ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ, 2015, № 4, с. 70–79

ЭВОЛЮЦИЯ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ

УДК 630*187:582.475:551.583.4(234.851)

КЛИМАТИЧЕСКИЙ СИГНАЛ В ДРЕВЕСНО-КОЛЬЦЕВЫХ ХРОНОЛОГИЯХ ЛИСТВЕННИЦЫ НА ЗАПАДНОМ МАКРОСКЛОНЕ ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА[1]

© 2015 г. А.В. Манов, С.В. Загирова

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН Сыктывкар, Россия; manov@ib.komisc.ru, zagirova@ib.komisc.ru

Поступила в редакцию 05.09.2014 г.

Работа направлена на выявление закономерностей климатически обусловленного колебания древесно-кольцевых хронологий деревьев лиственницы, произрастающей на западном макросклоне Приполярного Урала. Изучение древесно-кольцевых хронологий с применением стандартных дендроклиматических подходов позволило обнаружить реакцию лиственницы на динамику климата. На верхней границе леса отмечается высокая синхронность радиального прироста лиственницы из разных условий местообитания, что свидетельствует о сходстве факторов, влияющих на рост деревьев. Анализ дендрохронологического материала показал, что многолетняя изменчивость индексов прироста лимитирована теплообеспеченностью в период вегетации. Осадки оказывают слабое влияние на изменчивость ширины годичных колец изучаемой породы. Климатический сигнал в древесно-кольцевых хронологиях на исследуемых участках преимущественно обусловлен температурными колебаниями в июне–июле и усиливается во второй декаде июня, что отражает локальную изменчивость климата в пределах западного макросклона Приполярного Урала. С помощью реконструкции колебания летних температур выявлены региональные изменения климата за последние два столетия. Отмечаются периоды похолодания в начале XIX в. и в конце XIX – начале XX в., а также периоды потепления в середине XIX в. и с 20-х гг. XX в. по наши дни.

***Ключевые слова*:** дендроклиматология, Приполярный Урал, верхняя граница леса, лиственница, радиальный прирост, температура воздуха, осадки, вегетационный период, функция отклика, реконструкция климата.

В настоящее время уделяется большое внимание изучению динамики лесов под влиянием изменения климата. Известно, что в экстремальных условиях реакция лесных экосистем на климатические факторы более четко выражена [2, 16]. Однако, метеорологическая ситуация, даже в пределах однородной климатической области, может быть весьма разнообразной. Так, Ю.В. Шалаумовой с соавт. [14] для второй половины двадцатого столетия установлен градиент повышения температуры воздуха и осадков в северо-восточном направлении в пределах Уральской горной системы. Можно ожидать, что древесные породы в разных географических точках Урала могут по-разному реагировать на изменения климата. На Приполярном Урале дендрохронологические исследования активно проводятся на восточном макросклоне [15, 17, 18]. Установлено, что основным фактором, ограничивающим рост лиственницы в условиях холодного и влажного климата, является, прежде всего, недостаток тепла в летние месяцы.

Настоящая работа направлена на выявление закономерностей климатически обусловленного колебания древесно-кольцевых хронологий лиственницы, произрастающей на западном макросклоне Приполярного Урала.

Объекты и методы. Район исследований относится к территории Уральской горной страны в пределах Западно-Приполярноуральской природной провинции [13]. Это наиболее высокая часть горной системы Урала, которая характеризуется развитым среднегорным рельефом с альпийскими формами и ледниками. Климат района холодный и влажный с неустойчивой погодой, что обуслов-

[1] Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН “Живая природа” (проект № 12-П-4-1018).

лено воздействием воздушных арктических масс [8].

По данным ближайшей к объектам исследования метеостанции “Кожим-Рудник” среднегодовая температура воздуха составляет –3.5 °С, средняя температура января –18.5 °С. Положительные значения среднемесячных температур отмечены с мая (+2.1 °С) по сентябрь (+5.7 °С). Самый теплый месяц летнего периода – июль (+13.5 °С). Вегетационный период в районе длится 111 дней, с 28 мая по 17 сентября. Сумма эффективных температур (выше +5 °С) равна 1105°. Активная вегетация продолжительностью 78 дней приходится на 15 июня – 24 августа. Сумма активных температур (выше +10 °С) равна 776°. Безморозный период длится с 17 июня по 28 августа. Снежный покров появляется с 1 октября и лежит в равнинной части 214 дней и более в горной. Баланс влаги в районе положительный. Средняя сумма осадков за год составляет 589 мм. В летний период выпадает около трети годовых осадков. В зимний период господствуют ветры юго-восточного направления, в летние – северные [9–11].

Лиственница (р. *Larix* Mill) на Урале способна произрастать в пессимальных условиях, в подгольцовом и горно-лесном поясах растительности [3]. В горах Приполярного Урала, по [7], коренные зеленомошные лиственничники развиваются на каменистых почвах, травянистые лиственничники – на почвах маломощных дерново-скрытоподзолистых суглинистых со щебнем горных пород.

Изученные нами лиственничники находятся на трех дендроклиматических участках, имеющих названия соседних географических объектов (рис. 1).

Участок “Водэты” (65°25′ с.ш., 60°50′ в.д.) расположен на водосборных площадях озера Водэты. Рельеф района представляет долину, с запада и востока ограниченную возвышениями с отметками максимальных высот 434 и 552 м над у. м., соответственно. Поясность растительности на восточном склоне возвышенности представлена горными лиственничниками предлесотундрового типа, на западном склоне – переходами от горных лиственничных лесов предлесотундрового типа к подгольцовым лиственничным редколесьям.

На северо-восточном склоне безымянной высоты 434 м в пределах горно-лесного пояса отбор материала проводили в лиственничнике кустарничково-зеленомошном на высоте 410 м над у. м. Древостой сложный по составу (6Лц4Е), разновозрастный (70–220 лет) и разновысотный (5–16 м), с полнотой – 19.3 м^2 га$^{-1}$. Средняя высота деревьев лиственницы составляет 12 м,

Рис. 1. Карта района исследований.
1 – метеостанции, 2 – участки исследования.

средний ее диаметр – 20 см. Подрост крупный, образован елью (р. *Picea* A. Dietr.). Количество жизнеспособного подроста – 326 экз. га$^{-1}$. В подлеске отмечена береза карликовая, жимолость, можжевельник и шиповник. Под пологом древостоя проективное покрытие растений не превышает 40%. Здесь в травяно-кустарничковом ярусе господствуют кустарнички, среди них наиболее обильны черника и голубика. Моховой покров хорошо развит, суммарное проективное покрытие – около 80%. В нем господствуют зеленые мхи. Тип условия местообитания – свежий.

На северо-западном склоне безымянной высоты 552 м материал отбирали в горно-лесном поясе в лиственничнике разнотравно-зеленомошном на высоте 510 м над у. м. Древесный ярус состоит из лиственницы и ели (состав 5Лц5Е). Древостой разновозрастный (60–110 лет), разновысотный (5–13 м) с полнотой 14.7 м^2 га$^{-1}$. Средняя высота деревьев лиственницы – 12 м, средний ее диаметр – 22 см. Подрост преимущественно еловый крупной категории. Количество его невелико – 158 экз. га$^{-1}$. На открытых участках, между далеко стоящими друг от друга деревьями, отмечены куртины березы карликовой высотой 0.9–1.3 м. Под пологом древостоя отмечены жимолость, можжевельник и ива. Напочвенный покров мозаичный. Травяно-кустарничковый ярус довольно хорошо выражен, его общее проективное покрытие составляет

60%. Явного доминанта в этом ярусе нет. Высоким обилием и постоянством характеризуются щучка дернистая, осока буроватая, золотарник обыкновенный и горец змеиный. В напочвенном покрове господствуют зеленые мхи. Тип условия местообитания – свежий.

Отбор материала проводили также на этом склоне на высоте 530 м над у. м. в подгольцовом поясе в кустарничково-зеленомошном лиственничном редколесье. В чистом по составу редколесье средняя высота деревьев составляет 6 м, средний диаметр – 10 см, возраст достигает 140 лет. Встречаются куртины низкорослой ивы и березы карликовой. В травяно-кустарничковом ярусе с проективным покрытием 40% доминирует голубика. Проективное покрытие мохового яруса – 100%, в нем преобладают зеленые мхи. Тип условия местообитания – сухой.

Участок "Яптикнырд" (65°25′ с.ш., 60°18′ в.д.) расположен на северном склоне хребта с одноименным названием. Поясность растительности в районе исследования представлена переходами от горных лиственничных лесов предлесотундрового типа к подгольцовым лиственничным редколесьям.

В горно-лесном поясе отбор материала проводили в чернично-зеленомошном редколесном лиственничнике на высоте 510 м над у. м. Редколесье представлено отдельно стоящими крупными деревьями лиственницы. Средняя их высота 14 м, средний диаметр – 26 см. Единично встречается подрост ели средней категории крупности. Встречается береза карликовая и можжевельник. В травяно-кустарничковом ярусе с проективным покрытием 60% доминирует черника. Проективное покрытие мохового яруса – 100%, в нем преобладают зеленые мхи. Тип условия местообитания – свежий.

Также материал отбирался в подгольцовом поясе кустарничково-зеленомошного лиственничного редколесья на высоте 580 м над у. м. Редколесье чистое по составу. Средняя высота деревьев 7 м, средний диаметр – 14 см, возраст – до 190 лет. Встречаются куртины можжевельника высотой до 1 м. В травяно-кустарничковом ярусе с проективным покрытием 50% доминируют голубика и водяника. Отмечен сплошной моховой покров с преобладанием зеленых мхов. Тип условия местообитания – сухой.

Участок "Межгорные озера" (65°16′ с.ш., 59°39′ в.д.) расположен на юго-западном склоне хребта Западные Саледы в километре от системы озер. Исследования проводились в подгольцовом поясе в разнотравном лиственничном редколесье на высоте 600 м над у. м. Состав редколесья 10Лц. Средняя высота деревьев – 5 м, средний диаметр – 8 м, возраст – до 230 лет. Из древесных растений встречаются также рябина и низкорослая форма березы. Травяно-кустарничковый ярус хорошо развит, общее проективное покрытие его составляет более 50%, высота растений – до 30 см. В его составе встречается с высоким обилием луговик извилистый, горец змеиный и золотарник обыкновенный. Моховой ярус неоднородный, местами выражен слабо, его общее проективное покрытие составляет 50–70%. Тип условия местообитания – проточно и обильно увлажненный.

Участки исследования подбирали на территориях, не подвергнутых действию пожаров и антропогенных факторов. Образцы древесины (керны) для дендроклиматического анализа отбирали с деревьев лиственницы разного возраста. Деревья для бурения кернов подбирали в редколесьях на участках их наибольшего скопления, в древостоях – в пределах пробных площадей. Для получения максимального количества годичных колец керны брали на высоте 0.2–0.3 м от шейки корня по одному, чаще, двум радиусам без учета направления сторон света. У деревьев со сложной формой прикомлевой части ствола (звездчатой или лопастной) керны брали на высоте 1.3 м от шейки корня.

Сбор и подготовку кернов к датированию проводили по методикам, принятым в дендрохронологии [2, 4, 12, 16, 24]. При подготовке засмоленных образцов древесины к измерениям нами использовался ручной бытовой отпариватель для одежды. Под действием пара смола хорошо размягчалась, что облегчало зачистку образцов лезвием. Границы годичных колец проявляли путем втирания зубного порошка в зачищенную поверхность керна. Ширину годичных колец с точностью 0.01 мм измеряли на полуавтоматическом приборе LINTAB™. В компьютерной программе TSAP™ методом перекрестной датировки (Cross-Dating) определяли календарный год каждого кольца [28]. Точность перекрестной датировки проверяли с помощью кросскорреляционного анализа в специализированной компьютерной программе COFECHA [26].

Стандартизацию (расчет индексов прироста) временных рядов проводили методом кубического сглаживающего сплайна с окном две трети длины ряда в программном пакете dplR из среды программирования R [23]. Такой способ позволяет избежать влияния возрастных изменений на радиальный прирост. Ввиду высокой инертности (автокорреляции) ширины годичных колец, индивидуальные ряды индексов прироста были "вы-

белены" с использованием модели авторегрессии. Полученные остаточные (выбеленные) индексы прироста были усреднены методом взвешенного среднего Тьюки, в результате чего были получены обобщенные хронологии для отдельных участков.

Качество дендрохронологического материала оценивали в пакете dplR по следующим показателям: коэффициент корреляции Пирсона, стандартное отклонение, асимметрия, средний коэффициент чувствительности, автокорреляция первого порядка и общий популяционный сигнал хронологии EPS (expressed population signal). За пороговую величину EPS принято значение 0.85, при которой общая дисперсия ниже этого порога указывает на недопустимое количество шума в хронологиях [25].

Влияние климата на радиальный прирост лиственницы оценивали по показателям функции отклика, полученным при помощи бутстреп-метода (bootstrap) в программном пакете bootRes из среды программирования R [28]. Данный подход основан на получении значений коэффициентов множественной линейной регрессии для климатических переменных отдельных месяцев и оценку их доверительных интервалов.

Выявление ключевых интервалов климатического сигнала, определяющих общую реакцию ширины годичных колец лиственницы на изменения погодных условий, проводили согласно методу, предложенному в [1]. Для анализа была рассчитана корреляция индексов прироста с показателями средней температуры воздуха и суммы осадков в 20-дневном "плавающем" окне, сдвинутом на 5 дней вперед. Выбор 20 дней заключается в длительном промежутке времени для возможности фиксирования климатических изменений годичными кольцами. Рассматривается период со 121 по 240 день, в течение которого возможны максимальные реакции ширины годичных колец на изменения климата.

Реконструкцию температурных условий изучаемого района проводили на основе анализа взаимосвязи между средней температурой воздуха июня–июля, выбранной в качестве зависимой переменной и генерализованной хронологией (обобщенной древесно-кольцевой хронологией по трем участкам) используя простую модель линейной регрессии. При подборе регрессионного уравнения использовалась стандартная в дендроклиматологии процедура калибровки и верификации модели с разбиением пополам общего калибровочного периода [25]. Достоверность модели реконструкции определялась по коэффициенту корреляции Пирсона, критерию Фишера, коэффициенту детерминации, критерию знаков, RE-статистики (Reduction of error) и критерию Дарбина-Уотсона.

Для сопоставления древесно-кольцевых хронологий с погодными условиями в работе был использован архив инструментальных метеоданных с суточным ходом температуры воздуха и атмосферных осадков по метеостанции "Печора", ведущей непрерывные наблюдения с 1944 г. (www.meteo.ru/data). Данная станция находится в 120–180 км западнее района исследования (рис. 1). Ближе всего расположена метеостанция "Кожим-Рудник" (на расстоянии 45–65 км), однако ряд метеонаблюдений у нее короткий и прерывистый (1965–1972 и 1995–2004 гг.). Анализ имеющихся инструментальных наблюдений за климатом по ключевым метеостанциям показал очень высокую согласованность многолетних среднегодовых температур воздуха (r = 0.99) и высокую – для сумм годовых осадков (r = 0.84).

Результаты и их обсуждение. Показатели качественной оценки полученного дендрохронологического материала приведены в табл. 1. Высокий межсерийный коэффициент корреляции (0.68–0.73 для стандартных хронологий и 0.76–0.80 для остаточных), указывает на хорошую согласованность радиального прироста лиственницы, как в пределах отдельных участков, так и между участками. Не менее значимы показатели изменчивости радиального прироста лиственницы. Так, на отдельных участках стандартное отклонение составляет 0.50–0.61 для стандартных хронологий и 0.41–0.45 для остаточных, асимметрия – 0.60–0.82 и 0.24–0.59 соответственно. Это позволило объединить индивидуальные древесно-кольцевые хронологии участков в генерализованную хронологию для верхней границы леса западной части Приполярного Урала. Полученные индивидуальные серии хронологий можно считать чувствительными к внешним факторам среды, так как их средний коэффициент чувствительности превышает пороговую величину 0.3 [15]. Отмечается высокое значение автокорреляции первого порядка (в среднем – 0.59), что свидетельствует о связи климатических условий прошлых лет с текущим годичным приростом лиственницы. Согласно расчетам EPS, генерализованная хронология имеет достаточную обеспеченность дендрохронологическими данными за период 1804–2012 гг. В целом, статистические показатели указывают на достоверность построенных дендрохронологических рядов и на значительное влияние абиотических факторов на радиальный прирост лиственницы.

Таблица 1. Статистические показатели обобщенных древесно-кольцевых хронологий

Хронология	*N*	*r*	*SD*	*Skew*	*Sens*	*Ar*1	*EPS* > 0.85
Водэты	39	0.72	0.61	0.82	0.39	0.68	1804–2012
		0.76	0.41	0.59	0.50	0	
Яптикнырд	19	0.73	0.55	0.73	0.44	0.52	1848–2011
		0.80	0.45	0.44	0.53	–0.02	
Межгорные озера	23	0.68	0.50	0.60	0.41	0.49	1833–2011
		0.76	0.41	0.24	0.50	–0.01	
Генерализованная хронология	81	0.64	0.56	0.74	0.41	0.59	1804–2012
		0.72	0.42	0.46	0.51	–0.01	

Примечание. N – число деревьев в хронологии; *r* – межсерийный коэффициент корреляции; *SD* – стандартное отклонение; *Skew* – асимметрия; *Sens* – коэффициент чувствительности; *Ar*1 – автокорреляция первого порядка; *EPS* – общий популяционный сигнал хронологии. В числителе представлены расчеты по стандартным древесно-кольцевым хронологиям, в знаменателе – по остаточным.

Несмотря на разные типы условий местообитания лиственницы в трех точках отбора образцов, представленные на едином графике остаточные древесно-кольцевые хронологии показывают синхронную погодичную динамику радиального прироста стволовой древесины (рис. 2). Наглядно отмечаются схожие периоды аномального прироста годичных колец, доказывающие наличие в хронологиях общего для всего района исследования климатического сигнала.

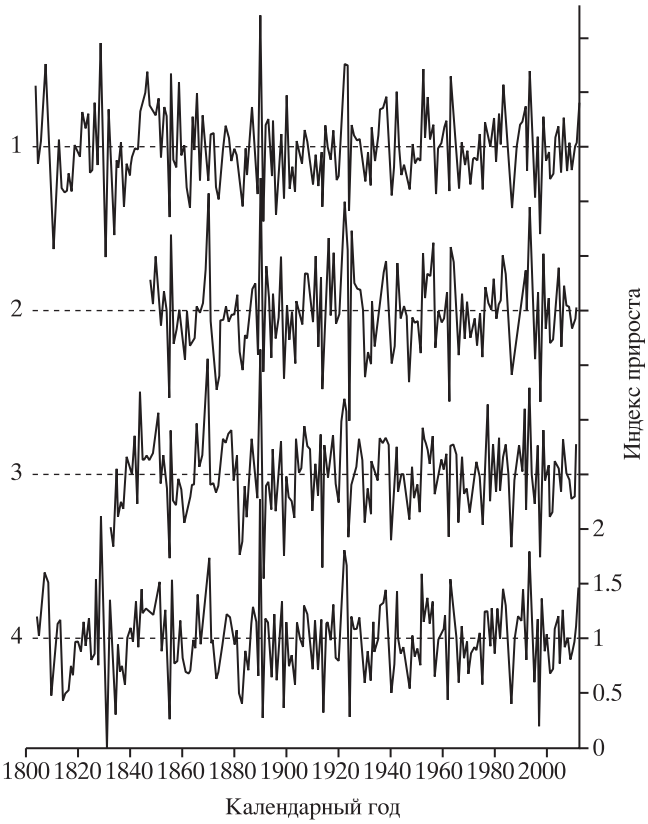

Рис. 2. Синхронная динамика индексированного радиального прироста лиственницы.
1 – “Водэты”, *2* – “Яптикнырд”, *3* – “Межгорные озера”, *4* – генерализованная хронология.

Степень воздействия температуры воздуха и осадков за вегетационный период (май–сентябрь) на радиальный прирост деревьев лиственницы в условиях верхней границы леса представлена на рис. 3. У всех хронологий отмечается значимая положительная связь ширины годичных колец с температурными условиями июня (r = 0.29–0.47) и июля (r = 0.27–0.35), в сентябре данная связь становятся отрицательной (r = –0.18–(–0.23)). Майские и августовские температуры показывают самую низкую связь с приростом (рис. 3А).

В течение рассматриваемого календарного периода хронологии всех участков слабо соотносятся с количеством месячных осадков (рис. 3Б). Так, наиболее высокая отрицательная связь с осадками зафиксирована в мае (r = –0.06–(–0.19)), положительная – в августе (r = 0.07–0.22). В остальные месяцы эта связь слабо выражена.

Ключевые интервалы климатического сигнала в ширине годичных колец лиственницы с разных мест произрастания представлены на рис. 4. Выявлены периоды, имеющие статистически значимые положительные связи между средней многолетней температурой воздуха и остаточными древесно-кольцевыми хронологиями на участках: “Водэты” – с 26 мая по 15 июля, “Яптикнырд” – с 31 мая по 15 июля, “Межгорные озера” – с 16 мая по 20 июля (рис. 4А). Разные сроки начала активного реагирования радиального прироста лиственницы на температуру можно связать с экспозицией изучаемых участков. Так, реакция деревьев на тепло начинает раньше проявляется на “Межгорных озерах”, где лиственница произрастает на хорошо прогреваемом солнцем юго-западном склоне хребта Западные Саледы. Позже всех она начинает проявляться на северном скло-

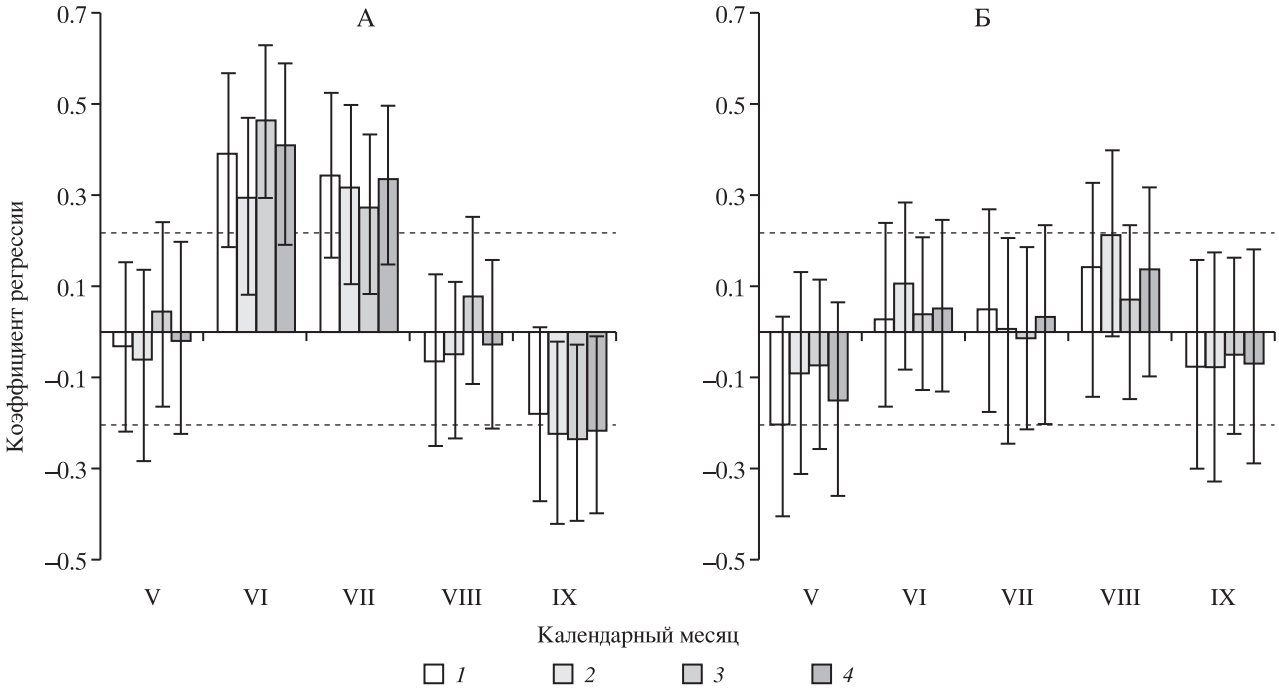

Рис. 3. Климатические функции отклика индексов прироста лиственницы (коэффициенты регрессии) на среднемесячные температуры воздуха (А) и суммы месячных осадков (Б).
1 – "Водэты", *2* – "Яптикнырд", *3* – "Межгорные озера", *4* – генерализованная хронология. Пунктирные линии указывают на уровень значимости при $p < 0.05$, вертикальные линии представляют собой 95%-ный доверительный интервал.

не хр. Яптикнырд, куда попадает рассеянный солнечный свет, что приводит к запаздыванию схода снежного покрова и, как следствие, к сокращению вегетационного периода. Среднемноголетняя температура воздуха, переход через которую знаменуется положительной достоверной связью с радиальным приростом лиственницы, для участка "Водэты" составляет +8 °С, "Яптикнырд" – +10°, "Межгорные озера" – +5 °С. Несмотря на сдвинутые относительно друг друга сроки реагирования радиального прироста лиственницы на температурные условия окружающей среды в исследованных участках, во всех случаях лучший температурный сигнал приурочен ко второй декаде июня. В августе, при еще достаточной для роста лиственницы температуре воздуха, реакция ширины годичных колец на тепло не проявляется.

Значимая связь между среднемноголетними осадками вегетационного периода и хронологиями всех участков практически отсутствует (рис. 4Б). При этом ширина годичных колец лиственницы с разных мест произрастания синхронно проявляет сигнал на количество осадков. Так, отрицательная реакция радиального прироста на осадки лучше всего выражена во второй половине мая, когда наблюдается избыточное увлажнение исследованной территории после схода снежного покрова, а положительная реакция приурочена к периоду максимального воздействия температуры на прирост во второй декаде июня.

На основе проведенного анализа можно сделать вывод о том, что древесно-кольцевые хронологии лиственницы содержат сильный климатический сигнал температуры воздуха июня–июля. Это дает возможность провести статистическую реконструкцию хода летних температур для Западно-Приполярноуральской природной провинции в период активной фазы роста деревьев и за длительный срок. Для этого была построена линейная регрессионная модель, которая связывает усредненную температуру июня–июля с генерализованной хронологией: $Y = 3.82 \times X + 9.89$.

Как видно из рис. 5, реконструкция довольно близка к инструментальной амплитуде колебаний, она хорошо отображает погодичные колебания летней температуры. В табл. 2 приведены статистические показатели, характеризующие процесс реконструкции летних температур для периода инструментальных наблюдений по метеостанции Печора. Выявлена значимая связь ($r = 0.61$; $R^2 = 0.37$; $F = 39.4$) между расчетными и фактическими данными средней температуры воздуха июня–июля за весь период инструментальных метеонаблюдений (1944–2012 гг.). Для периода калибровки 1944–1978 гг. эта связь составила

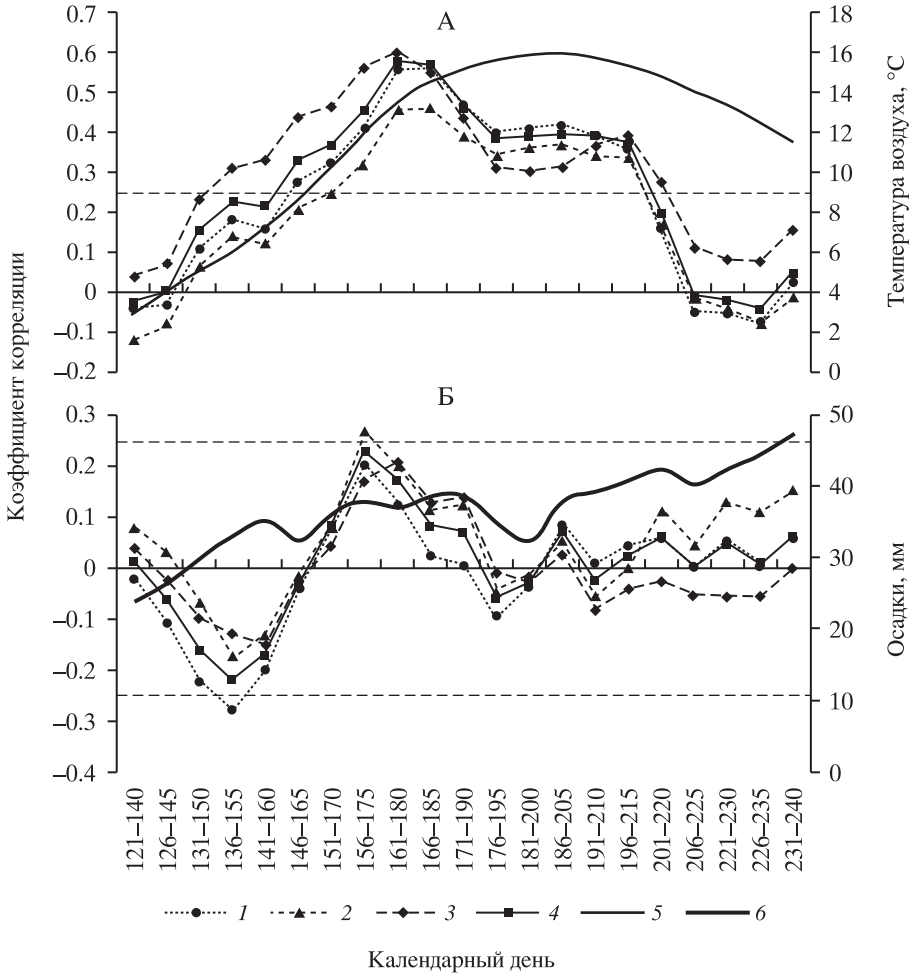

Рис. 4. Корреляция индексов прироста лиственницы со средней температурой воздуха (А) и суммой осадков (Б) в “плавающем” окне шириной 20 дней.
1 – “Водэты”, *2* – “Яптикнырд”, *3* – “Межгорные озера”, *4* – генерализованная хронология, *5* – среднемноголетние температуры воздуха, *6* – среднемноголетние осадки. Горизонтальные пунктирные линии указывают на уровень значимости при $p < 0.05$.

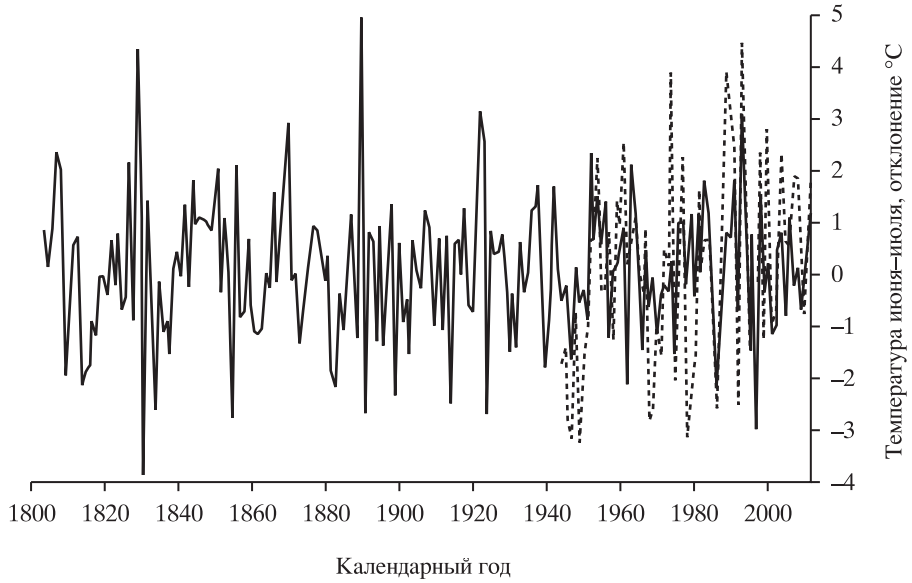

Рис. 5. Ряд реконструированных (сплошная линия) и инструментальных (пунктирная линия) данных средней температуры воздуха июня–июля в отклонениях от среднемноголетней нормы.

Таблица 2. Статистические характеристики регрессионной модели, используемой для реконструкции средних летних температур воздуха (июнь–июль) для метеостанции Печора

Калибровка				Верификация					
период, годы	r	R^2	F	период, годы	r	R^2	ST	RE	DW
1944–2012	0.61	0.37	39.4	–	–	–	–	–	–
1944–1978	0.52	0.27	12.1	1978–2012	0.67	0.45	$28^+/7^-$	0.43	1.2
1978–2012	0.67	0.45	26.6	1944–1978	0.52	0.27	$28^+/7^-$	0.23	1.7

Примечание. r – коэффициент корреляции; R^2 – коэффициент детерминации; F – критерий Фишера; ST – критерий знаков; RE – RE-статистика; DW – критерий Дарбина–Уотсона.

$r = 0.52$; $R^2 = 0.27$; $F = 12.1$. Самая высокая связь представлена для периода 1978–2012 гг. – $r = 0.67$; $R^2 = 0.45$; $F = 26.6$.

Статистическая оценка качества модели показывает высокую надежность реконструкции. Критерий знаков (ST), который подсчитывает количество одно- и разнонаправленных изменений между реконструированными и инструментальными данными свидетельствует о надежности реконструкции (однонаправленные колебания составляют 80%). Показатель RE-статистики для отдельных периодов имеет положительные значения (0.23–0.43), что свидетельствует о прогностической способности регрессионной модели. Значения критерия Дарбина–Уотсона по периодам изменяются от 1.2 до 1.7, что указывает на незначительную автокорреляцию в остатках регрессионной модели. Все эти данные позволили создать надежное регрессионное уравнение для реконструкции средней температуры воздуха июня–июля по древесно-кольцевой хронологии за 208-летний период для района исследования.

Полученная нами реконструкция расширила ряд средних температур июня–июля, что позволило оценить местные холодные и теплые летние сезоны, начиная с 1804 г. На графике видно (рис. 3), что за двухвековой период происходили заметные климатические изменения на исследуемой территории. Начало XIX в. (в 1800-х и 1820-х гг.) характеризовалось кратковременными потеплениями в летний период. Резкое повышение летней температуры отмечали в середине XIX в. Более прохладное лето выявлено в конце XIX – начале XX в. С 20-х гг. XX столетия до наших дней сохраняется температура выше среднемноголетней нормы, однако кратковременные похолодания наблюдали в 1940-х и 1970-х гг. В целом, данная реконструкция отражает все крупные климатические события за последние два века, происходившие в северных полярных широтах [22]. Она затрагивает конец малого ледникового периода (начало XIX в.) и современное потепление климата (XX в. – наши дни).

Результаты исследований показали, что ведущим климатическим фактором, определяющим темпы радиального прироста стволовой древесины лиственницы в пессимальных условиях верхней границы леса на западном макросклоне Приполярного Урала является температура воздуха июня и июля. Это согласуется с опубликованными данными [15, 18], характеризующими изменчивость радиального прироста лиственницы в высокогорьях на восточном макросклоне Приполярного Урала. Однако следует отметить, что в западной провинции Приполярного Урала вклад июньской температуры в радиальный прирост чуть выше июльской, в отличие от восточной провинции, где они равнозначны.

Реакция радиального прироста лиственницы на количество выпавших летом атмосферных осадков в пределах Приполярного Урала неоднозначная. Согласно [18], в восточной части возрастающее количество осадков в июне отрицательно влияет на прирост лиственницы, а в июле способствует развитию деревьев. Наши данные показывают обратную тенденцию, при этом связь между приростом и осадками в эти месяцы слабая.

Реконструкция колебания летних температур, полученная на основе анализа радиального прироста деревьев для Приполярного Урала, отражает ключевые климатические события, реконструированные для соседних регионов (Полярный Урал, северная часть Западной Сибири). Отмечается совпадение в летних периодах похолодания в начале XIX в. и в конце XIX – начале XX в., а также в периодах потепления в середине и конце XX в. [2, 20].

Климатические события, отраженные в нашей реконструкции, могут быть связаны с наблюдаемыми в последнее время на Урале экологическими процессами. На фоне улучшения климатических условий (потепление и увлажнение климата) в северных районах Урала в двадцатом столетии,

отмечается сокращение ледников [27], а также поднятие верхней границы распространения леса в горах, увеличение густоты и продуктивности древостоев, и как следствие, увеличение площади редколесий [5, 6, 19].

Заключение. Выявленная высокая согласованность радиального прироста лиственницы в разных типах условий местообитания на западном макросклоне Приполярного Урала свидетельствует о сходстве факторов, влияющих на рост деревьев. Анализ дендрохронологического материала показал, что многолетняя изменчивость индексов прироста лимитирована теплообеспеченностью в период вегетации. Климатический сигнал в древесно-кольцевых хронологиях на исследуемых участках обусловлен температурными колебаниями в июне–июле и усиливается во второй декаде июня, что отражает специфику локальной изменчивости климата в пределах западного макросклона Приполярного Урала.

Полученная нами реконструкция хода летних температур представляет собой предварительный результат анализа регионального изменения климата за последние два столетия, который хорошо согласуется с более длительной реконструкцией температуры для сопредельных районов. Дальнейшие исследования позволят увеличить временной ряд реконструкции приземной температуры воздуха для западной части Приполярного Урала и лучше понять текущее состояние регионального климата в контексте сценариев глобального потепления [22].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бенькова В.Е., Шашкин А.В., Наурзбаев М.М. и др.* Значение микроэкологических условий для роста лиственницы Гмелина в экотоне верхней границы леса на полуострове Таймыр // Лесоведение. 2012. № 5. С. 59–70.
2. *Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазепа В.С.* Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1996. 246 с.
3. *Горчаковский П.Л., Шиятов С.Г.* Фитоиндикация условий среды и природных процессов в высокогорьях. М.: Наука, 1985. 209 с.
4. *Горячев В.М.* Подготовка дендрохронологических образцов для измерения под микроскопом // Лесоведение. 2003. № 1. С. 65–77.
5. *Григорьев А.А., Моисеев П.А., Нагимов З.Я.* Формирование древостоев в высокогорьях Приполярного Урала в условиях современного изменения климата. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2012. 170 с.
6. *Капралов Д.С., Шиятов С.Г., Моисеев П.А., Фомин В.В.* Изменения в составе, структуре и высотном положении мелколесий на верхнем пределе их произрастания в горах Северного Урала // Экология. 2006. Т. 37. № 6. С. 403–410.
7. *Лащенкова А.Н., Непомилуева Н.И.* Эколого-географические закономерности в распределении растительности на Приполярном Урале // Экологич. исслед. природн. ресурсов Севера Нечерноземной зоны. Сыктывкар: Ин-т биологии, Коми филиал АН СССР, 1977. С. 23–39.
8. *Семенов Б.А., Цветков В.Ф., Чибисов Г.А., Елизаров Ф.П.* Притундровые леса Европейской части России (природа и ведение хозяйства). Архангельск: СевНИИЛХ, 1998. 332 с.
9. Справочник по климату СССР. Вып. I. Архангельская и Вологодская области и Коми АССР. Часть II. Температура воздуха и почвы. Л.: Гидрометиздат, 1965. 358 с.
10. Справочник по климату СССР. Вып. I. Архангельская и Вологодская области, Коми АССР. Ч. III. Ветер. Л.: Гидрометиздат, 1967. 305 с.
11. Справочник по климату СССР. Вып. I. Архангельская и Вологодская области и Коми АССР. Часть IV. Влажность воздуха, осадки и снежный покров. Л.: Гидрометиздат, 1968. 347 с.
12. *Фильрозе Е.М., Гладушко Г.М.* Способы проявления границ и структуры годичных слоев // Дендрохронология и дендроклиматология. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986. С. 68–71.
13. *Чибилев А.А., Чибилев Ант.А.* Природное районирование Урала с учетом широтной зональности, высотной поясности и вертикальной дифференциации ландшафтов // Изв. Самарск. НЦ РАН. 2012. Т. 14. № 1(6). С. 1660–1665.
14. *Шалаумова Ю.В., Фомин В.В., Капралов Д.С.* Пространственно-временная динамика климата на Урале во второй половине XX века // Метеорология и гидрология. 2010. № 2. С. 44–54.
15. *Шиятов С.Г.* Дендрохронология верхней границы леса на Урале. М.: Наука, 1986. 136 с.
16. *Шиятов С.Г., Ваганов Е.А., Кирдянов А.В. и др.* Методы дендрохронологии. Часть I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации: Учебно-методич. пособие. Красноярск: КрасГУ, 2000. 80 с.
17. *Шиятов С.Г. Мазепа В.С.* Цикличность радиального прироста деревьев в высокогорьях Урала // Дендрохронология и дендроклиматология. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986. С. 134–160.
18. *Шиятов С.Г., Мазепа В.С., Фриттс Г.* Влияние климатических факторов на радиальный прирост деревьев в высокогорьях Урала // Пробл. экологич.

мониторинга и моделирования экосистем. СПб: Гидрометеоиздат, 1992. Т. XIV. С. 125–134.

19. *Шиятов С.Г., Терентьев М.М., Фомин В.В.* Пространственно-временная динамика лесотундровых сообществ на полярном Урале // Экология. 2005. Т. 36. № 2. С. 83–90.
20. *Шиятов С.Г., Хантемиров Р.М., Горланова Л.А.* Тысячелетняя реконструкция температуры лета на полярном Урале: данные древесных колец можжевельника сибирского и лиственницы сибирской // Археология, этнография и антропология Евразии. 2002. № 1(9). С. 2–5.
21. *Bunn A.G.* A dendrochronology program library in R (dplR) // Dendrochronologia. 2008. № 26. P. 115–124.
22. Climate Change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Univ. Press, 2013. 1535 p.
23. *Grissino-Mayer H.* A manual and tutorial for the proper use of an increment borer // Tree-ring research. 2003. V. 59. № 2. P. 63–79.
24. *Holmes R.L.* Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement // Tree-ring Bulletin. 1983. V. 44. P. 69–75.
25. Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences / Eds. E.R. Cook, L.A. Kairiukstis. Dordrecht: Kluwer Acad. Press, 1990. 394 p.
26. *Rinn F.* Tsap version 3.5. Reference Manual. Computer program for tree-ring analysis and presentation. Helenberg, Germany, Frank Rinn, 1996. 264 p.
27. *Solomina O., Ivanov M., Bradwell T.* Lichenometric studies on moraines in the Polar Urals // Geografiska Annaler: Series A. Physical Geography. 2010. V. 92. № 1. P. 81–99.
28. *Zang C., Biondi F.* Dendroclimatic calibration in R: The bootRes package for response and correlation function analysis // Dendrochronologia. 2013. № 31. P. 68–74.

Climatic Signal in Tree-Ring Chronologies of Larch on the Western Macroslope of the Sub-Polar Urals

A.V. Manov, S.V. Zagirova

Institute of Biology of Komi Scientific Center, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia; manov@ib.komisc.ru, zagirova@ib.komisc.ru

The study is directed on revealing of climatic regulation of fluctuation of tree-ring chronology of larch growing on the western macroslope of the Sub-Polar Urals. Studying tree-ring chronology with use of the standard dendroclimatology approaches has allowed to find out reaction of a larch to dynamics of climate. High synchronism of radial growth of larches from different habitats on the upper timberline testifies to similarity of the factors influencing growth of trees. The analysis of dendrochronology material has shown that long-term variability of growth indexes is limited by lack of heat during vegetation. Precipitations make weak impact on variability of tree-ring widths of studied trees. The climatic signal in tree-ring chronology on investigated sites is mainly caused by temperature fluctuations in June-July and amplifies in the second decade of June that reflects local variability of the climate within the western macroslope of the Sub-Polar Urals. Regional climate changes for last two centuries are found by means of reconstruction of summer temperature fluctuation. The cold snap periods were observed in the beginning of the 19th century and in the end of the 19th – the beginning of the 20th century, and the periods of warming were observed in the middle of the 19th century and from 1920 till our days.

***Keywords*:** dendroclimatology, Sub-Polar Urals, tree-line, larch, radial increment, air temperature, precipitation, vegetative season, response function, climatic reconstruction.