

УДК 630.574.4.2

А. В. ТАЙНИК*, В. С. МЫГЛАН*, В. В. БАРИНОВ*, О. Ч. ОЙДУПАА**, А. Н. НАЗАРОВ*

*Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

**Тувинский государственный университет, г. Кызыл

ПРИРОСТ ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ (*LARIX SIBIRICA* LEDEB.) НА ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЕ ЛЕСА В РЕСПУБЛИКЕ ТЫВА

*Представлены результаты анализа древесно-кольцевых хронологий Монгун, Колчан, Тан, Дерзик, Кунгур, Тарис по лиственнице сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) на верхней границе леса в Республике Тыва. Оценка связи хронологий с рядами среднемесячных наблюдений за приземной температурой воздуха показала, что основное влияние на изменчивость радиального прироста деревьев оказывают температуры июня–июля. Анализ изменчивости прироста индексированных древесно-кольцевых хронологий друг с другом и с хронологиями, построенными по соседним регионам (Алтай, Монголия), выявил, что наиболее хорошо коррелируют максимально удаленные древесно-кольцевые хронологии Монгун, Кунгур и Тарис, а прирост хронологий Колчан, Тан (центральная часть Тывы) содержит сильный локальный сигнал. На основе полученных результатов наиболее перспективны для построения древесно-кольцевых хронологий Алтае-Саянского региона участки Монгун, Кунгур, Тарис, расположенные в горном массиве Монгун-Тайга и на хр. Сангилен.*

Ключевые слова: дендрохронология, ширина годичного кольца, температура воздуха, сомкнутость древесного полога, экспозиция склона, изменения климата.

*Presented are the results from analyzing the Mongun, Kolchan, Tan, Derzik, Kungur and Taris tree-ring chronologies (TRC) for Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) on the upper timber-line in the Tyva Republic. An assessment of the correlation of the chronologies with series of monthly mean surface air temperature observations showed that the main influence on variability in radial increment of trees comes from the June–July temperatures. Comparison of the variability in increment of indexed TRC with one another and with chronologies constructed for neighboring regions (Altai, Mongolia) intimated that the best correlation is observed for the remotest Mongun, Kungur and Taris TRC, while the increment of the Kolchan and Tan (central part of Tyva) chronologies contains a strong local signal. The findings suggest that the most promising for the construction of TRC in the Altai-Sayan region are the Mongun, Kungur and Taris localities in the Mongun-Taiga mountain massif and on the Sangilen Range.*

Keywords: dendrochronology, tree-ring width, air temperature, canopy closure, slope aspect, climate change.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы заметное место в исследовании региональных и глобальных изменений климата и связанных с ними перемен в экосистемах занимают работы по изучению процессов, происходящих на верхней границе леса [1–4]. В первую очередь это связано с тем, что компоненты горных экосистем на границах своих ареалов до сих пор не испытывают сильного влияния антропогенных факторов [5, 6], а изменчивость прироста древесных растений на верхней границе леса содержит сильный климатический сигнал, обусловленный кратковременностью вегетационного сезона и сильной зависимостью от температуры, что позволяет привлекать годичные кольца в качестве источника палеоклиматической информации с высоким (год, сезон) разрешением [7–9].

В отличие от Субарктики, для которой построена плотная сеть древесно-кольцевых хронологий (ДКХ) [10–13], для территории Республики Тыва их явно недостаточно. Созданы лишь единичные ДКХ Монгун [14], Тарис [15], KRN и ETU [6]. Для увеличения их числа в 2013 г. были заложены новые пробные площади и проведена работа по обновлению старых хронологий. В результате построено шесть древесно-кольцевых шкал, охватывающих территорию республики с запада на восток. Это позволило оценить изменчивость прироста древесной растительности на верхней границе леса в широтном направлении, проанализировать ее отклик на температуру и провести предварительный анализ участков с целью выявления перспективных мест для построения тысячелетних ДКХ.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В Республике Тыва в 2012–2013 гг. на верхней границе леса были отобраны керны с лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) на шести участках: Монгун (2280 м над ур. моря), Колчан (2170 м),

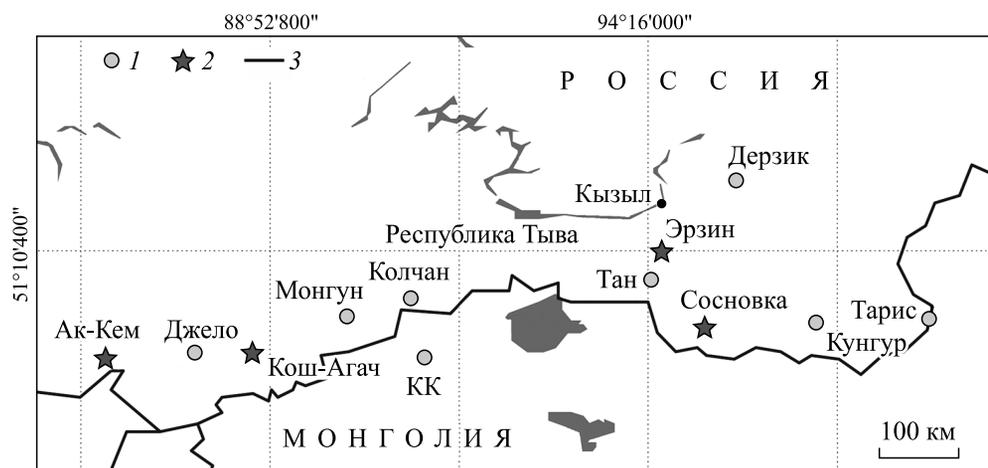


Рис. 1. Схема расположения участков сбора образцов лиственницы сибирской.

1 — участки древесно-кольцевых хронологий; 2 — метеостанции; 3 — государственная граница.

Тан (2130 м), Дерзик (2060 м), Кунгур (2254 м) и Тарис (2100 м над ур. моря). Для участка Тарис использовались собранные ранее коллекции образцов. Длина трансекта между крайними точками Монгун и Тарис по прямой составляет 587 км, а расстояние между отдельными участками колеблется от 108 до 201 км (рис. 1).

Керны с деревьев отбирались по стандартной методике [16]. Пробные площади закладывались на склонах разной экспозиции, сомкнутости [17] и породного состава древостоев. Участок Монгун расположен на склоне северо-восточной экспозиции, древесная растительность представлена лиственницей. Керны брались с одиночных и разреженных групп деревьев, сомкнутость древостоя минимальная (0,1). Участок Колчан заложен на склоне южной экспозиции. Верхняя граница леса здесь состоит из подроста кедра (*Pinus sibirica* Du Tour) и лиственницы, по этой причине для взятия образцов использовали нижерастущие старые деревья, где сомкнутость древостоя средняя (0,5). Участок Тан находится на склоне западной экспозиции. Образцы отбирались в кедрово-лиственничном древостое средней сомкнутости (0,5). Участок Дерзик расположен на склоне северо-восточной экспозиции, образцы отбирались с одиночно стоящих деревьев и в разреженном кедрово-лиственничном древостое (сомкнутость 0,2). Участок Кунгур заложен на склоне северо-западной экспозиции. Верхнюю границу леса формируют подрост и молодые деревья возрастом до 150 лет, поэтому керны брались ниже по склону в лиственничном древостое с сомкнутостью 0,4. Участок Тарис находится на склоне северо-западной экспозиции. Образцы отбирались в кедрово-лиственничном древостое (сомкнутость 0,4). Таким образом, за исключением участков Колчан и Тан пробные площади расположены на склонах северо-восточной и северо-западной экспозиции. Дополнительно следует отметить, что участки Колчан и Тан находятся на склонах хребтов Западный и Восточный Танну-Ола, обрамляющих Котловину Больших Озер на севере, и в значительной мере подвержены воздействию сухих и горячих воздушных масс, поступающих из центральной части Монголии (см. рис. 1).

Измерения ширины годичных колец выполнены на полуавтоматической установке LINTAB (с точностью 0,01 мм). Серии датировались посредством сочетания графической перекрестной датировки [18] и кросс-корреляционного анализа (в пакете специализированных программ для дендрохронологических исследований — DPL [19] и TSAP V3.5 [20]). Возрастной тренд был удален классическим способом [9] с использованием негативной экспоненты и сплайна в 2/3 длины от каждой серии в программе ARSTAN [21]. Длительные колебания в анализируемых древесно-кольцевых хронологиях выделялись путем сглаживания низкочастотным 22-летним фильтром в программе PsiPlot. Качество построенной хронологии оценивалось на основе традиционных дендрохронологических показателей. Определены стандартное отклонение, характеризующие амплитуду погодичной изменчивости прироста, EPS — чувствительность ДКХ к изменению внешних факторов (зависит от количества анализируемых образцов и показывает, как конкретная ограниченная выборка отражает сигнал популяции или генеральной совокупности), RBAR — среднее значение коэффициента корреляции между отдельными сериями [22, 23].

Для сопоставления индексов прироста с климатическими данными привлечены ряды среднемесячных наблюдений за приземной температурой воздуха и осадками с наиболее близко расположенных к участкам исследования метеорологических станций (см. рис. 1): Ак-Кем (2050 м над ур. моря) за период 1961–1995 гг., Кош-Агач (1759 м) за 1939–2013 гг., Эрзин (1100 м) за 1949–2013 гг., Сосновка (947 м над ур. моря) за 1964–2013 гг. Для сравнительного анализа статистической оценки согласованности прироста хронологий разных участков были привлечены ДКХ, построенные для прилегающих территорий Алтая (Джело, 2400 м над ур. моря) [24] и Монголии (Khalzam Khamar, далее КК, 2500 м над ур. моря) [25].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Без учета отбракованных кернов, содержащих кренивую древесину (15 % от общего числа), для анализа было отобрано 148 образцов по всем участкам. С участка Монгун датирован 51 керн, что позволило построить древесно-кольцевую хронологию протяженностью 566 лет (с 1447 по 2012 г.), средняя длина индивидуальной серии прироста — 301 год, количество выпавших колец — менее 0,5 %. С участка Колчан отобрано 29 образцов, длина хронологии составляет 440 лет (с 1573 по 2012 г.), средняя длина индивидуальной серии прироста — 241 год, количество выпавших колец — менее 0,5 %. С участка Тан использовано 19 образцов, длина хронологии — 600 лет (с 1413 по 2012 г.), средняя длина индивидуальной серии прироста — 402 года, количество выпавших колец — менее 1 %. С участка Дерзик датировано 16 образцов (19 с учетом образцов, отобранных с погибших деревьев), длина хронологии — 482 года (730 лет с учетом погибших деревьев), с 1531(1283) по 2012 г., средняя длина индивидуальной серии прироста — 253(255) года, количество выпавших колец — менее 1 %. С участка Кунгур использовано 15 образцов, длина хронологии составляет 601 год (с 1412 по 2012 г.), средняя длина индивидуальной серии прироста — 402 года, количество выпавших колец — менее 0,5 %. С участка Тарис отобрано 18 образцов, длина хронологии — 663 года (с 1345 по 2007 г.), средняя длина индивидуальной серии прироста — 303 года, количество выпавших колец — 0,5 %. Наибольшее количество выпавших колец отмечается на ДКХ Тан и Дерзик (около 1 %), что указывает на большую суровость условий произрастания. Анализ таких показателей, как длина обобщенных хронологий по

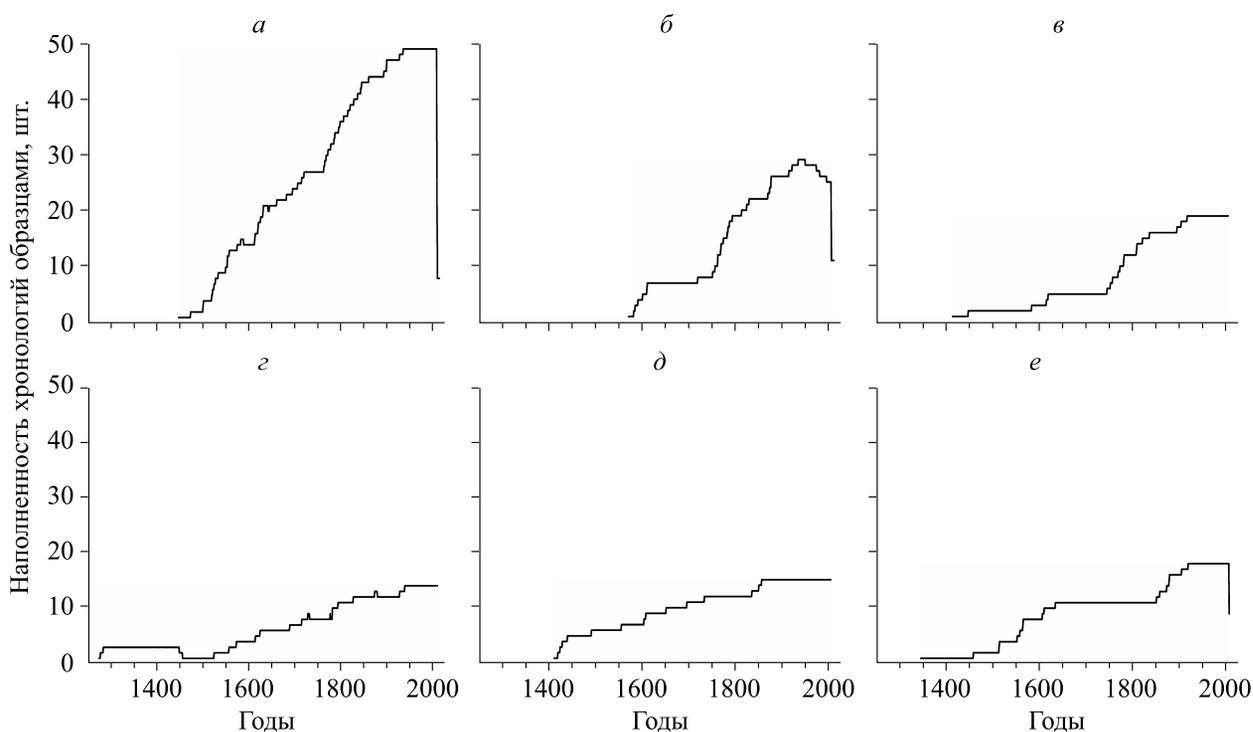


Рис. 2. Количество деревьев для древесно-кольцевых хронологий Республики Тыва.

Древесно-кольцевые хронологии: *а* — Монгун, *б* — Колчан, *в* — Тан, *г* — Дерзик, *д* — Кунгур, *е* — Тарис.

участку и длина индивидуальной серии прироста, показывает, что наименьшие значения в обоих случаях отмечаются у ДКХ Колчан, а наибольшие характерны для древесно-кольцевых хронологий Тан и Кунгур. Зависимостей длины ДКХ от количества образцов и географического расположения хронологий не прослеживается.

Анализ обеспеченности ДКХ образцами показал, что их количество на одинаковых временных интервалах различно (рис. 2). Для того чтобы выявить период для корректного сравнения участков, рассмотрим показатель EPS. Хронология Монгун пригодна для выполнения климатической реконструкции на интервале с 1500 по 2012 г. (рис. 3, *а*), Колчан — с 1700 по 2012 г. (см. рис. 3, *б*), Тан — с 1750 по 2012 г. (см. рис. 3, *в*) (низкие значения EPS и RBAR до 1750 г. связаны с невысокой обеспеченностью этого периода образцами), Дерзик — с 1600 по 2012 г. (см. рис. 3, *г*), Кунгур — с 1550 по 2012 г. (см. рис. 3, *д*), Тарис — с 1550 по 2007 г. (см. рис. 3, *е*). Таким образом, общий период для всех хронологий с $EPS > 0,85$ составляет 258 лет (с 1750 по 2007 г.). Уменьшение в последние годы количества образцов в хронологиях Монгун, Колчан и Тарис (см. рис. 3, *а, б, е*) связано с проведением обновления хронологий, когда в выборку добавлялись керны, содержащие информацию об изменчивости прироста за последние годы.

С целью оценки климатического сигнала, содержащегося в древесно-кольцевых хронологиях, были рассчитаны коэффициенты корреляции с инструментальными рядами измерений приземной температуры (табл. 1). Расчет коэффициентов корреляции между анализируемыми ДКХ и среднемесячным количеством осадков показал, что связь незначима или носит случайный характер, поэтому в работе не рассматривается.

Анализ коэффициентов корреляции (Пирсона) с данными алтайских метеостанций Ак-Кем и Кош-Агач выявил, что у всех хронологий фиксируется значимая связь с температурами июня, а у ДКХ

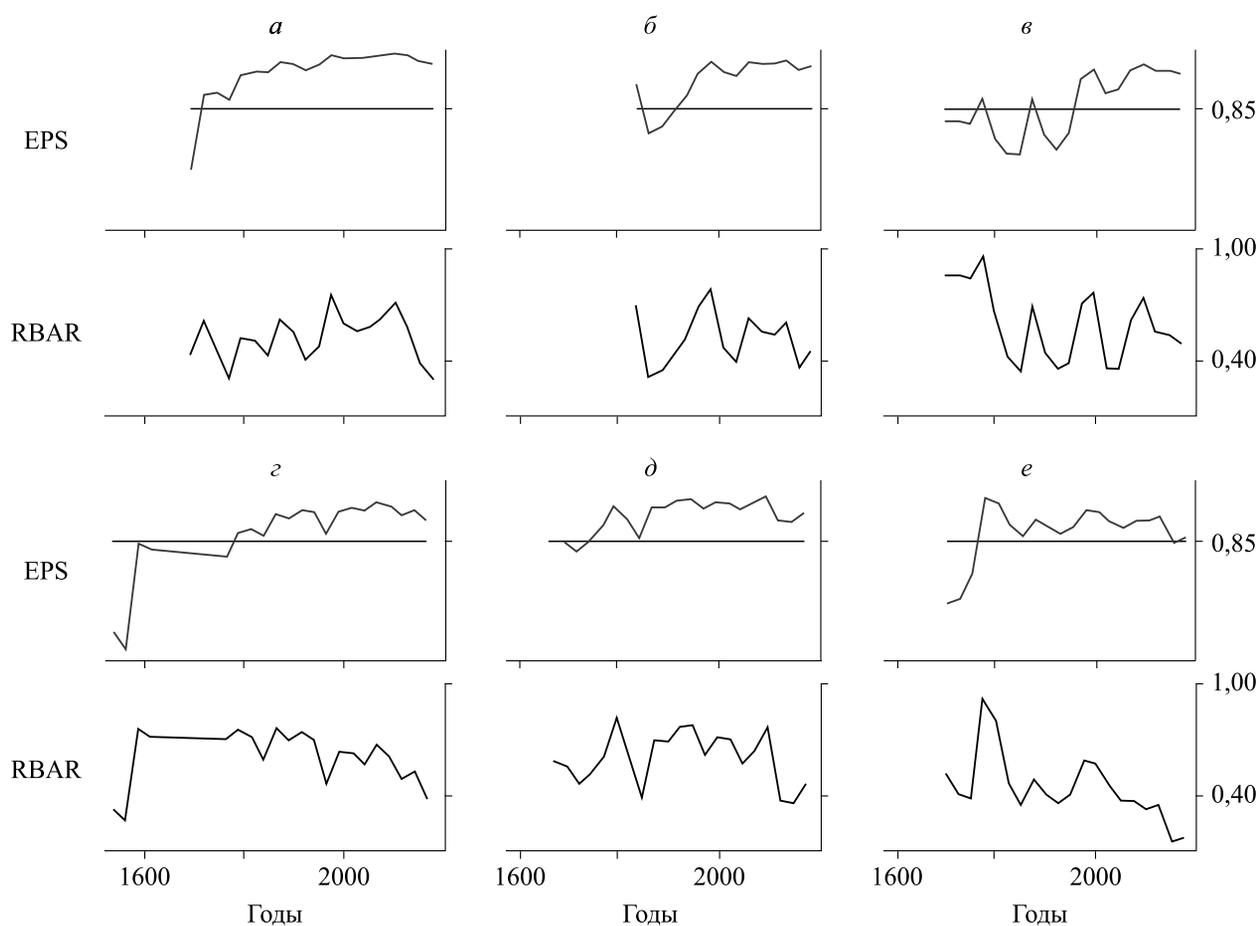


Рис. 3. Значения показателей EPS и RBAR для древесно-кольцевых хронологий Республики Тыва.

Усл. обозн. см. рис. 2.

Таблица 1

Коэффициенты корреляции (Пирсона) со среднемесячной температурой мая–сентября по данным метеостанций с индексами прироста древесно-кольцевых хронологий

Территория	Метеостанция	Месяц	ДКХ						
			Монгун	Колчан	Тан	Дерзик	Кунгур	Тарис	
Алтай	Ак-Кем, $N = 35$	V	0,05	0,00	0,27	0,30	0,33	0,19	
		VI	0,56	0,43	0,60	0,52	0,39	0,52	
		VII	0,36	0,07	0,21	0,31	0,22	0,02	
		VIII	0,01	-0,26	-0,08	0,04	-0,03	-0,08	
		IX	-0,06	-0,03	0,12	0,25	-0,03	0,13	
		VI–VII	0,64	0,36	0,57	0,58	0,42	0,38	
	Кош-Агач, $N = 72$	V	0,14	-0,07	0,04	0,26	0,09	0,02	
		VI	0,45	0,25	0,36	0,48	0,27	0,43	
		VII	0,44	-0,08	0,18	0,42	0,23	0,16	
		VIII	0,15	-0,24	-0,03	0,26	0,02	0,00	
		IX	0,07	-0,10	-0,07	0,17	-0,03	-0,06	
		VI–VII	0,58	0,14	0,36	0,59	0,33	0,41	
	Тыва	Сосновка, $N = 43$	V	0,03	-0,20	0,26	0,32	0,29	0,00
			VI	0,42	0,39	0,67	0,59	0,48	0,62
VII			0,48	-0,06	0,47	0,51	0,42	0,26	
VIII			0,18	-0,14	0,29	0,33	0,27	0,06	
IX			0,07	0,06	0,26	0,27	0,03	0,10	
VI–VII			0,59	0,21	0,74	0,72	0,59	0,57	
Эрзин, $N = 58$		V	0,06	-0,16	0,08	0,26	0,14	-0,02	
		VI	0,45	0,37	0,55	0,61	0,47	0,63	
		VII	0,46	0,00	0,39	0,60	0,42	0,38	
		VIII	0,12	-0,09	0,22	0,29	0,15	0,11	
		IX	0,12	0,02	0,23	0,30	0,08	0,14	
		VI–VII	0,54	0,22	0,56	0,72	0,53	0,60	

Примечание. N — объем выборки; жирным выделены значимые коэффициенты корреляции при $p < 0,05$.

Монгун, Дерзик, Кунгур — июля. Анализ коэффициентов корреляции с данными тувинских метеостанций Сосновка и Эрзин показал, что почти у всех хронологий фиксируется значимая связь с температурой июня и июля (за исключением ДКХ Колчан) (см. табл. 1). Таким образом, анализ данных табл. 1 свидетельствует, что основное влияние на изменчивость радиального прироста деревьев оказывают температуры июня–июля, причем повсеместно прослеживается преобладающее влияние температур июня, что согласуется с результатами других исследователей [6, 26]. По данным метеостанции Ак-Кем самые высокие коэффициенты корреляции с температурами июня–июля отмечаются с ДКХ Монгун (0,64), метеостанции Сосновка — с ДКХ Тан (0,74) и Дерзик (0,72), метеостанции Эрзин — с хронологиями Дерзик (0,72) и Тарис (0,6). Подобная связь указывает, что на верхней границе леса, как и на северном пределе распространения, лиственница находится под жестким контролем лимитирующего фактора [16], вследствие чего продукция клеток древесины и ширина годичного кольца в основном определяются климатическими условиями первой половины сезона роста. На общем фоне выделяется ДКХ Дерзик, которая имеет значимую и устойчивую связь с температурами с мая по август (при решающем вкладе июньских и июльских температур) (см. табл. 1). Самые низкие коэффициенты корреляции с данными метеостанций показывает ДКХ Колчан. Это связано с расположением пробной площади на склоне южной экспозиции, что, вероятно, приводит к ослаблению (или смене) в отдельные периоды действия лимитирующего фактора — температуры. Невысокие коэффициенты корреляции с летними температурами у ДКХ Кунгур объясняются тем, что пробная площадь заложена на 80 м ниже современного положения верхней границы леса.

**Коэффициенты корреляции индексов прироста древесно-кольцевых хронологий
Республики Тыва, Центрального Алтая и Северной Монголии**

ДКХ	Дже-ло	КК	Монгун	Колчан	Тан	Дерзик	Кунгур	Тарис
	N = 249		N = 258					
Монгун	0,76	0,64						
Колчан	0,41	0,43	0,62					
Тан	0,27	0,28	0,45	0,54				
Дерзик	0,25	0,41	0,54	0,45	0,61			
Кунгур	0,62	0,62	0,69	0,40	0,51	0,57		
Тарис	0,49	0,50	0,64	0,53	0,60	0,67	0,71	
Среднеарифметическое			0,59	0,51	0,54	0,57	0,58	0,63

Примечание. N — объем выборки.

Оценка согласованности хода прироста ДКХ на разных участках выполнялась путем расчета коэффициентов корреляции (табл. 2). Результаты анализа выявили, что наиболее сильные коэффициенты корреляции показывают хронологии участков, расположенных рядом друг с другом: Монгун и Колчан, Тан и Дерзик, Кунгур и Тарис, а также наиболее удаленных — Монгун, Кунгур и Тарис. Самые низкие коэффициенты корреляции отмечаются у ДКХ Колчан и Тан. Оба этих участка находятся в центральной части Тывы, не защищены естественными преградами (горными хребтами) и потому подвержены аридному влиянию со стороны Монголии [27]. Таким образом, наблюдается следующая закономерность: общий сигнал сохраняется в наиболее удаленных высокогорных районах (ДКХ Монгун, Кунгур и Тарис) и ослабевает в центральной части Тывы (ДКХ Колчан и Тан).

Графический визуальный анализ погодичной изменчивости прироста за последние 258 лет на шести участках показал хорошую согласованность общего хода кривых (рис. 4). При сопоставлении внутривековых изменений наблюдается ряд несогласований. Падение прироста в 1740–1750-х гг., прослеживающееся на хронологиях Монгун, Колчан, Кунгур и Тарис, не выражено у ДКХ Тан и находится в противофазе у ДКХ Дерзик (см. рис. 4). В период с 1784 по 1895 г. стоит отметить более выраженное по сравнению с остальными хронологиями падение значений прироста у ДКХ Тарис. В рамках дискуссии о повышении средней глобальной температуры приповерхностного слоя воздуха [28] особый интерес вызывает поведение прироста ДКХ в Республике Тыва за последнее столетие. Начиная с 1920 г. хронологии Монгун, Колчан, Кунгур, Тарис отражают увеличение значений прироста (у ДКХ центральной части Тывы — Тан и Дерзик — отмечается 10–15-летнее отставание), которое у всех хронологий заканчивается одновременно во второй половине 1950-х гг. Далее происходит общее снижение прироста с двумя выраженными падениями показателей в 1959–1970 и 1980–1995 гг., после чего наблюдается продолжительное рассогласование общего хода кривых. У ДКХ Монгун, Дерзик, Кунгур, Тарис значения индексов прироста увеличиваются, что отражается в положительном тренде, в то время как у хронологий Колчан и Тан увеличения прироста не просматривается (см. рис. 4). На 2006–2009 гг. пришлось выраженное снижение прироста, которое отмечается у всех хронологий независимо от трендовой составляющей последнего столетия. Следует отметить, что отсутствие выраженного положительного тренда характерно и для осадочувствительных ДКХ, построенных для территории Монголии [28].

Результаты исследования, касающиеся трендовой составляющей ДКХ во второй половине XX в. отчасти противоречат данным, полученным О. Ч. Ойдупаа, Е. А. Вагановым, М. М. Наурзбаевым [6]. С целью снятия разногласий были привлечены ДКХ по прилегающим территориям — участков Дже-ло (Алтай) и КК (Северная Монголия) и проведен корреляционный анализ и визуальное сопоставление изменчивости прироста. Результаты корреляционного анализа показали (см. табл. 2), что ДКХ Дже-ло имеет высокие значения корреляции с близко расположенной ДКХ Монгун и наиболее удаленными хронологиями Кунгур и Тарис, падение коэффициентов корреляции наблюдается с хронологиями Колчан, Тан, Дерзик. Сопоставление с ДКХ КК выявило схожую картину: наибольшие коэффициенты корреляции фиксируются с хронологиями Монгун, Кунгур и Тарис, сила связи уменьшается с расположенными рядом ДКХ Колчан, Тан и более удаленной хронологией Дерзик. Подоб-

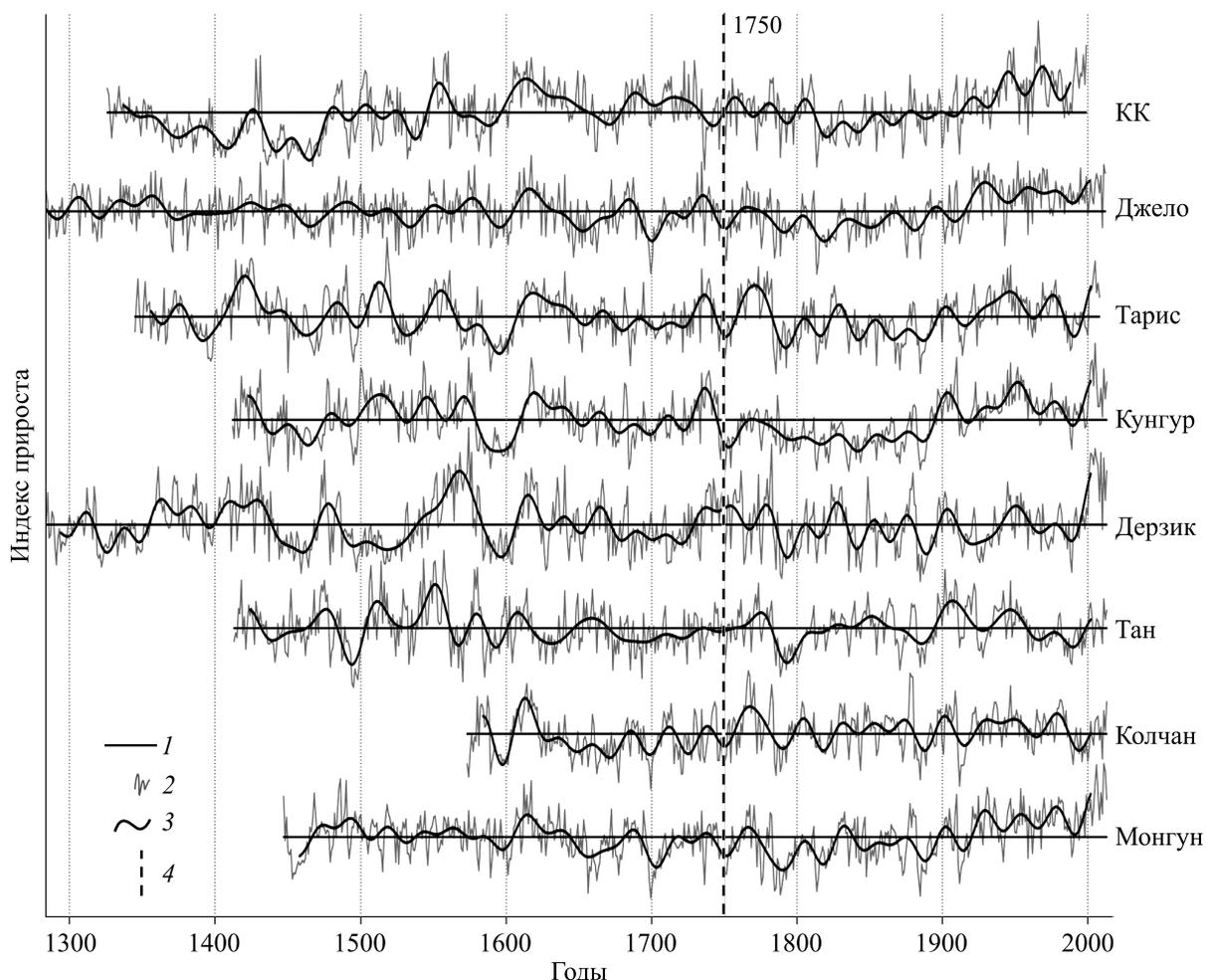


Рис. 4. Изменчивость радиального прироста древесно-кольцевых хронологий Республики Тыва.

1 — среднее арифметическое значение; 2 — погодичная изменчивость; 3 — скользящая 22-летняя низкочастотная фильтрация; 4 — 1750 г., после которого все хронологии имеют достаточную обеспеченность образцами.

ное снижение коэффициентов корреляции отчасти можно объяснить различиями в экспозиции склонов (участок КК находится на склоне северо-восточной экспозиции).

Таким образом, результаты анализа подтверждают полученный ранее вывод об ослаблении общего сигнала в центральной части Тывы. Визуальное сопоставление индексов прироста показало (см. рис. 4), что у ДКХ Джелло и КК, как и у хронологий Монгун, Дерзик, Кунгур и Тарис, во второй половине XX в. прослеживается положительный тренд. Показатели, приведенные в работе [6], мы наблюдаем только у ДКХ Тан и Колчан, расположенных в центральной части Тывы и содержащих локальный сигнал. Наше исследование показало, что хронологии Монгун, Кунгур и Тарис отражают изменчивость прироста в региональном масштабе и наиболее перспективны для построения тысяче-летних древесно-кольцевых хронологий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенной работы имеют большое значение для оценки изменчивости прироста лиственницы на верхней границе леса в Республике Тыва. Оценка связи хронологий с рядами средне-месячных наблюдений за приземной температурой воздуха показала, что основное влияние на изменчивость радиального прироста деревьев оказывают температуры июня–июля. Анализ влияния климатических условий на изменчивость прироста ДКХ Монгун, Колчан, Тан, Дерзик, Кунгур и Тарис продемонстрировал значимую связь с раннелетними температурами, выступающими лимити-

рующим фактором на территории Тывы. Пространственный анализ изменчивости прироста индексированных хронологий выявил, что наибольшая корреляция характерна для максимально удаленных ДКХ Монгун, Кунгур, Тарис. Во второй половине XX в. фиксируется расхождение во внутривековой изменчивости. Положительный тренд, отмеченный у хронологий Монгун, Дерзик, Кунгур и Тарис, не прослеживается у ДКХ участков Колчан и Тан, расположенных в центральной части Тывы. Результаты корреляционного анализа и визуального сопоставления хронологий соседних территорий — Алтая и Северной Монголии — показали, что только хронологии Монгун, Кунгур и Тарис отражают общий региональный климатический сигнал, открывая перспективы для построения обобщенной региональной ДКХ по Алтае-Саянскому региону.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (12–06–33040, 13–05–98061) и госзадания Минобрнауки РФ (проект ГВ1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сидорова О. В., Ваганов Е. А., Наурзбаев М. М. и др. Региональные особенности радиального прироста лиственницы на севере средней Сибири по тысячелетним древесно-кольцевым хронологиям // Экология. — 2007. — № 2. — С. 99–103.
2. Хантемиров Р. М., Сурков А. Ю., Горланова Л. А. Изменение климата и формирование возрастных поколений лиственницы на полярной границе леса на Ямале // Экология. — 2008. — № 5. — С. 323–328.
3. Харук В. И., Двинская М. Л., Им С. Т., Рэнсон К. Дж. Древесная растительность экотона лесотундры Западного Саяна и климатические тренды // Экология. — 2008. — № 1. — С. 10–15.
4. Пропастилова О. Ю., Тимошок Е. Е. Возобновление хвойных в экотоне верхней границы древесной растительности (Северо-Чуйский хребет) // Вестн. Том. ун-та. — 2008. — № 318. — С. 220–222.
5. Адаменко М. Ф. Динамика прироста лиственницы как индикатор термического режима летних сезонов в Горном Алтае // Региональные географические исследования в Западной Сибири. — Новосибирск: Наука, 1978. — С. 20–23.
6. Ойдупаа О. Ч., Ваганов Е. А., Наурзбаев М. М. Длительные изменения летней температуры и радиальный прирост лиственницы на верхней границе леса в Алтае-Саянской горной стране // Лесоведение. — 2004. — № 6. — С. 14–24.
7. Fritts H. C. Tree-rings and climate. — New York: Acad. Press, 1976. — 576 p.
8. Шиятов С. Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале. — М.: Наука, 1986. — 136 с.
9. Овчинников Д. В., Ваганов Е. А. Дендрохронологические характеристики лиственницы сибирской (*Larix sibirica* L.) на верхней границе леса в Горном Алтае // Сиб. экол. журн. — 1999. — № 2. — С. 145–152.
10. Ваганов Е. А., Шиятов С. Г. Роль дендроклиматических и дендрогидрологических исследований в разработке глобальных и региональных экологических проблем (на примере азиатской части России) // Сиб. экол. журн. — 1999. — № 2. — С. 111–116.
11. Наурзбаев М. М., Ваганов Е. А., Сидорова О. В. Изменчивость приземной температуры воздуха на севере Евразии по данным тысячелетних древесно-кольцевых хронологий // Криосфера Земли. — 2003. — Т. 7, № 2. — С. 84–91.
12. Hantemirov R. M., Shiyatov S. G. A continuous multi millennial ring width chronology from Yamal, northwestern Siberia // Holocene. — 2002. — Vol. 12. — P. 717–726.
13. Сидорова О. В., Наурзбаев М. М. Реакция на климатические изменения лиственницы Каяндера на верхней границе леса и в долине реки Индигирки // Лесоведение. — 2002. — № 2. — С. 73–75.
14. Мыглан В. С., Ойдупаа О. Ч., Кирдянов А. В., Ваганов Е. А. 1929-летняя древесно-кольцевая хронология для Алтае-Саянского региона (Западная Тува) // Археология, этнография и антропология Евразии. — 2008. — № 4. — С. 25–31.
15. Ойдупаа О. Ч., Баринов В. В., Сердобов В. Н., Мыглан В. С. Построение и анализ 1104-летней древесно-кольцевой хронологии Тарыс для Алтае-Саянского региона (Юго-Восточная Тыва) // Журн. Сиб. федер. ун-та. Сер. Биол. науки. — 2011. — № 4. — С. 368–377.
16. Шиятов С. Г., Ваганов Е. А., Кирдянов А. В. и др. Методы дендрохронологии. — Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 2000. — Ч. 1. — 80 с.
17. Мелехов И. С. Лесоведение. — М.: Лесн. пром-сть, 1980. — 400 с.
18. Douglass A. E. Climatic cycles and tree-growth. A study of the annual rings of trees in relation to climate and solar activity. — Washington: Carnegie Inst., 1919. — Vol. 1. — 127 p.
19. Holmes R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement // Tree-ring Bulletin. — 1983. — Vol. 43. — P. 69–78.
20. Rinn F. TSAP V 3.6 Reference manual: computer program for tree-rings analysis and presentation. — Heidelberg: Frank Rinn Distribution, 1996. — 264 p.

21. **Cook E. R., Krusic P. J.** A Tree-Ring Standardization Program Based on Detrending and Autoregressive Time Series Modeling, with Interactive Graphics (ARSTAN) [Электронный ресурс]. — <http://www.ldeo.columbia.edu/res/fac/trl/public/publicSoftware.html> (дата обращения 29.04.2014).
22. **Wigley T. M. L., Briffa K. R., Jones P. D.** On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology // Journ. Clim. Appl. Met. — 1984. — Vol. 23. — P. 201–213.
23. **Cook E. R., Kairiukstis L.** Methods of dendrochronology: applications in environmental sciences. — Dordrecht; Boston; London: Kluwer Acad. Publ., 1990. — 394 p.
24. **Мыглан В. С., Жарникова О. А., Мальшева Н. В. и др.** Построение древесно-кольцевой хронологии и реконструкция летней температуры воздуха юга Алтая за последние 1500 лет // География и природ. ресурсы. — 2012. — № 3. — С. 22–30.
25. **Jacoby G. C., D'Arrigo R., Buckley V. M., Pederson N.** Khalzan Khamar — MONG009, Solongotyn Davaa (Tarvagatay Pass) — MONG003, Mongolia [Электронный ресурс]. — <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/treering.html> (дата обращения 29.04.2014).
26. **Овчинников Д. В., Панюшкина И. П., Адаменко М. Ф.** Тысячелетняя древесно-кольцевая хронология лиственницы Горного Алтая и ее использование для реконструкции летних температур // География и природ. ресурсы. — 2002. — № 1. — С. 102–108.
27. **Pederson N., Hessel A. E., Baatarbileg N. et al.** Pluvials, droughts, the Mongol Empire, and modern Mongolia // Proceed. Natl. Acad. Sci. — 2014. — 111. — P. 4375–4379.
28. **IPCC 2013** Climate Change. The Physical Science Basis. International Working Group Contributions to the 5th Assessment Report of the IPCC / Eds. T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner et al. — New York: Cambridge Univ. Press, 2013. — 1483 p.

Поступила в редакцию 2 июня 2014 г.
