

УДК 911.2

ФАКТОРЫ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПРИРОСТА ЛИСТВЕННОЙ СИБИРСКОЙ В ГОРНЫХ РАЙОНАХ АЛТАЯ, ТУВЫ И МОНГОЛИИ

© 2019 г. М. В. Андреева^a, *, Ю. Н. Курочкин^a, М. В. Сыромятина^a, К. В. Чистяков^a

^aСанкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле,
Университетская набережная, 7-9, Санкт-Петербург, 199034 Россия

*e-mail: m.v.andreeva@spbu.ru

Поступила в редакцию 17.07.2018 г.

После доработки 24.10.2018 г.

Принята к публикации 28.11.2018 г.

Выполнен анализ динамики радиального прироста древесины по данным трех древесно-кольцевых хронологий ALT (1463–2017), TUV (1715–2012) и MON (1663–2017), полученных для южных районов Горного Алтая, юго-западных районов Тувы и северных районов Монгольского Алтая соответственно. Хронологии демонстрируют схожую погодичную и длительно-временную изменчивость. Выявлены циклы в изменении прироста древесины длительностью 10–14 и 29–33 года. Лимитирующим фактором прироста выступает температура воздуха июня–июля ($r > 0.7$). В то же время хронологии чувствительны к изменчивости циркуляционных, гидрологических и гляциологических параметров.

Ключевые слова: древесно-кольцевые хронологии, Алтай, Тува, Монгольский Алтай, лиственница сибирская, факторы прироста, температура воздуха июня–июля

DOI: 10.1134/S0367059719040048

Вопрос о степени и направлении климатических изменений, в частности повышения температуры воздуха, и связанных с этим последствий, приводящих к учащению природных катастроф, изменению площади лесных массивов, таянию ледников, трансформации гидрологического режима рек и т.п., актуален. Одна из причин отсутствия единого мнения относительно будущих климатических изменений — недостаток информации о прошлых и современных тенденциях изменения климата в труднодоступных, в том числе горных, регионах, где инструментальные наблюдения непродолжительны и редки либо имеют пропуски. Природный узел Алтае-Тувинских гор — один из важных регионов для России, Монголии, Китая и Казахстана: на склонах хребтов Сайлюгем, Чихачева, Южного Алтая, Монгольского Алтая, Танну-Ола и горного массива Монгун-Тайга расположены истоки рек, дающих начало крупным речным системам Западной Сибири и Монголии. Регион уникален в климатическом отношении: с одной стороны, он располагается в ключевой зоне влияния Сибирского антициклона, что обуславливает высокую аридность климата, и в то же время в зоне доступа воздушных масс Атлантики. Эта особенность делает его геосистемы чувствительными к климатическим изменениям, чему

также способствует и расчлененный рельеф. Из-за удаленности от основных транспортных путей регион труднодоступен для изучения. Поэтому здесь мало инструментальных наблюдений за метеорологическими характеристиками, параметрами речного стока и динамикой ледников.

Из-за экстремальных климатических условий древесные растения в регионе исследования чувствительны к изменению параметров среды. При этом возраст деревьев может быть более 500 лет. Основное число работ посвящено построению сверхдлительных хронологий и исследованию влияния температуры воздуха на прирост годичных колец. Построено несколько дендрохронологических реконструкций летних температур воздуха для Горного Алтая, Тувы и Китайского Алтая [1–5]. Исследования связи гляциологических параметров с приростом проводились для ледников Северо-Чуйского хребта [6, 7]. Мало внимания уделяется исследованию циклических колебаний в приросте годичных колец, взаимосвязям прироста с циркуляционными и гидрологическими процессами.

Наша работа, во-первых, направлена на выявление пространственно-временных закономерностей и различий в изменении прироста древесины в масштабе региона. Временная изменчи-

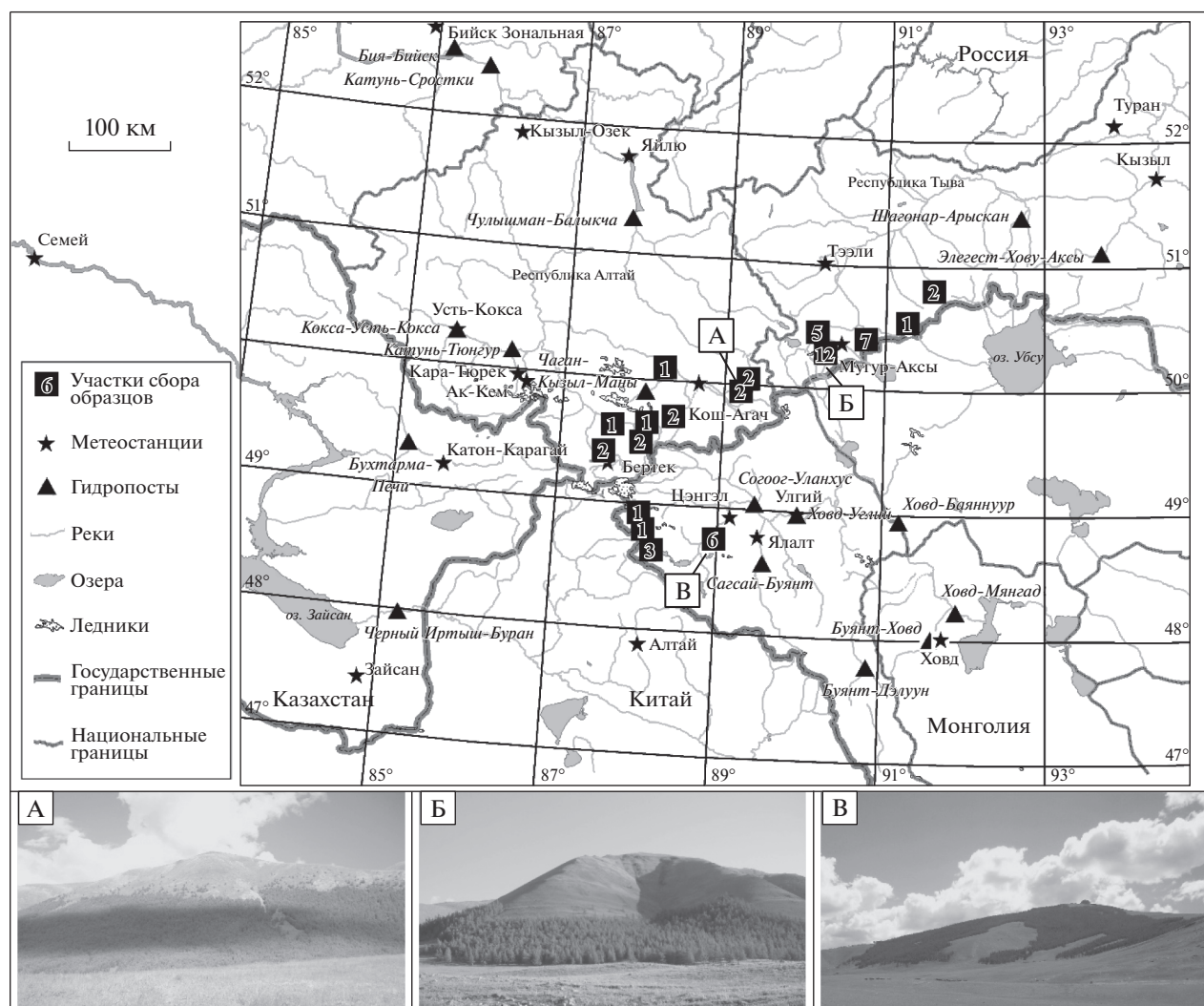


Рис. 1. Карта-схема региона исследований. Цифры рядом с метками “участки сбора образцов” указывают на количество участков; А, Б, В — фото лесных массивов на участках, указанных на карте-схеме (фото авторов).

вость рассматривается как погодичная, так и длительно-временная. Исследование внутривековой изменчивости обращено к рассмотрению циклов длительностью до 60 лет. Во-вторых, она посвящена выявлению климатических факторов, лимитирующих распространение древесной растительности, оценке их пространственной изменчивости и возможностей построения реконструкций различных параметров среды (климатических, в том числе циркуляционных, гляциологических и гидрологических) на основе полученных древесно-кольцевых рядов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для исследования образцы древесины лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) были отобраны в 2012–2017 гг. Участки для отбора образцов выбирали в разреженных, чаще изолиро-

ванных лесных массивах южной части Горного Алтая (бассейны рек Аргут и Чуя), юго-западной части Тувы (горный массив Монгун-Тайга, хребет Западный Танну-Ола) и северной части Монгольского Алтая (верховье бассейна р. Ховд) (рис. 1).

Выбор древостоев и сбор материала проводили согласно работам [8, 9]. Участки для отбора образцов располагались на склонах северных экспозиций на верхнем и нижнем пределах произрастания древесной растительности в массиве. Отбор кернов проводился возрастными бурами с живых разновозрастных деревьев по двум, реже по одному, радиусам на высоте 0.3–1.3 м. На каждом участке образцы отбирали в среднем у 15 деревьев.

Ширину годичных колец измеряли на полуавтоматической установке LINTAB-6 с точностью 0.01 мм. Для каждого дерева получены индивидуальные древесно-кольцевые хронологии, опреде-

лены абсолютные даты каждого кольца, выявлены выпавшие и ложные кольца. Визуализацию и перекрестное датирование временных рядов радиального прироста каждого дерева осуществляли в программах TsapWin Professional [10] и Cofecha [11, 12]. В программе ARSTAN выполнено индексирование древесно-кольцевых рядов [13]. В качестве аппроксимирующей функции, описывающей возрастную тренд, использовались негативная экспонента, линейная регрессия или горизонтальная линия (в случае отсутствия возрастного тренда). Путем осреднения индивидуальных хронологий с одного участка строили локальные древесно-кольцевые хронологии. Качество полученных хронологий подтверждалось величинами стандартного отклонения ($SD > 0.2$), коэффициента чувствительности ($MS > 0.2$) и выраженного сигнала популяции ($EPS > 0.85$).

Возможность объединения локальных древесно-кольцевых хронологий в региональные рассматривали в рамках трех климатических секторов: западного, расположенного на территории Горного Алтая, в большей степени подверженного Атлантическому переносу с достаточным количеством осадков¹ (615 мм); восточного — над горами Тувы, с климатом, формирующимся на стыке влияния Атлантики и Азиатского антициклона с ограниченным количеством осадков (209 мм) и южного сектора Монгольского Алтая, находящегося почти целиком во власти антициклона с весьма малыми суммами осадков (110 мм). Региональные хронологии строили с использованием факторного анализа, в частности метода главных компонент. Разложение на компоненты рассматривали по отдельным 50-летним периодам (со сдвигом 25 лет). Дополнительно проведена оценка циклических колебаний в локальных хронологиях методом спектрального анализа.

В целях сохранения максимально возможной протяженности древесно-кольцевого ряда за начало хронологий принимался первый год у самого старого дерева. Статистическую неоднородность, возникающую при использовании разновозрастных моделей деревьев, устраняли с использованием эмпирико-статистического метода С.Г. Шиятова [14].

На основании полученных региональных хронологий исследовали коротко- и длительно-временную динамику прироста древесины. Циклические колебания в древесно-кольцевых рядах выявляли посредством спектрального анализа в программе Statistica, а также вейвлет-преобразования Морле в программе Matlab.

Для обнаружения взаимосвязи между климатическими и гидрологическими параметрами и

приростом годичных колец в программе Statistica рассчитывали коэффициенты корреляции² между индексами прироста и среднемесячными значениями температуры воздуха, расходов воды и месячными суммами осадков за гидрологический год (с сентября предыдущего года по август текущего), за сезоны года (осень, зима, весна, лето) и различные периоды в несколько месяцев по данным метеостанций и гидропостов, показанных на рис. 1. Коэффициенты корреляции рассчитывали как за текущий год, так и за предшествующий.

Проводился также поиск связей между приростом годичных колец и комплексными гидротермическими показателями: гидротермическим коэффициентом Селянинова и индексами циркуляции атмосферы Северного полушария за 1950–2017 гг. [15]. Для анализа использованы 6 индексов: Северо-Атлантическая осцилляция (NAO), Восточно-Атлантический (EA), Западно-Тихоокеанский (WP), Восточно-Атлантический/Западно-Российский (EA/WR), Скандинавский (SCAND), Полярный/Евразийский (POL). Расчет ГТК Селянинова для летнего сезона производился по формуле $ГТК = \sum P/0.1(t_1n_1 + \dots + t_nn_n)$, где P — сумма осадков за используемый период, t — средняя месячная температура воздуха, n — количество дней в месяце.

Регион исследования характеризуется наличием центров современного оледенения. Поэтому изучали корреляционные связи между приростом годичных колец и гляциологическими характеристиками. Гляциологические данные взяты из публикаций [16–18], в которых представлены режимные характеристики ледника Малый Актру, имеющие наибольшую длину (60 лет) и объективность, в частности ряды по суммарной аккумуляции, суммарному таянию, абляции, годовому балансу массы и изменению снеговой границы. Дополнительно, в ходе поиска закономерностей между изменениями прироста и параметрами среды, строили модели множественной регрессии, где в качестве зависимой переменной выступал результативный признак (значения индексов прироста), а в качестве независимых переменных — обуславливающие его факторы [8, 9].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Установлено, что в южной части Горного Алтая так же, как и в Юго-Западной Туве, изменчивость радиального прироста различных деревьев имеет устойчивую во времени связь независимо от высоты их произрастания в массиве. Условия произрастания древесной растительности сходны во всем массиве и отвечают условиям верхней части среднегорно-лесного пояса исследуемого ре-

¹ Показано среднегодовое количество атмосферных осадков за последние 30 лет.

² Все значения коэффициентов корреляции, приведенные в работе, рассчитаны с достоверностью 95%.

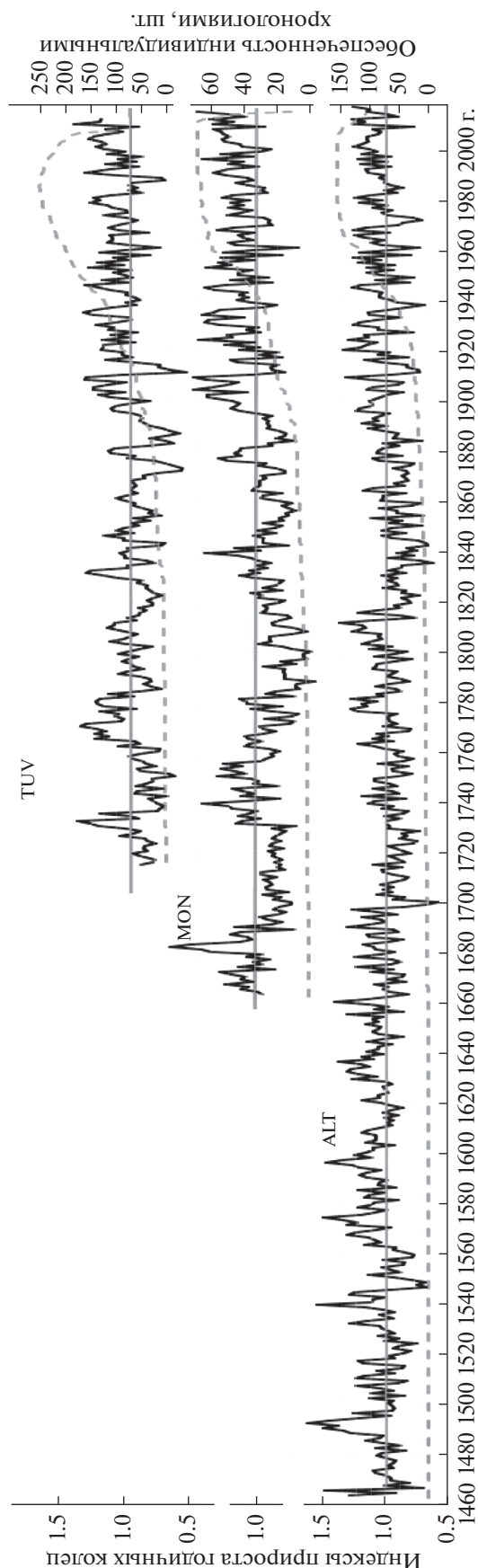


Рис. 2. Региональные древесно-кольцевые хронологии TUV, MON и ALT, отражающие изменчивость ширины годичных колец лиственницы сибирской, произрастающей в верхней части среднегорно-лесного пояса Алтая: пунктирная линия — обеспеченность региональных древесно-кольцевых хронологий индивидуальными рядами; жирная прямая линия — среднее значение индексов прироста годичных колец.

гиона. Получены региональные хронологии ALT и TUV (рис. 2, табл. 1), отражающие изменчивость радиального прироста лиственницы сибирской, произрастающей в верхней части среднегорно-лесного пояса — соответственно южной части Горного Алтая (2100–2300(2400 м)) и юго-западной части Тувы (2100–2300 м). Нижняя часть среднегорно-лесного пояса в данных районах не представлена.

В северо-западной части Монголии, напротив, условия произрастания деревьев в верхней (2300–2500 м) и нижней (2100–2300 м) частях лесных массивов различны. Годы максимальных и минимальных приростов, периоды повышенных и пониженных приростов, так же как и циклическая структура, у рядов по верхней границе леса не совпадает с нижней. Для верхней части среднегорно-лесного пояса получена хронология MON (по верхней границе леса). Анализ хронологии по нижней границе леса представлен в наших предыдущих работах [19, 20] и в данной статье не рассматривается.

Региональные хронологии ALT, MON и TUV характеризуются достаточно тесной корреляционной связью ($r = 0.5$). Годы максимальных и минимальных приростов в большинстве случаев совпадают и приведены в табл. 2. Длительно-временная динамика прироста у данных хронологий также схожа. Со второй половины XV в. до середины XVI в. наблюдается смена периодов повышений и понижений приростов годичных колец со средним периодом в 20 лет, во второй половине XVI в. начинается более длительное повышение приростов, закончившееся в конце XVII в. Значения радиальных приростов в XVIII и XIX вв. были понижены. С 1890-х гг. по настоящее время наблюдается повышение приростов годичных колец, особенно выраженное в последние 30–35 лет.

Региональные различия проявились при оценке характера и величины трендов индексов прироста при помощи регрессионного анализа. Если за период 1960–1990 гг. (т.н. “климатической нормы”) тренды выражены очень слабо или вообще не выявляются, то за последние 27–30 лет коэффициенты линейной аппроксимации достигли уровня статистической значимости и определены для Алтая в 0.03/10 лет, Монголии в 0.06/10 лет и для Тувы в 0.11/10 лет.

Наибольшие значения спектральной плотности в хронологиях ALT, TUV и MON соответствуют циклам с периодом 29–33 года. Также четко выделяются колебания длительностью 10–14 лет. Результаты вейвлет-преобразования подтверждают данные спектрального анализа и в то же время позволяют проследить, каким образом изменяется длительность колебаний со временем. Наиболее ярко проявляют себя циклы с периодом 25–35 лет, которые несколько “затухают” в XVII в. При этом у

Таблица 1. Характеристики региональных древесно-кольцевых хронологий

ДКХ	Годы	Кол-во индивидуальных/ локальных хронологий	SD Std/res	MS Std/res	EPS Std/res	PC1 Std/res
ALT	1463–2017	159/10	0.2/0.2	0.2/0.2	0.87/0.90	46/56
TUV	1715–2012	266/24	0.2/0.2	0.2/0.2	0.94/0.96	46/51
MON	1663–2017	72/5	0.3/0.2	0.2/0.2	0.83/0.88	60/68

Примечание. ДКХ — древесно-кольцевые хронологии; Std — стандартные хронологии, res — “остаточные” хронологии; SD — стандартное отклонение; MS — коэффициент чувствительности; EPS — выраженный сигнал популяции; PC1 — первая главная компонента, %.

Таблица 2. Годы максимальных и минимальных приростов лиственницы сибирской в верхней части среднегорно-лесных массивов Алтая

Век	Годы максимального прироста	Годы минимального прироста
XV	1490, 1492, 1496	1466, 1468, 1481
XVI	1507, 1510, 1517, 1532, 1539, 1543, 1567, 1571, 1574, 1596	1509, 1521, 1524, 1546, 1548, 1559
XVII	1629, 1632, 1636, 1655, 1660, 1682–1983	1663, 1668, 1689, 1699
XVIII	1739, 1742, 1753, 1765, 1776, 1780–1781	1700, 1728, 1754, 1785, 1788, 1797
XIX	1811, 1831, 1846, 1896	1800, 1813, 1822, 1842–1843, 1854, 1859, 1871, 1884, 1887
XX	1902, 1904, 1908–1909, 1920, 1924, 1930–1931, 1945, 1953, 1955, 1957, 1959, 1968, 1979, 1981, 1991, 1994, 1996, 1998	1911, 1917, 1927, 1938, 1949, 1961, 1972, 1988
XXI	2001, 2004, 2008, 2010, 2012	2009, 2013

всех хронологий в XV–XIX вв. средний период колебаний составляет 31 год — выделяются колебания продолжительностью от 25 до 36 лет. Начиная с 1880-х гг. средний период колебаний становится короче и составляет 24 года — выделяются колебания длительностью от 24 до 27 лет.

Основным лимитирующим прирост древесины фактором выступает температура начала вегетационного периода (июнь–июль), определяющая около 50% изменчивости прироста годовых колец. Температура других месяцев и периодов года существенно не влияет на прирост древесины. Средний коэффициент корреляции между индексами прироста и температурой воздуха в июне по данным метеостанций составляет 0.5. Температура воздуха в июле меньше влияет на прирост древесных колец, чем температура воздуха в июне ($r = 0.4$). Согласно [21, с. 12], у хвойных пород умеренной зоны “максимума прирост достигает в первой половине вегетационного сезона, в условиях неуклонного повышения температуры и максимального освещения”. Наибольшее значение коэффициента корреляции между температурой воздуха и годовым приростом выявляется при расчете среднего значения температуры воздуха июня–июля ($r > 0.7$).

Строгой пространственной закономерности в распределении коэффициентов корреляции между древесно-кольцевыми хронологиями и температурой воздуха июня–июля по данным различ-

ных метеостанций не наблюдается, так же как и влияния высоты расположения метеостанций на показатели связи (рис. 3). В целом связь радиального прироста с инструментальными данными по наиболее близким к местам отбора образцов метеостанциям несколько выше, но в то же время она остается достаточно тесной и для удаленных метеостанций. Такие метеостанции, как Мугур-Аксы и Кош-Агач, демонстрируют не самые высокие показатели, несмотря на близость к местам отбора древесных образцов.

Теснота связи между приростом годовых колец и количеством атмосферных осадков меньше, чем с температурой воздуха, или статистически незначима, особенно с данными метеостанций, удаленных от мест отбора дендрообразцов. В целом можно отметить отрицательное влияние осадков мая–августа на прирост ($r = -0.3...-0.5$). Также отрицательной корреляционной связью с радиальным приростом характеризуется ГТК Селянинова ($r = -0.3...-0.5$). Данная связь проявляет себя в случаях обнаружения взаимосвязей между приростом древесины с осадками и температурой воздуха по данным метеостанций, ближайших к участкам отбора кернов.

Между радиальным приростом и индексами циркуляции, положительные фазы которых ассоциируются с повышенными температурами воздуха, в период с марта по август наблюдается положительная статистическая связь ($r = 0.3...0.5$) и,

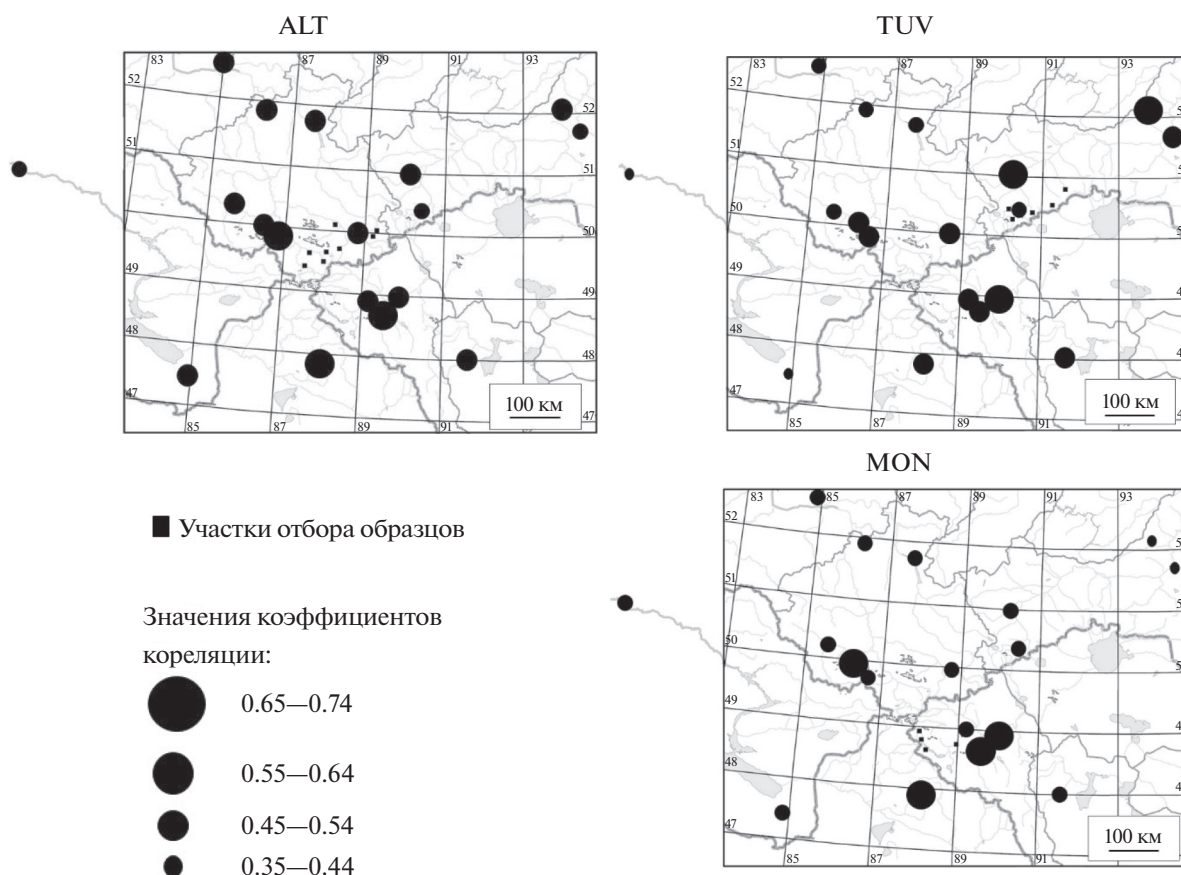


Рис. 3. Коэффициенты корреляции между индексами региональных древесно-кольцевых хронологий ALT, TUV и MON и инструментально-наблюдаемыми значениями температуры воздуха июня–июля.

напротив, отрицательная ($r = -0.3...-0.4$) – с индексами циркуляции, положительные фазы которых ассоциируются с пониженными температурами воздуха. В целом хронология TUV менее чувствительна к изменчивости индексов циркуляции, чем ALT и MON. Подробно связи отдельных климатических параметров с каждым индексом циркуляции описаны в [15].

Корреляционная связь индексов региональных хронологий с гидрологическими параметрами косвенно отражает влияние температуры и осадков на прирост древесных колец. Летние значения расходов воды, измеренные на реках с преимущественно снежно-дождевым питанием, характеризуются отрицательной статистически значимой связью с радиальным приростом ($r = -0.3...-0.6$), причем наибольший коэффициент корреляции наблюдается между приростом и расходами воды в июле, когда сток наибольший ($r < -0.7$). Близость расположения гидропостов к местам отбора древесины не всегда является определяющей для обнаружения наиболее высоких значений коэффициентов корреляции. В то же время между радиальным приростом и данными гидропостов бассейна р. Ховд статистически значимые значения коэффициен-

тов корреляции найдены только для хронологии MON. Обратная ситуация наблюдается при расчете коэффициентов корреляции между природным годичным кольцом и значениями расходов воды мая–августа, измеренными на реке с большой долей ледникового стока (г/п Чаган-Кызыл-Маны) ($r = 0.4...0.6$).

Коэффициент корреляции между индексами радиального прироста и изменениями суммарного таяния, абляции и высоты снеговой границы положительный и статистически значимый ($r = 0.4...0.5$), тогда как с годовым балансом массы – отрицательный ($r = -0.4...-0.5$).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Определенная синхронность, выявленная в годичной, внутривековой и длительно-временной динамике радиального прироста лиственницы сибирской, произрастающей в достаточно удаленных друг от друга горных районах Алтая, Тувы и Монголии, позволяет говорить о ее подчиненности глобальным климатическим процессам. Это подтверждают закономерности, найденные между изменчивостью индексов прироста годичных

колец и индексами циркуляции атмосферы. Изменчивость циркуляционных индексов связана с изменчивостью путей прохождения циклонов, температуры воздуха и количества атмосферных осадков на обширных по площади территориях.

В то же время выявлены и некоторые региональные особенности, вероятно, связанные с формированием различных климатических режимов территорий. Наблюдаются отличия пространственной структуры лесных массивов в южном секторе региона, а также незначительные отличия в величине положительных трендов за последние 30 лет, позволяющие говорить о значительном улучшении вегетационных условий для восточных и юго-восточных секторов исследуемой области.

Лимитирующим фактором прироста древесины в верхней части среднегорно-лесных массивов выступает температура воздуха июня–июля. Устойчивое распределение температурных полей в регионе исследования позволяет выявлять достаточно сильные статистические связи между дендрохронологическими рядами и данными параметров среды по весьма удаленным станциям и постам. Это связано с тем, что на рассматриваемой территории распределение температурных полей весьма устойчиво, что подтверждают высокие статистически значимые коэффициенты корреляции между данными инструментальных наблюдений используемых метеостанций за температурой воздуха июня–июля ($r_{cp} = 0.7$).

Обнаружение связи между древесным приростом и стоком рек с различной долей ледникового и снежно-дождевого питания, а также с гляциологическими характеристиками косвенно подтверждает определяющее влияние температуры воздуха в процессе формирования прироста годовых колец. Между приростом древесных колец и стоком рек с преимущественно снежно-дождевым питанием обнаружена отрицательная статистически значимая связь. Вероятно, осадки вегетационного периода, влияющие на увеличение стока, за счет формирования плотной облачности вызывают уменьшение солнечной радиации и соответственно понижение температуры воздуха в этот период, что в свою очередь отрицательно сказывается на приросте древесины. Напротив, положительная статистически значимая связь найдена между радиальным приростом и стоком рек с преимущественно ледниковым питанием. Как известно, между изменением летней температуры и абляции существует тесная положительная связь [22]. Повышение температуры воздуха вызывает ледниковое таяние, способствуя увеличению стока, и в то же время благоприятно воздействует на прирост годовых колец. Это подтверждает анализ связи между гляциологическими

характеристиками ледника Малый Актру и индексами прироста годовых колец.

Таким образом, полученные региональные хронологии ALT, TUV и MON подходят для реконструкции температур воздуха июня–июля, но в то же время позволяют судить об изменчивости других природных параметров, испытывающих влияние климата, причем для достаточно обширной территории. Вместе с тем косвенные связи прироста древесных колец с параметрами среды недостаточно сильны, чтобы проводить их реконструкцию на основе древесно-кольцевой информации.

На территории Республики Алтай исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-77-10041), на территории Республики Тыва и Монголии – при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 13-05-41075 РГО_а, 14-05-10089_к, 15-05-10186_к), а также Всероссийской общественной организации “Русское географическое общество” (грант № 08/2017-И).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мыглан В.С., Жарникова О.А., Малышева Н.В. и др. Построение древесно-кольцевой хронологии и реконструкция летней температуры воздуха юга Алтая за последние 1500 лет // География и природные ресурсы. 2012. № 3. С. 22–30. [Myglan V.S., Zharnikova O.A., Malysheva N.V. et al. Constructing the tree-ring chronology and reconstructing summer-time air temperatures in Southern Altai for the last 1500 years // Geography and natural resources. 2012. V. 33. № 3. P. 200–207. doi 10.1134/S1875372812030031]
2. Мыглан В.С., Ойдунаа О.Ч., Ваганов Е.А. Построение 2367-летней древесно-кольцевой хронологии для Алтае-Саянского региона (горный массив Монгун-Тайга) // Археология, этнография и антропология Евразии. 2012. № 3. С. 76–83. [Myglan V.S., Oidupaa O.C., Vaganov E.A. A 2367-year tree-ring chronology for the Altai-Sayan region (Mongun-Taiga mountain massif) // Archaeology, ethnology and anthropology of Eurasia. 2012. V. 40. № 3. P. 76–83. doi 10.1016/j.aear.2012.11.009]
3. Мыглан В.С., Баринов В.В., Назаров А.Н. Построение тысячелетних древесно-кольцевых хронологий Коксу и Тага для территории Алтая // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология. 2015. Т. 8. № 3. С. 319–332. doi 10.17516/1997-1389-2015-8-3-319-332
4. Овчинников Д.В., Панюшкина И.П., Адаменко М.Ф. Тысячелетняя древесно-кольцевая хронология лиственницы Горного Алтая и ее использование для реконструкции летней температуры // География и природные ресурсы. 2002. № 1. С. 102–108.
5. Zhang T., Yuan Y., Hu Y. et al. Early summer temperature changes in the southern Altai Mountains of Central Asia during the past 300 years // Quaternary International. 2015. V. 358. P. 68–76. doi 10.1016/j.quaint.2014.12.005
6. Быков Н.И. Дендроиндикация многолетней динамики элементов нивально-гляциального комплек-

- са // Проблемы реконструкции климата и природной среды голоцена и плейстоцена Сибири. Новосибирск: Изд-во ИАЭ СО РАН, 1998. С. 51–55.
7. Овчинников Д.В. Реконструкция баланса ледника Малый Актру (Алтай) по данным денситометрии годовичных колец // Известия РГО. 2004. Вып. 1. С. 37–45.
 8. Fritts H. Tree rings and climate. New York: Acad. Press, 1976. 567 p.
 9. Methods of dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences / Cook E., Kairiukstis L. Eds. Norwell, Mass.: Kluwer Acad., 1990. 394 p.
 10. Rinn F. TSAP-Win time series analysis and presentation for dendrochronology and related applications: version 0.53 for Microsoft Windows. Heidelberg: Rinn Tech., 2003. 110 p.
 11. Holmes R. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement // Tree-Ring Bulletin. 1983. V. 43. P. 69–78.
 12. Grissino-Mayer H. Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program Cofecha // Tree-Ring Research. 2001. V. 57. № 2. P. 205–221.
 13. Cook E., Holmes R. Program ARSTAN. Chronology development with statistical analysis. Users' manual for Program ARSTAN. Tucson, Arizona USA: Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, 1999. 12 p.
 14. Шиятов С.Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале. М.: Наука, 1986. 136 с.
 15. Northern Hemisphere Teleconnection Patterns [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/telecontents.shtml>.
 16. Нарожный Ю.К. Баланс массы ледников Алтая и их климатическая обусловленность. М.: МГИ, 1991. Вып. 72. С. 107–116.
 17. Нарожный Ю.К. Ресурсная оценка и тенденции изменения ледникового баланса Алтая за последние 150 лет // Материалы гляциологических исследований. М., 2001. Вып. 90. С. 117–125.
 18. Dyurgerov M. Reanalysis of Glacier Changes: From the IGY to the IPY, 1960–2008 // Материалы гляциологических исследований. М., 2010. Вып. 108. 111 с.
 19. Муханова М.В. (Андреева М.В.), Сыромятина М.В., Чистяков К.В. Цикличность в изменении температуры воздуха и расходов воды, реконструированных по приростам древесных колец в горных районах Внутренней Азии // Сибирский экологич. журн. 2015. № 6. С. 811–822. [Mukhanova M.V. (Andreeva M.V.), Syromyatina M.V., Chistyakov K.V. Cyclicity in Air Temperature and Water Discharge Variations Reconstructed with Tree Rings for Mountainous Areas of Inner Asia // Contemporary Problems of Ecology. 2015. V. 8. № 6. P. 669–679.]
 20. Муханова М.В. (Андреева М.В.), Сыромятина М.В., Чистяков К.В. Реконструкция гидрометеорологических показателей в горах Юго-Западной Тувы и Северо-Западной Монголии по дендрохронологическим данным // География и природные ресурсы. 2016. № 3. С. 111–117. [Mukhanova M.V. (Andreeva M.V.), Syromyatina M.V., Chistyakov K.V. Reconstructing the hydrometeorological indicators in the mountains of Southwestern Tuva and Northwestern Mongolia from dendrochronological data // Geography and Natural Resources. 2016. V. 37. № 2. P. 144–150.]
 21. Ваганов Е.А., Терсков И.А. Анализ роста дерева по структуре годовичных колец. Новосибирск: Наука, 1977. 93 с.
 22. Дюргеров М.Б. Мониторинг баланса массы горных ледников. М.: Наука, 1993. 127 с.