с севера на юг, достигнутая примерно 500 лет назад южном отделении ОМВ. Средняя ширина годичных колец и ее среднее стандартное отклонение так же имеют обратную разницу по сравнению с ожидаемой, с точки зрения радикального значения прироста переноса с севера на юг. Кроме того, при этом хронологии северного участка (ОМ1) показали более низкий коэффициент чувствительности по сравнению с данными для более южных частей. Полученные результаты для пространственных тенденций прироста и его изменчивости, возможно, тем, что на северном участке присутствует количество молодых деревьев, не достигших 100 лет.

У таких деревьев обычно выражен возраст

тенденция в рядах ШГК, когда для первых десятилетних темпов роста характерны более высокие измерения прироста древесных колец. Наличие такого количества молодых молодых людей на севере участка может быть преодолено за пределами плотности древостоев в связи с потеплением климата, что характерно для различных регионов северной Евразии [24–26]. Еще одним фактором, объясняющим полученный прирост, могут быть особенности аномального места обитания, заложенного в довольно специфических условиях долины р. Омолы, поскольку динамика радиального прироста в таких условиях в пределах мерзлотной зоны не может иметь особенностей на тропику, вызванные специфическим гидротермическим режимом почв [27].

Результаты дендроклиматического анализа рассматриваемых участков указывают на существенное влияние температуры в июне и июле радиальный прирост лиственницы на северном участке и только июня на месте произрастания, работать южнее. Небольшое размещение корреляционных связей на более ранние сроки продвижения на юг находит в полном соответствии с результатами с ранее полученными результатами для других регионов Сибири [28–30] и в связи с более благоприятным термическим режимом на юге Ближнего региона, который устанавливает более ранний срок схода снежного покрова и инициация камбиальной активности [31–34].

Выявленное непостоянство было встречено радикально. Но прирост лиственницы на температуру июня

А. И. Колмогоров и др. Дендроклиматические исследования лиственницы Каяндера...



Рис. 4. Корреляционный анализ радиационного прироста с температурой воздуха (красный) и атмосферными воздействиями (синий). По оси абсцисс обозначены месяцы в формате (-1) и текущий год. Линии указаны значимый предел при $p < 0,05$.

Рис. 4. Анализ корреляции радиального прироста с температурой воздуха (красный) и осадками (синий). По осям абсцисс указано Месяцы предыдущего (-1) и текущего года. Линия указывает на значимый предел при $p < 0,05$

и в июле, с более высоким, связанным с местными изменениями климата. Вероятно, из-за существенного повышения температуры (с м. рис. 3) при стабильно небольшом количестве выпадающих

Эффекты в последних измерениях могут происходить из-за высыхания верхнего слоя земли в отдельные периоды роста сезона [35]. как

корневая система у лиственных и многолетних - мерзлых почвах имеет поверхностный характер [36], что приводит к возрастанию уриколик ов.

факторы в начале сезона роста, наиболее активной и начальной его фазы для формирования годичного прироста [37].

Хронология лис твенни ы Кая ндери с ледовательских участ ков демонстрирует с ог лас ованнос ть изменчивос ти индек сов прирос та и

мог ут быть объедине ния в гене рализированную хронолог ию рег иона. При продлении с рока дейс твия

Эти х хронолог ии иувеличение наполненнос ти образц ами они мог ут быть ис пользованы для реконс трукц ии нижних климатичес ких парамет ров, ус той чиво определя ющих изменчивос ть.

радикальног о прирос та в противоре чия х . Ос обым перс пективным мог бы быть подх од ос нованный на

С соотношения различных парамет ров древес ных колец [38, 39], которые отража ют ос обеннос ти

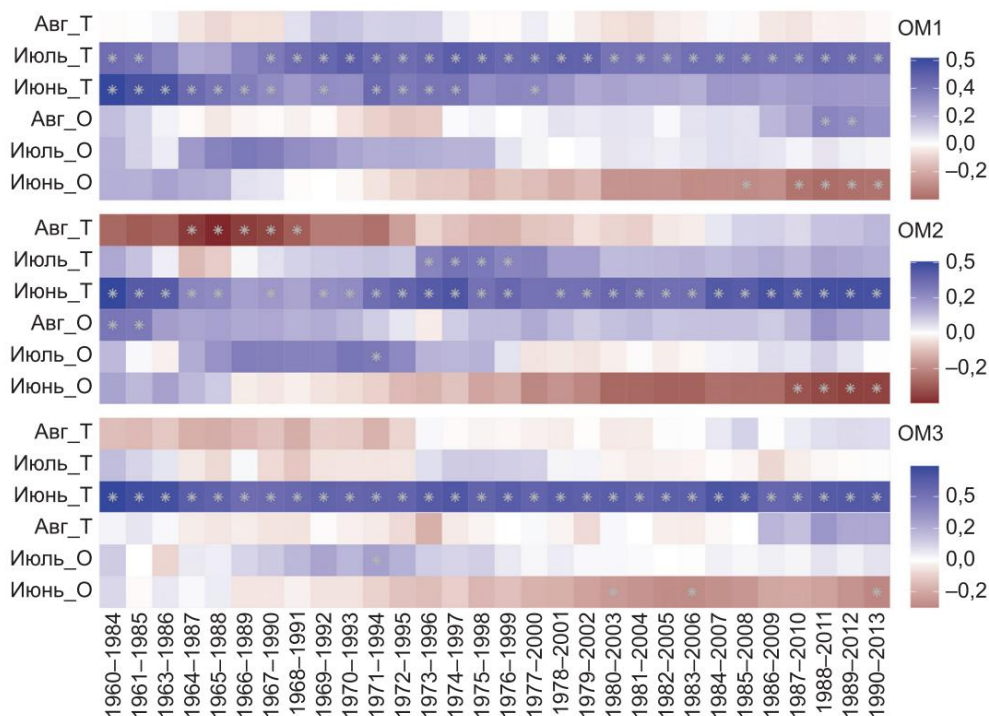
А.И. Колмогоров и др. Дендроклиматические исследования *Larix sibirica* Mayr...

Рис. 5. Скользящий корреляционный анализ радиального прироста с температурой воздуха (Т) и дозой выпадающих дождей (О). Звездочками обозначены коэффициенты, значимые при $p < 0,05$.

Рис. 5. Скользящий корреляционный анализ радиального прироста с температурой воздуха (Т) и количеством осадков (О). Звездочка указывает на коэффициенты, значимые при $p < 0,05$.

ности формы формы прироста и структуры древесных колец в меняющихся условиях окружающей среды.

Заключение

Наше исследование показывает перспективы место проведения дендроклиматических и дендроэкологических исследований на севере Якутии, ориентированное на понимание динамики роста древесных растений для различных мест обитания в условиях меняющегося климата. Необходимо провести исследование расширения их ареалов на границах леса, а также те регионы, где отмечена деградация мерзлоты. Именно такой подход позволит оценить реакцию древесной растительности и динамику отдельных параметров углеродного цикла лесных приэкосистемном потеплении климата.

Список литературы / Ссылки

1. Филд К.Б., Баррос В., Доккен Д. и др. Изменение климата 2014 г. – воздействие, адаптация и уязвимость. Часть В: Региональные аспекты. Кембридж: Cambridge University Press; 2014. 696 с.

2. Лембрехтс Дж. Дж. и др. Глобальные карты температуры почвы. Биологическая глобальная изменчивость. 2022;(28):3110–3144. <https://doi.org/10.1111/gcb.16060>

3. Исачев А.П., Тимофеев П.А. Общая характеристика бореальных лесов // Крайний Север: биоразнообразие растений и экология Якутии. Дордрехт: Springer; 2010; 164–168 с. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-3774-9>

4. Афанасьева К.С., Байков А.А. и др. Определители высших растений Якутии. Товарищество научных изданий КМК. Новосибирск: Наука; 2020. 896 г.

Афанасьева К.С., Байков А.А. и др. Определитель высших растений Якутии. Новосибирск: Наука: КМК; 2020. 896 стр. (на русском языке.)

5. Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазепа В.С. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской субарктике. Новосибирск: Наука; 1996. 246 с.

Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазепа В.С. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской субарктике. Новосибирск: Наука; 1996. 246 с. (на русском языке.)

6. Шиятов С.Г. Темпы изменения верхней границы леса экотон в горах Полярного Урала. Новости СТРАНИЦ. 2003;11(1):8–10. <https://doi.org/10.22498/pages.11.1.8>

7. Эспер Дж., Швайнгерберг Ф.Х. Крупномасштабные изменения линии произрастания деревьев, зафиксированные в Сибири. Geophysical Research Letters. 2004;31(6):L06202 <https://doi.org/10.1029/2003GL019178>

А. И. Колмогоров и др. Дендроклиматические исследования лиственницы Каяндера...

8. Хеллманн Л. и др. Разнообразные тенденции роста и климатические реакции в бореальных лесах Евразии. *Environmental Research Letters*. 2016;(11):074021. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/7/074021>

9. Сидорова О.В., Зигвольф Р.Т., Заурер М. и др. Пространственные закономерности изменения климата на севере Евразии отражены параметрами годичных колец лиственницы сибирской и стабильной изотопы. *Биологические глобальные изменения*. 2010;(16):1003–1018. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02008.x>

10. Наурузбаев М.М., Ваганов Е.А., Сидорова О.В. Изменчивость приземной температуры воздуха на севере Евразии по данным тысячелетних древесных колец еловых хронологий. *Криосфера Земли*. 2003 г.; 7(2):84–91.

Наурузбаев М.М., Ваганов Е.А., Сидорова О.В. Изменчивость приземной температуры воздуха в Северной Евразии по данным тысячелетних древесных колец еловых хронологий // *Криосфера Земли*. 2003;7(2):84091.

11. Бюнтген У., Арсенов Д., Буше Э. и др. Признание предвзятости в реконструкции температуры нашей эры. *Дендрохронология*. 2022;(74):125982. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2022.125982>

12. Шиятов С.Г., Ваганов Е.А., Кирдянов А.В. и др. Методы дендрохронологии. Часть 1. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесных колец еловой информации. Красноярск: Красноярский УИ; 2000. 80 в.

Шиятов С.Г., Ваганов Е.А., Кирдянов А.В. и др. Методы дендрохронологии. Часть 1. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесных колец еловой информации. Красноярск: Красноярский УИ; 2000. 80 с. (На русском языке.)

13. Кук Э.Р., Питерс К. Стандартизация ширины годичных колец внутри леса. Серия дендроклиматических исследований. Бюллетень древесных колец. 1981; (41):45–53.

14. Холмс Р.Л. Программа COFECNA: Версия 3. Тусон: Университет Аризоны; 1992.

15. Основная группа разработчиков R. R: Язык и среда для статистических вычислений. Вена, Австрия: R Фонд статистических вычислений; 2011. <https://R-project.org>

16. Банн А.Г. Библиотека программ дендрохронологии. в R (dplR). *Дендрохронология*. 2008;26(2):115–124. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2008.01.002>

17. Wigley TML, Briffa KR, Jones PD Осредненном значении коррелированных временных рядов с приложениями в дендроклиматологии и гидрометеорологии. *Журнал климата и прикладной метеорологии*. 1984;(23):201–213. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1984\)023<0201:OTAVOC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1984)023<0201:OTAVOC>2.0.CO;2)

18. Шиятов С.Г. Дендрохронология верхних границ леса на Урале. М: Наука 1986. 136 с.

Шиятов С.Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале. М: Наука 1986. 136 с.

19. Кук Э.Р., Кайрхстис Л.А. и др. Методы дендрохронологии. Применение в науках об окружающей среде. Дордрехт, Бостон, Лондон: Kluwer Acad. Изд.; 1996. 394 с.

20. Занг К., Бионди Ф. Treeclim: пакеты R для численной калибровки зависимости прокси-климата. *Экография*. 2015;(38):431–436. <https://doi.org/10.1111/ecog.01335>

21. Специализированные пакеты для климатических исследований [http://aisori-m.meteo.ru]; 2023. Доступно: <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/select.xhtml>.

Специализированные пакеты для исследований климата [http://aisori-m.meteo.ru]; 2023. URL: <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/выберите.xhtml>

22. Фриттс Х.К. Годичные кольца и климат. Лондон, Нью-Йорк, Сан-Франциско: Acad. Press; 1976. 576 с.

23. Бюнтген У., Крушич П.Дж., Пьерматтей А. и др. Ограниченная способность роста деревьев в меняющуюся глобальный парниковый эффект при прогнозируемом потеплении. *Nature Communications*. 2019;(10):2171. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-10174-4>

24. Григорьев А.А., Моисеев П.А., Нагимов З.Я. Измерение изменения климата на динамике с верху границы древесной растительности в горах Приполярного Урала (на примере Саян). *Леса России и их осязательство в них*. 2010;2(36):10–19.

Григорьев А.А., Моисеев П.А., Нагимов З.Я. Влияние изменения климата на динамику верхнего предела древесной растительности в горах Приполярного Урала (на примере Саян). *Леса России и их осязательство в них*. 2010;2(36):10–19.

25. Тимофеев А.С., Выхин С.О., Григорьев А.А., Моисеев П.А. Структура и динамика древесной и кустарниковой растительности на верхнем пределе своего произрастания на плато Путорана. *Леса России и их осязательство в них*. 2021;1(76):23–28.

Тимофеев А.С., Выхин С.О., Григорьев А.А., Моисеев П.А. Структура и динамика древесной и кустарниковой растительности на верхнем пределе их произрастания на плато Путорана. *Леса России и их осязательство в них*. 2021; 1(76):23–28.

26. Кирдянов А.В., Хажедорн Ф., Кнорре А.А. и др. Продвижение границы леса в 20 веке и изменения в растительности вдоль высотного отрезка в горах Путорана, северная Сибирь. *Борея*. 2012;41(1):56–67. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.2011.00214.x>.

27. Кирдянов А.В., Прокушкин А.С., Табакова М.А. Годичный прирост лиственницы Гмелина в условиях контрастных местных условий на севере Средней Сибири. *Дендрохронология*. 2013;31(2):114–119.

28. Ваганов Е.А., Кирдянов А.В. Рост, структура годовой колец двойных пород и изменение климата. В кн.: *Лесные экосистемы Енисейского отрезка*. Плещиков Ф.И. (ред.). Ново-Сибирск: Изд-во Сибирского отделения РАН; 2002:

181–196.

Ваганов Е.А., Кирдянов А.В. Рост, структура годичных колец хвойных деревьев и реконструкция изменений климата. *Лесные экосистемы Енисейского отрезка* Плещиков Ф.И. (ред.). Ново-Сибирск; 2002; 181–196.

А.И. Колмогоров и др. Дендроклиматические исследования *Larix cajanderi* Mayr...

29. Кнорре А.А., Кирдянов А.В., Ваганов Е.А. Климатические обусловленная межодовая изменчивость надземной продукции в лесотундре и северной тайге Центральной Сибири. Экология. 2006;147:86–95. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0248-4>

30. Ваганов Е.А., Кирдянов А.В. Дендрохронология ливневых наводнений, произрастающих на вечной мерзлоте Сибири. Экология вечной мерзлоты. 2010;209:347–363. <https://doi.org/10.1007/978/>

-1-4020-9693-8_18 31. Ваганов Е.А., Хыжик М.К., Кирдянов А.В. и др. Влияние сроков выпадения и таяния снега на рост деревьев в субарктической Евразии. Природа. 1999;400(6740):149–151.

32. Кирдянов А., Хыжик М.К., Ваганов Е.А. и др. Значение температуры начала таяния и даты таяния снега для роста деревьев в Сибирской Субарктике. Деревья. 2003;17:61–69.

33. Ринне К.Т., Заурер М., Кирдянов А.В. и др. Исследование реакции углеродного цикла в Сибирской ливневой на климат с использованием анализа концентрации $\delta^{13}C$, специфичного для определенных соединений. Plant, Cell & Environment. 2015;38(11):2340–2352. <https://doi.org/10.1111/pce.12554>

34. Ринне К.Т., Заурер М., Кирдянов А.В. и др. Связь между изотопными соотношениями углерода в хлорофиле и годовыми кольцами ливневых в Сибири. Tree Physiology. 2015;35(11):1192–1205. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpv096>

35. Андреев К.Г., Лоуренс Д.М., Уилсон К.Дж. и др. Влажность почвы и прогнозы гидрологии региона вечной мерзлоты – взаимное сравнение моделей. Криосфера. 2020;(14):445–459. <https://doi.org/10.5194/tc-14-445-2020>

36. Кадзимото Т., Мацуура Ю.О. и др. Развитие корневой системы деревьев *Larix gmelinii* под воздействием микромасштабных условий вечной мерзлоты в центральной Сибири. Растение и почва. 2003;(255):281–292. <https://doi.org/10.1023/A:1026175718177>

37. Брюханова М.В., Кирдянов А.В., Прокушкин А.С., Силкин П.П. Особенности климата *Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr. в условиях криолитозоны Средней Сибири. Экология. 2013;(5):323–329. <https://doi.org/10.7868/S0367059713050041>

38. Брюханова М.В., Кирдянов А.В., Прокушкин А.С., Силкин П.П. Особенности климата *Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr. в условиях вечной мерзлоты Средней Сибири. Экология. 2013;(5):323–329. (На русск.). <https://doi.org/10.7868/S0367059713050041>

39. Кирдянов А.В., Ваганов Е.А., Хыжик М.К. Разделение климатических осцилляций по ширине годичных колец и максимальной плотности поздней древесины. Деревья. 2007;21(1): 370–44. <https://doi.org/10.1007/s00468-006-0094-y>

40. Сидорова О.В., Заурер М., Мыглан В.С. и др. Многопроксимальный подход для выявления последних климатических изменений на российских Алтае. Динамика климата. 2012;(38): 175–188. <https://doi.org/10.1007/s00382-010-0989-6>

Об авторах

КОЛМОГОРОВ Алексей Иванович, научный сотрудник Северо-Восточного федерального университета; младший научный сотрудник, Сибирский федеральный университет, <https://orcid.org/0000-0002-3688-7753>, Scopus Author ID: 1032714, e-mail: ai.kolmogorov@s-vfu.ru КРУЗЕ Штефан, доктор биологических наук,

исследователь, <https://orcid.org/0000-0003-1107-1958>, e-mail: Stefan.Kruse@awi.de НИКОЛАЕВ Анатолий Николаевич, доктор биологических наук, ректор,

Scopus Author ID:155715, e-mail: rector@s-vfu.ru КИРДЯНОВ Александр Викторович, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Ин-

ститут лесов им. В.Н. Сукачёва СО РАН; старший научный сотрудник Сибирского федерального университета, <https://orcid.org/0000-0002-6797-4964>, e-mail: kirdyanov@ksc.krasn.ru ПЕСТРЯКОВА Людмила Агфеевна, доктор региональных наук, главный научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0001-5347-4478>, идентификатор

автора Scopus: 616182, электронная почта: lapest@mail.ru

Об авторах

КОЛМОГОРОВ Алексей Иванович, научный сотрудник Института естественных наук Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова; младший научный сотрудник Сибирского федерального университета, <https://orcid.org/0000-0002-3688-7753>, Scopus Author ID:1032714, e-mail: ai.kolmogorov@s-

vfu.ru КРУЗЕ Штефан, доктор биологических наук, научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0003-1107-1958>, e-mail: Штефан. Kruse@awi.de

НИКОЛАЕВ Анатолий Николаевич, д.б.н., ректор, Scopus Author ID: 155715, e-mail: rector@s-vfu.ru

А. И. Колмогоров и др. Дендроклиматические исследования лиственницы Каяндера...

КИРДЬЯНОВ Александр Викторович, д.б.н., ведущий научный сотрудник, Институт леса им. И.Н. Сукачева СО РАН; старший научный сотрудник, Сибирский федеральный университет, <https://orcid.org/0000-0002-6797-4964>, e-

mail: kirdyanov@ksc.krasn.ru ПЕСТРЯКОВА Людмила Агафьевна, д.г.н., главный научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0001-5347-4478>, Scopus Author ID: 616182, e-mail: lapest@mail.ru

Поступила в редакцию/ Поступила 24.10.2023

Поступила после рецензирования / Доработана 08.11.2023

Принята к публикации / Принята 10.11.2023