

УДК 630\*561.24:581.5(57:511)

**ДЛИТЕЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕТНЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ  
И РАДИАЛЬНЫЙ РОСТ ЛИСТВЕННИЦЫ НА ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЕ ЛЕСА  
В АЛТАЕ-САЯНСКОЙ ГОРНОЙ СТРАНЕ\***© 2004 г. **О. Ч. Ойдупаа<sup>1</sup>, Е. А. Ваганов<sup>2</sup>, М. М. Наурзбаев<sup>2</sup>**<sup>1</sup> *Тувинский государственный университет  
667000 Кызыл, ул. Ленина, 36*<sup>2</sup> *Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН  
660036 Красноярск, Академгородок*

Поступила в редакцию 25.11.2003 г.

Радиальный рост деревьев лиственницы на верхней границе леса в Алтае-Саянской горной стране коррелирован и синхронен с ходом летней температуры воздуха этого региона. Дендроклиматические ряды реконструкции летней температуры воздуха на севере (на полярной границе леса) и на юге (на верхней границе леса) Сибири синхронны и сопоставимы по амплитуде колебаний на протяжении последних 300 лет. Полученные результаты не вполне согласуются с расчетами климатических моделей в оценке современных изменений приземной температуры воздуха северного полушария и свидетельствуют, что в ходе летних температур, наиболее важных для роста древесной растительности в высоких широтах и на верхнем пределе ее распространения, существенного потепления не наблюдается. Поэтому можно заключить, что пока рост деревьев, растущих на значительной территории бореальных лесов Азии, не испытывает влияния глобального потепления.

*Алтай, Саяны, субарктический пояс Азии, климат, реконструкция, прирост деревьев.*

Устрашающие прогнозы глобального потепления климата высоких широт Северного полушария (3–8°C), следующие из расчетов ряда климатических моделей, до сих пор не подкреплены обоснованной экспериментальной базой, опирающейся как на анализ естественных (до индустриальных) изменений температуры, так и особенностей колебаний температуры на региональном уровне [2, 7, 8, 21, 30, 31]. Наиболее заметные расхождения между изменениями температуры Северного полушария и реакцией растительности в зоне наибольшего влияния температуры на процессы роста - полярном пределе распространения лесной растительности - получены для севера Евразии [19, 36]. Наиболее чувствительная к изменениям температуры эта зона Евразии пока не подтверждает даже нижних пределов прогнозных изменений температуры. Только Аляска и часть севера Северной Америки показывает устойчивый тренд повышения средней годовой температуры, который обуславливает даже дефицит увлажнения и депрессию прироста деревьев в этой части земного шара [18, 23]. Косвенные оценки, сделанные по 20-летним трендам NDVI (Normalized Differential Vegetation Index - Нормализованный дифференциальный вегетационный ин-

декс), свидетельствуют о большем росте запасов и продукции растительных сообществ в средних широтах Северного полушария [16, 39]. Большинство метеорологических станций, имеющих длительные ряды наблюдений в средних широтах (до 55–60° с.ш.) Азии, также показывают устойчивый положительный тренд средних годовых температур [6]. Для средних широт длительные изменения температуры можно проследить по древесно-кольцевым хронологиям с верхней границы распространения древесной растительности, где изменчивость прироста на 60–70% определяется изменчивостью летней температуры [10, 11, 14, 17, 35]. К сожалению, таких длительных древесно-кольцевых хронологий получено не так много (Альпы, Канадские Кордильеры, горы Сьерра-Невада, Алтай, Урал, Тибет), и многие из них не охватывают последние 2–3 десятилетия [20, 23, 26, 35].

В связи с этим представляло интерес получение длительных древесно-кольцевых хронологий для верхней границы леса Алтае-Саянской горной страны, исследование климатических откликов прироста деревьев и возможность использования хронологий для реконструкции региональных изменений температуры (табл. 1, рис. 1). Не менее важно сопоставление изменения температуры в крупном регионе средних широт Азии с длительными изменениями температуры, полу-

\*Работа выполнена при поддержке Интеграционной программы № 121 СО РАН, РФФИ (НШ-2108.2003.4) и INTAS (01-0052).

**Таблица 1.** Местоположение и статистика высокогорных древесно-кольцевых хронологий Алтае-Саянской горной страны

Местоположение и статистика	Древесно-кольцевые хронологии*			
	ALT	SAY	KRH	ETU
Координаты, с.ш. в.д.	50°47' 87°39'	51°40' 89°55'	50°56' 94°20'	50°20' 96°20'
Высота над ур. моря, м	2100	1900	1800	2300
Число деревьев, шт	63	59	59	28
Календарный период, годы	906-1999	1612-2001	1580-2001	1418-2001
Межсерийный коэффициент корреляции	0.67	0.68	0.50	0.68
Среднеквадратическое отклонение	0.30	0.29	0.27	0.20
Коэффициент чувствительности	0.26	0.24	0.19	0.20
Автокорреляция первого порядка	0.41	0.62	0.58	0.70
Доля первой главной компоненты, %	47.7	48.7	29.7	48.8

\* Код (аббревиатура) местоположения древесно-кольцевых хронологий согласно номенклатуре Международного банка данных древесных колец - ITRDB (International Tree-Ring Data Bank) [3, 9].

Примечание. ALT - Восточный Алтай, Курайский хребет; SAY - Западный Саян, Западно-Саянский хребет; KRH - Восточный Саян, хребет Восточная Танну-Ола; ETU - Восточный Саян, нагорье Сангилен.

ченными по сети станций дендроклиматического мониторинга для аналогичного сектора субарктического пояса Азии.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дендрохронологический материал (керны старых деревьев лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb)) был собран на нескольких участках (рис. 1), расположенных на верхнем пределе распространения древесной растительности в Горном Алтае (3 участка), Западном Саяне (4), Восточном Танну-Ола (4), нагорье Сангилен (1). Буровые образцы (керны) диаметром 5 мм собраны с ныне живущих деревьев лиственницы возрастными бурами "Mattson" (Швеция) и "Suunto" (Финляндия), были помещены в держатели, отшлифованы, и ширина годичных колец измерена на полуавтоматической установке "Lintab 3" (Германия) [9, 29, 34]. Перекрестная датировка проверена графически [34] и с помощью кросс-корреляционного анализа с использованием специальной программы "Cofecha" [24]. Исходные измерения стандартизованы с применением отрицательной экспоненты или линейной функции в качестве аппроксимирующей возрастной кривой [25, 29]. Такой способ стандартизации позволил сохранить длительные изменения прироста, фиксирующие долговременные изменения климатических условий. Полученные кривые индексов радиального прироста усреднены для отдельного участка (в случае высокой согласованности кривых - для близко расположенных участков). А затем смоделированы функцией автокорреляции скользящего среднего с целью исключения составляющей из-

менчивости, обусловленной физиологическими особенностями прироста годичных колец [3, 22].

Для статистической оценки индивидуальных и обобщенных (для участка или группы участков) хронологий использовались традиционные характеристики: межсерийные и парные коэффициенты корреляции, чувствительность, среднеквадратическое отклонение и др. [29]. Расчеты климатических функций отклика [22] аргументированы стандартным набором статистических критериев (F-критерий, критерий Дарбина-Ватсона) для оценки тесноты связи и добротности моделей реконструкции температуры по древесно-кольцевым сериям [15]. Для сопоставления рядов климатических переменных с измерениями древесных колец использованы месячные данные высокогорных метеорологических станций, расположенных в районе исследования (рис. 1) - Ак-Кем (Алтай) 49°58' с.ш. 86°42' в.д. 2050 м над ур. моря, Кызыл (Республика Тыва) 51°45' с.ш. 94°25' в.д. 630 м над ур. моря, Ulaangom (Северная Монголия) 49°00' с.ш. 91°20' в.д. 940 м над ур. моря - и результаты (с пространственным разрешением 5 × 5°) помесечных наблюдений приземной температуры воздуха, усредненные для координатной сетки 50-55° с.ш., 80-105° в.д. и 65-75° с.ш., 80-105° в.д. [33].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Древесно-кольцевые хронологии близко расположенных участков показали очень высокую согласованность в ежегодных изменениях радиального прироста. Эта согласованность характеризуется высокими парными коэффициентами корреляции (0.6-0.8), коэффициентами чувстви-

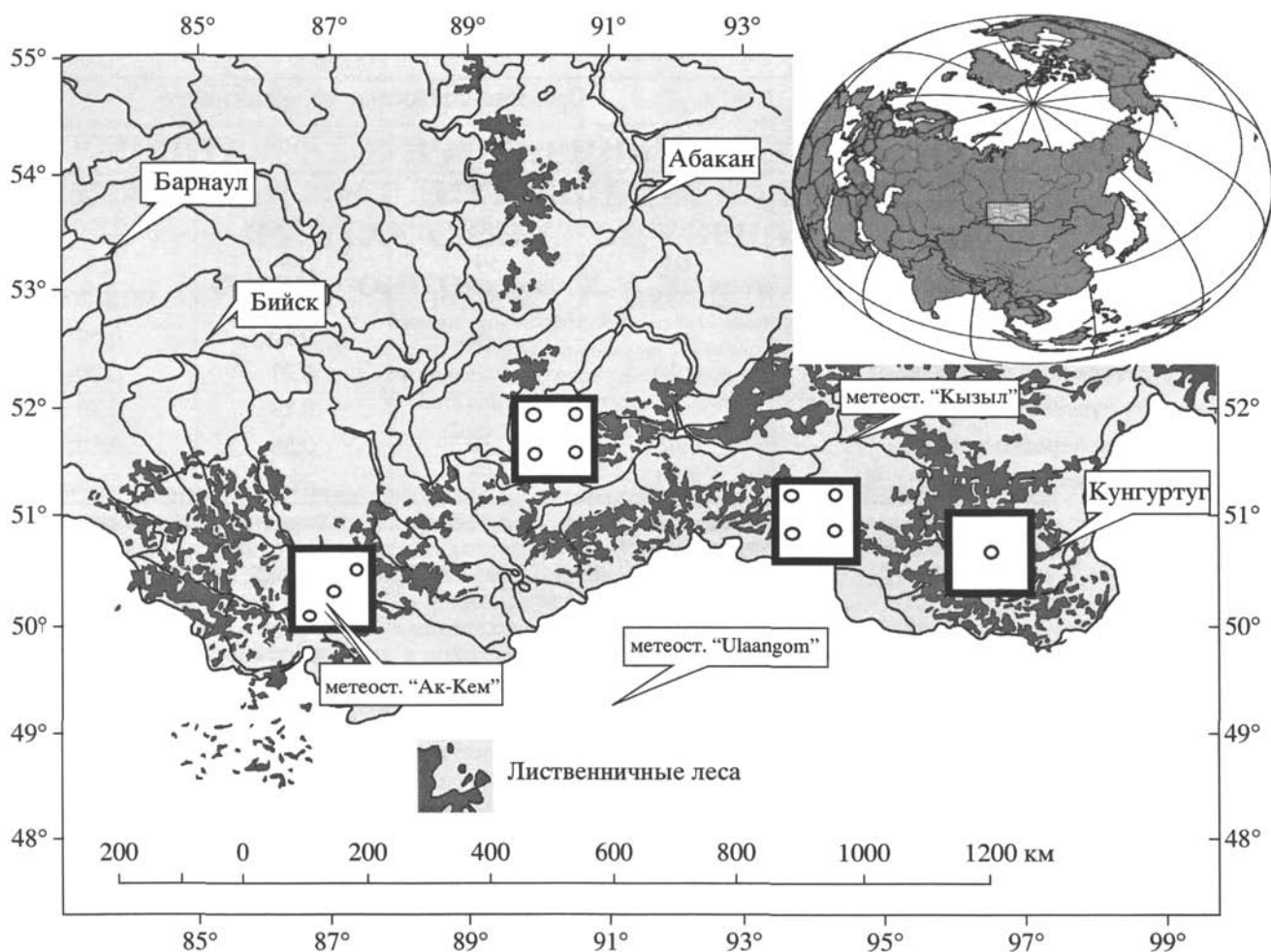


Рис. 1. Карта-схема расположения высокогорных древесно-кольцевых хронологий Алтае-Саянской горной страны (Южная Сибирь).

тельности (0.2-0.4) и синхронности (0.6-0.8). Такая согласованность позволила объединить близко расположенные хронологии и в дальнейшем рассматривать четыре их группы, которые характеризуют изменчивость радиального прироста лиственницы на верхней границе леса в восточной части Горного Алтая, Западном Саяне, Восточном Танну-Ола и нагорье Сангилен. Основные статистические характеристики обобщенных

Таблица 2. Парные коэффициенты корреляции и синхронности (коэффициент синхронности, %) между высокогорными древесно-кольцевыми хронологиями Алтае-Саянской горной страны для периода 1706-1999 гг. ( $N = 294$ )

Хронологии	ALT	SAY	KRH	ETU
ALT	1.0/100			
SAY	0.63/76	1.0/100		
KRH	0.44/69	0.38/73	1.0/100	
ETU	0.64/68	0.57/73	0.31/75	1.0/100

хронологий и число использованных деревьев приведены в табл. 1. Они показывают тесную межсерийную коррелятивную связь между индивидуальными сериями ( $R \leq 0.68$ ), высокую чувствительность ( $\leq 0.30$ ), а также значительное превышение сигнала над шумом, критерием которого послужил расчет репликации в хронологиях для уровня  $SSS$  (Subsample signal strength  $\geq 0.80$ ), в нашем случае 5 и более деревьев [25, 29, 38]. Все это свидетельствует о наличии в хронологиях сильного внешнего (климатического) сигнала. Наиболее длительная хронология получена для Горного Алтая (от 906 г. н. э.) [10], а также для нагорья Сангилен (от 1418 г. н. э.).

Сезонный ход температуры и осадков для ключевых метеостанций исследуемого региона свидетельствует, что положительных значений температура достигает в конце мая - начале июня (рис. 2). Длительность периода с положительными температурами составляет 6-7 мес. Распределение осадков неравномерно, максимум сдвинут на летние месяцы. В мае, июне выделяется сухой

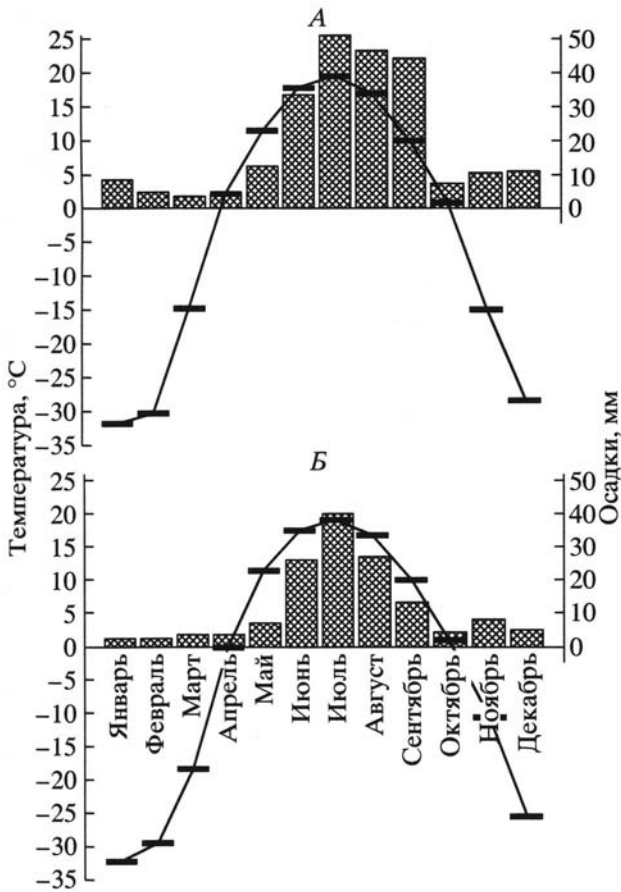


Рис. 2. Ход среднееголетних данных метеостанций: А - Кызыл (51°45' с.ш., 94°25' в.д., 630 м над ур. моря); Б - Ulaangom (49° с.ш., 91°20' в.д., 940 м над ур. моря).

период по климатограмме Госсена-Вальтера [37]. Расчет климатических функций отклика для четырех хронологий с климатическими данными отдельных месяцев ближайших метеостанций четко показал, что основное влияние на изменчивость радиального прироста деревьев лиственницы в исследуемом районе оказывают температуры июня-июля (рис. 3). Причем практически везде прослеживается преобладающее влияние температур июня. Так, для Горного Алтая корреляция с температурой июня превышает 0.6, для трех других участков - 0.5. Подобная корреляция характерна и для роста лиственницы на полярном пределе распространения лесной растительности [5]. В северных широтах продукция клеток древесины и ширина годичного кольца в основном определяется климатическими условиями первой половины сезона роста; влияние температуры во второй половине июля на продукцию новых клеток годичного кольца практически не значимо [27, 36]. Рост лиственницы на верхнем пределе леса показывает сходный климатический отклик.

Соединенные на одном графике древесно-кольцевые хронологии четырех горных районов Алтая и Саян показывают весьма синхронный характер погодичных и более длительных изменений радиального прироста (рис. 4). Так, нетрудно видеть синхронные депрессии в радиальном приросте в 1733, 1736, 1745, 1750, 1768, 1775-1976, 1785, 1788, 1813, 1841, 1854, 1884, 1910, 1911, 1927, 1958, 1961, 1988 и 1995 гг. В длительных изменениях прироста можно выделить периоды уско-

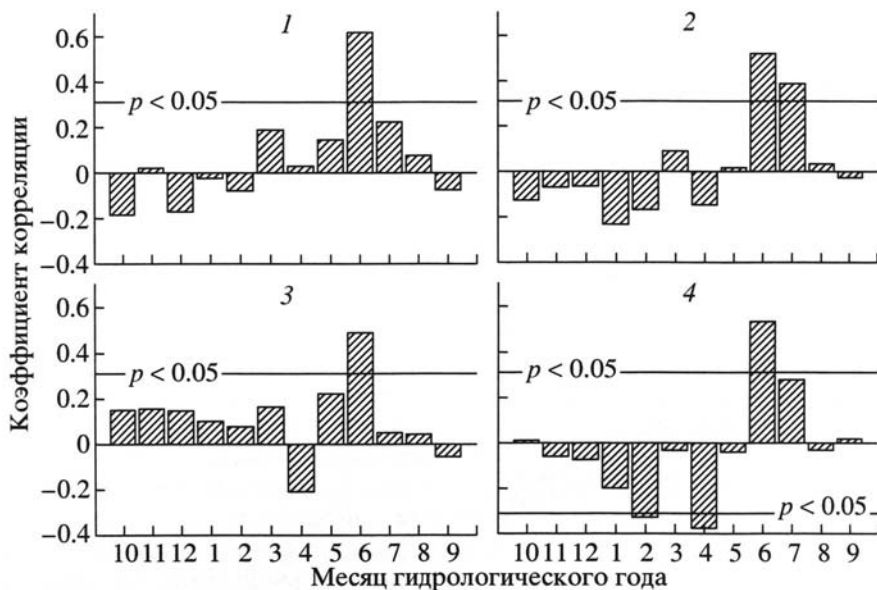
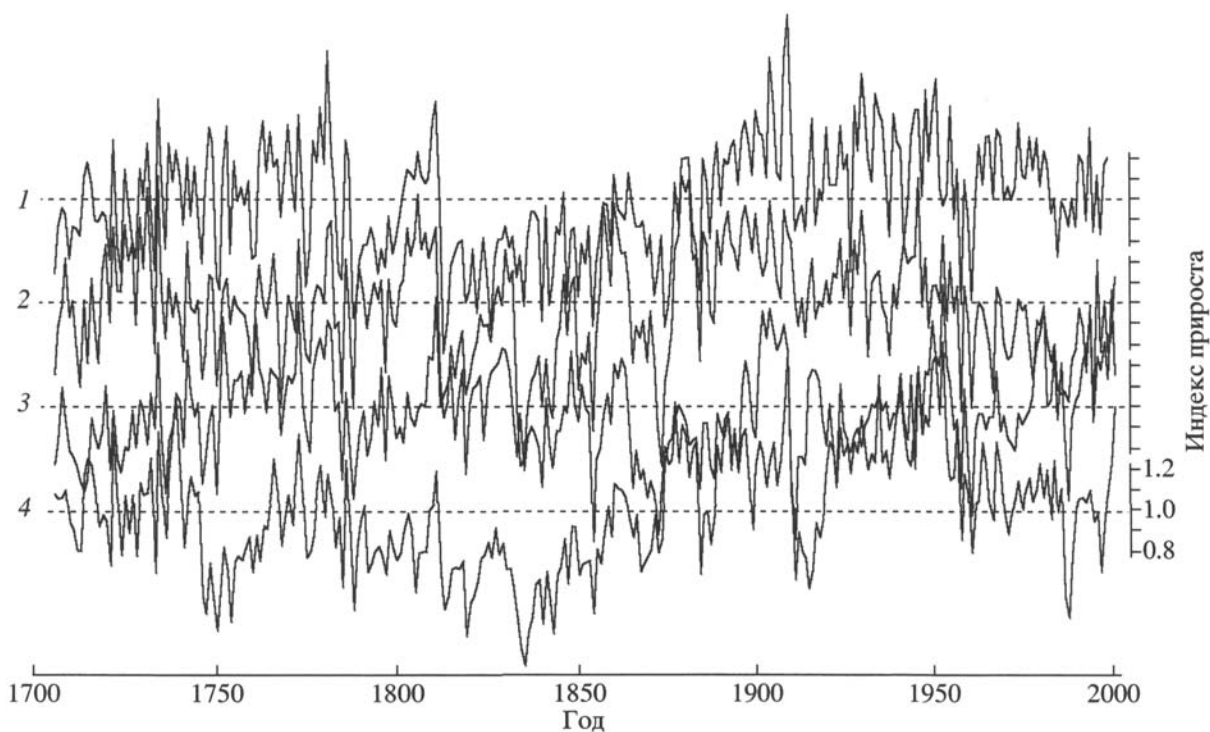


Рис. 3. Гистограммы парных коэффициентов корреляции между древесно-кольцевыми хронологиями Алтае-Саянской горной страны: 1 - Восточный Алтай, Курайский хребет (древесно-кольцевая хронология ALT); 2 - Западный Саян, Западно-Саянский хребет (древесно-кольцевая хронология SAY); 3 - Восточный Саян, хребет Восточная Танну-Ола (древесно-кольцевая хронология KRH); 4 - Восточный Саян, нагорье Сангилен (древесно-кольцевая хронология ETU)) и месячной температурой воздуха метеостанции Ulaangom.



**Рис. 4.** Погодичная согласованность древесно-кольцевых хронологий Алтае-Саянской горной страны (1 - Восточный Алтай, Курайский хребет (древесно-кольцевая хронология ALT), 2 - Западный Саян, Западно-Саянский хребет (древесно-кольцевая хронология SAY), 3 - Восточный Саян, хребет Восточная Танну-Ола (древесно-кольцевая хронология KRH), 4 - Восточный Саян, нагорье Сангилен (древесно-кольцевая хронология ETU)).

ренного (1725-1740, 1776-1783, 1802-1811, 1858-1865, 1878-1883, 1890-1900, 1930-1954 гг.) и замедленного (1700-1710, 1788-1800, 1812-1825, 1833-1855, 1865-1874, 1910-1920, 1957-1963, 1985-1990 гг.) роста. Хорошая согласованность изменений прироста для всех четырех районов отражается и в значимой корреляции и синхронности хронологий между собой, рассчитанной для периода последних 294 лет (табл. 2). Причем четкая пространственная закономерность в корреляции

**Таблица 3.** Парные коэффициенты корреляции между хронологиями и первой главной компонентой и доля первой главной компоненты для разных календарных периодов

Хронологии	Первая главная компонента, календарные периоды, годы			
	1706-1999	1706-1800	1801-1900	1901-1999
ALT	0.87	0.85	0.87	0.86
SAY	0.83	0.83	0.94	0.85
KRH	0.63	0.76	0.50	0.57
ETU	0.81	0.75	0.82	0.81
Объясненная доля дисперсии, %	63	64	64	61

отсутствует. Так, корреляция между хронологией Горного Алтая и Саян высока, но не менее высока и корреляция между хронологией Горного Алтая и нагорья Сангилен, наиболее удаленных друг от друга хронологий (около 1100 км). Меньшие, но значимые величины корреляции показывает хронология Восточного Танну-Ола со всеми остальными, что может быть обусловлено тем, что участки для сбора образцов располагались на высотах 1750-1950 м на южном макросклоне, поэтому климатическая функция показывает слабое влияние на радиальный прирост и температуры мая (рис. 3). Высокая согласованность в изменчивости радиального прироста хронологий четырех районов свидетельствует о наличии в них общего для всего исследуемого района климатического сигнала. Наиболее полно выделить и проанализировать этот климатический сигнал можно, рассматривая первые главные компоненты хронологий [1, 12]. В табл. 3 приведена оценка доли первой принципиальной компоненты, которая объясняет 61-64% суммарной дисперсии изменчивости радиального прироста четырех анализируемых хронологий отдельно за три последних столетия. Нетрудно видеть, что первая компонента стабильно объясняет более 60% общей изменчивости радиального прироста четырех хронологий. В соответствии с ранее проведенным анали-

Таблица 4. Результат калибровки моделей реконструкции летней температуры воздуха

Точечные или усредненные метеорологические данные	Период калибровки, годы	Статистика инструментальных рядов		Статистика моделей реконструкции	
		температура, °С	среднеквадратическое отклонение, °С	коэффициент корреляции	оценка различия между фактической и остаточной дисперсией по критерию Фишера
Обобщенная древесно-кольцевая хронология Алтае-Саянской горной страны					
Июнь					
Метеостанция					
Кызыл	1944-1986	17.91	1.44	0.49 ( $p < 0.001$ )	$F_{1.41} = 12.7$ ( $p < 0.001$ )
Ulaangom	1952-1997	17.40	1.43	0.67 ( $p < 0.001$ )	$F_{1.44} = 35.0$ ( $p < 0.001$ )
Ак-Кем	1951-1980	7.53	1.26	0.62 ( $p < 0.01$ )	$F_{1.28} = 17.4$ ( $p < 0.01$ )
Июнь-Июль					
Приземная температура воздуха, усредненная для координатной сетки (грида) 50-55° с.ш. 80-105° в.д.	1880-1999	0.12*	0.92	0.37 ( $p < 0.001$ )	$F_{1.118} = 18.4$ ( $p < 0.001$ )
	1950-1999	0.11*	0.89	0.71 ( $p < 0.001$ )	$F_{1.48} = 48.3$ ( $p < 0.001$ )
Обобщенная древесно-кольцевая хронология субарктики Азии					
Июнь-Июль					
Приземная температура воздуха, усредненная для координатной сетки (грида) 65-75° с.ш. 80-105° в.д.	1881-1990	-0.44*	1.89	0.65 ( $p < 0.001$ )	$F_{1.106} = 75.9$ ( $p < 0.001$ )
	1950-1990	0.15*	1.42	0.59 ( $p < 0.001$ )	$F_{1.39} = 21.2$ ( $p < 0.001$ )

\*В отклонениях от средней температуры воздуха, рассчитанной для 1901-1990 гг., °С [33].

зом функции отклика можно предполагать, что эта компонента коррелирована с летней температурой. Действительно, корреляция показывает, что первая главная компонента имеет значимую корреляцию с изменениями температуры июня и июля, а с температурой июня корреляция достигает 0.67. Такая связь позволяет использовать первую главную компоненту как основу для расчета модели реконструкции и собственно реконструкции летней температуры. Основные параметры модели приведены в табл. 4. Для периода калибровки модели (периода с имеющимися инструментальными данными) статистические оценки высоки ( $p < 0.001$ ). Лучшие связи показывает первая главная компонента с климатическими данными метеостанции Ulaangom, а также по "гриду" приземной температурой воздуха в координатной сетке 50-55° с.ш., 80-105° в.д. для периода от 1950 по 1999 г., обеспеченного значительным числом инструментальных метеонаблюдений (рис. 5, А).

Рассмотрим результат реконструкции летней температуры, приведенной на рис. 5, Б. При сопоставлении с длительными изменениями летней температуры на севере Сибири [3-5, 31] можно отметить значительные совпадения вековых и погодичных колебаний и выделить некоторые особенности. Например, для периода с 1706 по 1810 г. колебания температуры в высоких широтах и Алтае-Саянской горной стране не показы-

вают выраженных трендов и в целом весьма сходные. Однако начиная с 1800 г. обе кривые выявляют резкое падение температуры, которое продолжается около трех десятилетий, после чего отмечается устойчивый тренд, вплоть до 1940-х годов, затем температура в высоких широтах, также как и в исследуемом районе, сначала понижалась, а затем стабилизировалась. Особенно хорошо согласованность длительных изменений температуры в двух сравниваемых районах Азии можно увидеть в кривых низкочастотной (40-летней) фильтрации. В более короткопериодических колебаниях (внутривековых) различия кривых значительнее. Например, ход изменения летней температуры в Алтае-Саянской горной стране имеет несколько выраженных резких падений (после 1763, 1782, 1812, 1832, 1862, 1884, 1912, 1953, 1954 гг.). Эти падения значительны, после них ход кривой прироста (и реконструкции изменения летней температуры) восстанавливается к исходному уровню в течение нескольких (до 10) лет, а сами депрессии прироста оказываются хорошо согласованными с годами сильных вулканических извержений (рис. 6) [40].

Отличительной особенностью вариаций летней температуры в Алтае-Саянской горной стране являются резкие падения температуры, согласованные с крупными вулканическими извержениями. Таких резких падений температуры на севере, сопровождающихся достаточно длитель-

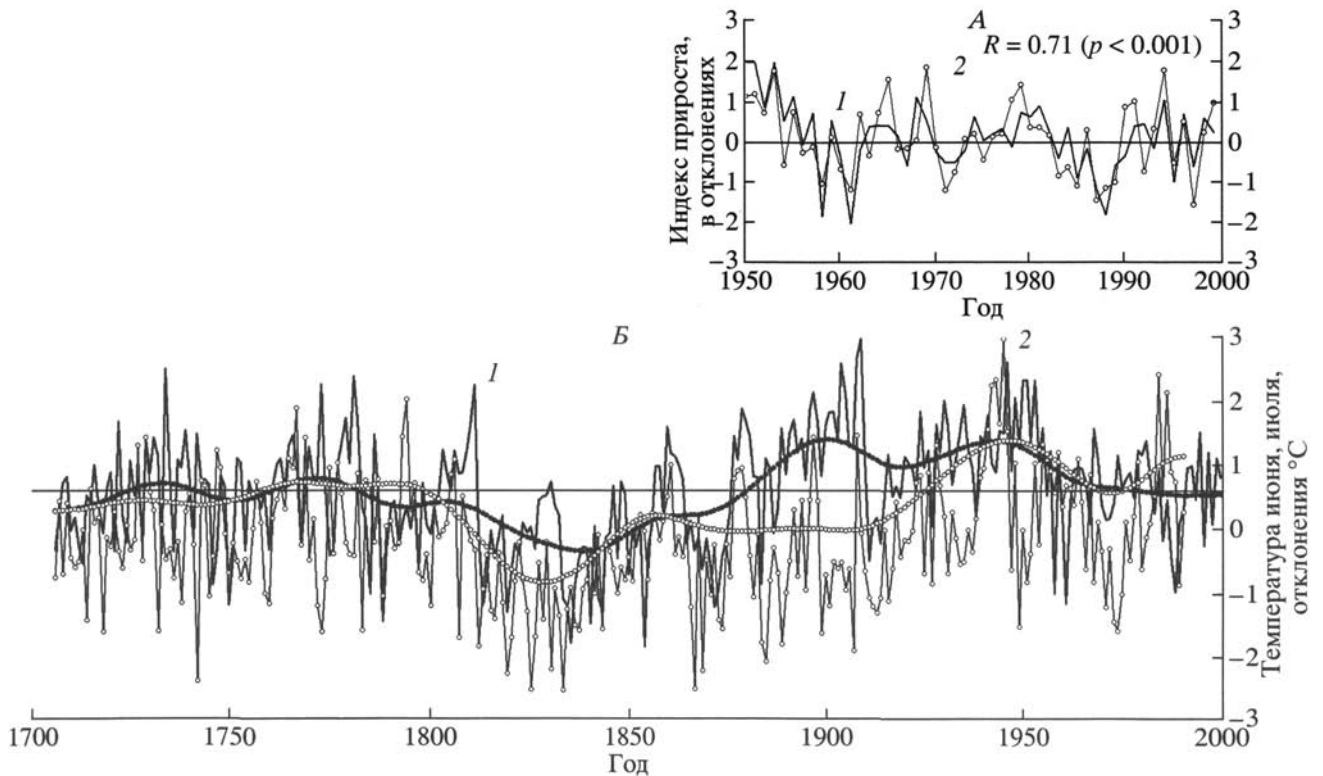
Таблица 5. Статистика инструментальных рядов и моделей реконструкции

Точечные или усредненные метеоданные, координаты, высота над ур.м.	Период калибровки, годы	Статистика инструментальных рядов		Статистика моделей реконструкции			
		средняя температура, °С	среднеквадратическое отклонение, °С	коэффициент корреляции (уровень доверительной вероятности)	оценка различия между фактической и остаточной дисперсией по критерию Фишера	коэффициенты уравнения вида: $T = B_0 + (B_1 PC_1)$	
						$B_0$	$B_1$
Алтае-Саянская хронология							
Июнь							
Кызыл 50°45' с.ш. 94°25' в.д. 630 м	1944-1986	17.91	1.44	0.49 ( $p < 0.001$ )	$F_{1.41} = 12.7$ ( $p < 0.001$ )	17.62	0.78
Ulaangom 49°00' с.ш. 91°20' в.д. 940 м	1952-1997	17.40	1.43	0.67 ( $p < 0.001$ )	$F_{1.44} = 35.0$ ( $p < 0.001$ )	17.36	1.18
Ак-Кем 49°58' с.ш. 86°42' в.д. 2050 м	1951-1980	7.53	1.25	0.62 ( $p < 0.01$ )	$F_{1.28} = 17.4$ ( $p < 0.01$ )	7.32	0.90
Июнь-июль							
Приземная температура воздуха* для координатной сетки 50-55° с.ш. 80-105° в.д.	1880-1999	0.12*	0.92	0.37 ( $p < 0.001$ )	$F_{1.118} = 18.4$ ( $p < 0.001$ )	-0.17	0.38
	1950-1999	0.11*	0.89	0.71 ( $p < 0.001$ )	$F_{1.48} = 48.3$ ( $p < 0.001$ )	-0.00	0.73
Субарктическая хронология							
Июнь-июль							
Приземная температура воздуха* для координатной сетки 65-75° с.ш. 80-105° в.д.	1881-1990	-0.44*	1.89	0.65 ( $p < 0.001$ )	$F_{1.106} = 75.9$ ( $p < 0.001$ )	-0.71	1.20
	1950-1990	0.15*	1.42	0.59 ( $p < 0.001$ )	$F_{1.39} = 21.2$ ( $p < 0.001$ )	-0.19	0.95

\* В отклонениях [33].

ными последующими периодами постепенного увеличения температуры, не наблюдается. Хотя для севера четко показано, что сильные вулканические извержения также соотносятся с депрессиями в радиальном росте деревьев и падением температуры в течение 4-5 последующих лет [13]. Если уменьшение летней температуры вследствие вулканических извержений связано с выбросом значительных количеств вулканического пепла и аэрозолей в высокие слои атмосферы и последующим уменьшением инсоляции, то, веро-

ятно, этот эффект проявляется в большей степени в средних широтах. Значит, в средних широтах понижение температуры усиливается уменьшением инсоляции. Одно из возможных объяснений таких различий в реакции на уменьшение инсоляции может быть связано с тем, что в высоких широтах рост деревьев происходит в диапазоне постоянного лимитирования температурой, и температура практически никогда не достигает оптимальных для роста значений [5] в то время как инсоляция вследствие практически 24-часо-



**Рис. 5.** Сопоставление погодичных колебаний (А) обобщенной Алтае-Саянской хронологии (1) с ходом температуры воздуха июня, июля (2), рассчитанной для координатной сетки 50-55° с.ш., 80-105° в.д. и - сравнение кривых вековых и погодичных колебаний температуры воздуха июня, июля (Б), реконструированных для Алтае-Саянской горной страны (1) и Субарктической области Сибири (2). Пунктиром выделены низкочастотные колебания с частотой более 40 лет (низкочастотная фильтрация исходных рядов).

вого светового дня (в июне и июле) близка к оптимуму даже в холодные годы. В средних широтах в высокогорье летние температуры несколько выше и могут в отдельные годы достигать оптимальных значений. Однако летняя инсоляция ограничена длиной светового дня, и ее уменьшение сильнее сказывается на скорости роста (фотосинтезе, продукции ассимилянтов и др.), чем изменения температуры.

**Заключение.** Полученные результаты важны как для анализа региональных изменений климата, так и в глобальном аспекте. Хорошая согласованность длительных изменений летней температуры на севере и юге Сибири свидетельствует, что эти изменения характерны для обширной части Азиатского континента в целом. Учитывая, что на протяжении Позднего голоцена (последние 2500 лет) изменения климата на севере Сибири адекватны изменениям климата циркумполярной области Северного полушария [3, 4, 30-32], можно полагать, что в изменениях летней температуры Алтае-Саянской горной страны присутствует значительная глобальная составляющая. Наши результаты показывают, что диапазон изменений летней температуры за последние

300 лет для севера и юга Сибири имеет практически одинаковую амплитуду. Так, разница между самым холодным (первая половина XIX в.) и самым теплым (1930-1950-е годы) периодами в погодичных изменениях летней температуры воздуха на севере составляет 3.0°C, на юге - 2.6°C (рис. 5, Б). Если сравнивать сглаженные кривые, то отличия в их ходе можно отметить только для начала XIX в. (на севере снижение температуры значительнее - на 0.5°C) и на рубеже XIX и XX вв., когда температура на юге практически на 1°C выше, чем на севере (рис. 5, Б). Интересным является тот факт, что по сглаженным кривым на протяжении XVIII в. летняя температура как на севере, так и на юге практически одинакова, значительные расхождения наблюдаются XIX в., позднее ход сглаженных летних температур снова неплохо совпадает.

Инструментальные метеорологические данные средних широт уверенно показывают наличие положительного тренда средних годовых температур на протяжении XX в. [33]. Это, однако, не наблюдается в ходе летних температур, определяющих скорость роста древесных растений в условиях температурного лимитирования. Нет новых и достоверных данных о том, как увеличе-



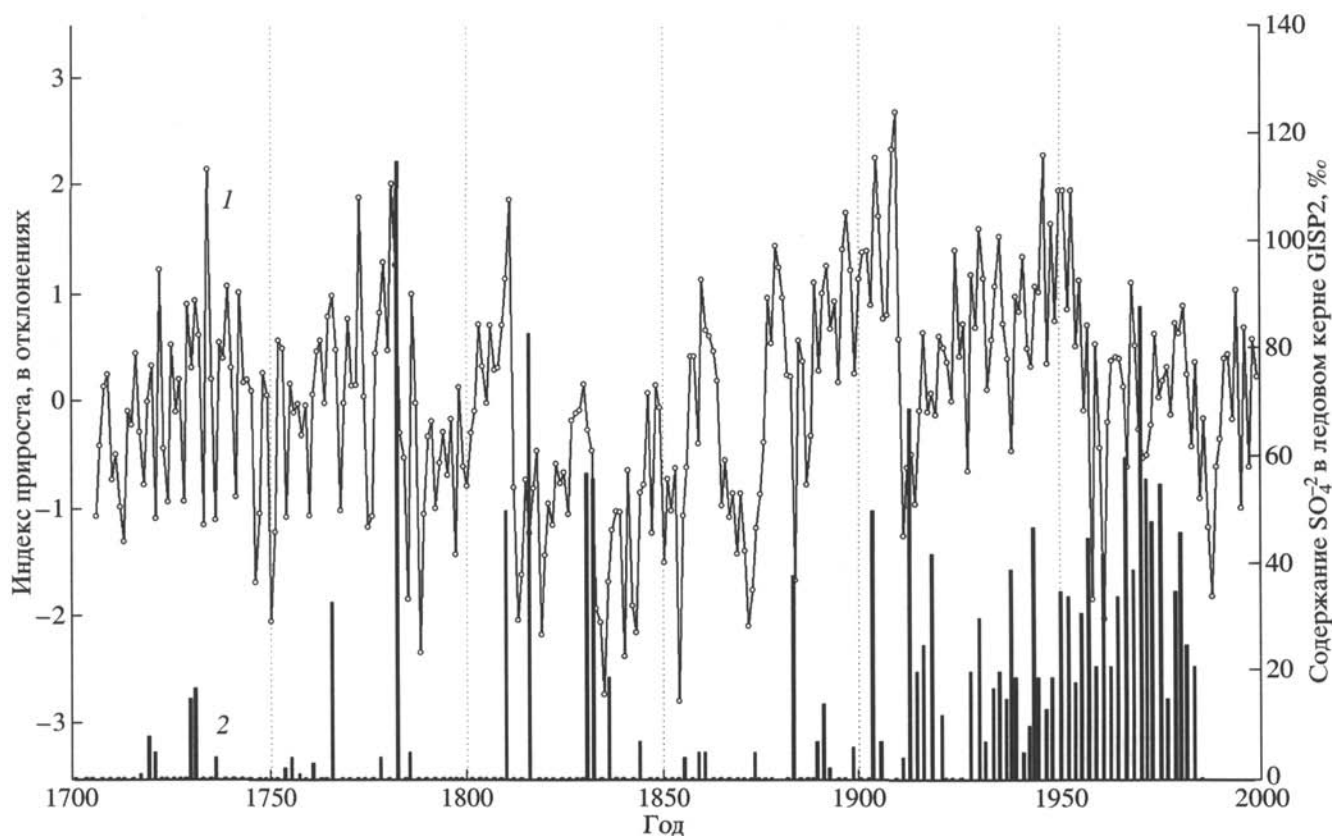


Рис. 6. Сравнение кривой индексов обобщенной Алтае-Саянской хронологии (1) с содержанием вулканического сульфата  $\text{SO}_4^{2-}$  (2) в ледовом керне станции бурения GISP2 Гренландского ледового щита [40].

ние средних годовых температур окажет влияние на прирост древесных растений в бореальной зоне.

Климатические модели прогнозируют большее потепление в высоких широтах, чем в средних, причем это потепление обуславливается увеличением концентрации парниковых газов [2, 8]. Полученные результаты не согласуются с расчетами климатических моделей в оценке изменений летней температуры. Даже в теплый период середины и особенно конца XX в. отклонения июньской температуры в высоких широтах было не больше, чем в средних. Практически отсутствует видимое резкое увеличение температуры в последние десятилетия XX в. как на севере, так и на юге Сибири. Это расходится с данными, полученными по Северному полушарию [28]. Такое расхождение свидетельствует, что в ходе летних температур, наиболее важных для роста древесной растительности в высоких широтах и на верхнем пределе ее распространения, существенного повышения не наблюдается. Поэтому можно заключить, что пока рост деревьев, растущих на территории бореальных лесов Азии, не испытывает влияния глобального потепления.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев С.Г., Ваганов Е.А., Наурзбаев М.М., Тулохонов А.К. Регистрация годичными кольцами сосны многолетних колебаний атмосферных осадков, стока Селенги и уровня озера Байкал // Докл. РАН. 1999. Т. 368. № 3. С. 400-403.
2. Антропогенные изменения климата / Под ред. Будыко М.И. и др. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. 405 с.
3. Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазена В.С. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. Новосибирск: Наука, 1996. 246 с.
4. Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Хантемиров Р.Н., Наурзбаев М.М. Изменчивость летней температуры воздуха в высоких широтах Северного полушария за последние 1.5 тыс. лет. Сравнительный анализ данных годичных колец деревьев и ледовых колонок // Докл. РАН. 1998. Т. 358. № 5. С. 681-684.
5. Ваганов Е.А., Шашкин А.В. Рост и структура годичных колец хвойных. Новосибирск: Наука, 2000. 214 с.
6. Высоцкая Г.С., Дмитриев А.И., Ноженкова Л.Ф., Шишов В.В. Пространственное распределение трендов климатических параметров (XX век) // Основные закономерности глобальных и региональных изменений климата и природной среды в позднем кайнозое Сибири. Новосибирск: Наука, 2002. Вып. 1. С. 83-86.

7. Кондратьев К.Я. Изменения глобального климата: реальность, предположения и вымысел // Исслед. Земли из космоса. 2002. № 1. С. 3-23.
8. Мелешко В.П., Катцов В.М., Спорышев П.В., Вавулин С.В., Говоркова В.А. Изучение изменений климата с помощью моделей общей циркуляции атмосферы и океана // Изменения климата и их последствия. СПб.: Наука, 2002. С. 13-35.
9. Методы дендрохронологии. Ч. 1. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации. Методическое пособие / Под ред. Ваганова Е.А. и др. Красноярск: Изд-во Красноярского гос. ун-та, 2000. 80 с.
10. Овчинников Д.В., Ваганов Е.А. Дендрохронологические характеристики лиственницы сибирской (*Larix sibirica* L.) на верхней границе леса в Горном Алтае // Сиб. экологический журн. 1999. № 2. С. 145-152.
11. 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.
12. Панюшкина И.П., Наурызбаев М.М. Климатическая информативность радиальных размеров трахеид в годичных кольцах лиственницы // Проблемы реконструкции климата и природной среды голоцена и плейстоцена Сибири. Новосибирск: Наука, 2000. Вып. 2. С. 420-421.
13. Сидорова О.В., Наурызбаев М.М. Хронология вулканических извержений, зафиксированная в годичных кольцах деревьев Субарктики Восточной Сибири // Экология пойм Сибирских рек и Арктики. Тез. докл. Томск, 2000. С. 10.
14. Сидорова О.В., Наурызбаев М.М. Реакция на климатические изменения лиственницы Каяндера на верхней границе леса и в долине реки Индигирка // Лесоведение. 2002. № 2. С. 73-75.
15. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами М.: Мир, 1973. 947 с.
16. Шишов В.В., Ваганов Е.А., Хьюз М.К., Корец М.А. Пространственная изменчивость радиального прироста деревьев на территории Сибири в последнем столетии // Докл. РАН. 2002. Т. 375. № 5. С. 676-679.
17. Шиятов С.Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале. М.: Наука, 1986. 136 с.
18. Barber V.A., Juday G.P., Finney B.P. Reduced growth of Alaskan white spruce in twentieth century from temperature-induced drought stress // Nature. 2000. № 405. P. 668-673.
19. Briffa K.R., Jones P.D., Schweingruber F.H., Osborn T.J., Shiyatov S.G., Vaganov E.A. Reduced sensitivity of recent tree-growth to temperature at high northern latitudes // Nature. 1998. № 391. P. 672-682.
20. Carrer M., Urbinati C. A chronology of *Pinus cembra* (L.) in the Italian Eastern Alps // Dendrochronologia. 1996. № 14. P. 209-215.
21. Esper J., Cook E.R., Schweingruber F.H. Low-frequency signals in long tree-ring chronologies for reconstructing past temperature variability // Science. 2002. № 295. P. 2250-2253.
22. Fritts H. C. Tree rings and climate. London; N.Y.; San Francisco: Academic Press, 1976. 567 p.
23. Luckman B.H., Briffa K.R., Jones P.D., Schweingruber F.H. Tree ring based reconstruction of summer temperatures at the Columbia Icefield, Alberta, A.D. 1073-1983 // The Holocene. 1997. № 7. P. 375-389.
24. Holmes R.L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement // Tree-ring Bulletin. 1983. V. 44. P. 69-75.
25. Holmes R.L., Adams R.K., Fritts H.C. Tree-ring chronologies of western North America: California, Eastern Oregon and Northern Great basin with procedures used in chronology department work including users manuals for computer programs COFECHA and ARSTAN chronology series. Tucson: Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, 1986. P. 47.
26. Hughes M.K., Graumlich L.J. Multimillennial dendroclimatic studies from the western United States // Climatic variations and forcing mechanisms of the last 2000 years. Berlin: Springer, 1996. P. 109-124.
27. Hughes M.K., Vaganov E.A., Shiyatov S.G., Touchan R., Funkhouser G. Twentieth-century summer warmth in northern Yakutia in a 600-year context // The Holocene. 1999. V. 9. P. 603-608.
28. Mann M.E., Bradley R.S., Hughes M. K. Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries // Nature. 1998. V. 392. P. 779-782.
29. Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences // Eds. Cook E.R. et al. Dordrecht; Boston; London: Kluwer Acad. Publ., 1990. 394 p.
30. Наурызбаев М.М., Ваганов Е.А. Variation of summer and annual temperature in the East of Taymir and Putoran (Siberia) over the last two millennia inferred from tree-rings // Geophysical Research. 2000. V. 105. № 6. P. 7317-7327.
31. Наурызбаев М.М., Ваганов Е.А., Сидорова О.В., Schweingruber F.H. Summer temperatures in eastern Taimyr inferred from a 2427-year late-Holocene tree-ring chronology and earlier floating series // The Holocene. 2002. V. 12.6. P. 727-736.
32. Overpeck J., Hughen K., Hardy D., Bradley R., Case R., Douglas M., Finney B., Gajewsky K., Jacoby G., Jennings A., Lamoureaux S., Lasca A., MacDonald G., Moore J., Retelle M., Smith S., Wolfe A., Zielinski G. Arctic environmental change of the last four centuries // Science. 1997. V.278(14). P. 1251-1256.
33. Peterson T.C., Karl T.R., Jamason P.F., Knight R., Easterling D.R. First difference method: Maximizing station density for the calculation of long-term global temperature change // Geophysical Research: Atmospheres. 1998. V. 103. P. 25967-25974.
34. Rinn F. Tsap V. 3.6 Reference manual: Computer program for tree-ring analysis and presentation. Germany: Heidelberg, 1996. 263 p.
35. Schweingruber F.H. Tree rings and environment dendroecology. Bern; Stuttgart; Vienna, Paul Haupt Publ, 1996. 609 p.
36. Vaganov E.A., Hughes M.K., Kirydanov A.V., Schweingruber F.H., Silkin P.P. Influence of snowfall and melt timing on tree growth in subarctic Eurasia // Nature. 1999. V. 400. P. 149-151.

37. *Walter H., Lieth H.* Klimadiagramm Weltatlas. Jena, Germany: G. Fischer Verlag, 1960-1967. Irred. pag.
38. *Wigley T.M.L., Briffa K.R., Jones P.D.* One the Average Value of Correlated Time Series, with Applications In Dendroclimatology and Hydrometeorology // *Climate and Applied Meteorology*. 1984. № 23. P. 201-213.
39. *Zhou L., Tucker C.J., Kaufmann R.K., Stayback D., Shabanov N.V., Myneni R.B.* Variations in Northern Vegetation Activity Inferred from Satellite Data of Vegetation Index During 1981 to 1999 // *Geophysical Research*. 2001. V. 106. P. 20069-20083.
40. *Zielinski G.A., Mayewski P.A., Meeker L.D., Whitlow S., Twickler M.S., Morrison M., Meese D., Alley R.B., Gow A.J.* Record of volcanism since 7000 B.C. from the GISP2 Greenland ice core and implications for the volcano-climatic system // *Science*. 1994. № 264. P. 948-952.

## **Prolonged Changes in Summer Temperature and Radial Increment of Larch Trees at the Upper Timberline in the Altai-Sayan Mountains**

**O. Ch. Oidupaa, E. A. Vaganov, and M. M. Naurzbaev**

An attempt to reveal and analyze a temperature signal common for four regional tree-ring chronologies from different regions of the Altai-Sayan Mountains (the Mountain Altai, the western Sayan, the eastern Tannu-Ola, and the Sangilen Upland) was made. A high co-ordination of regional (generalized) chronologies attests that the general climatic signal is determined by the first principal component that explains more than 60% of the total variation of the radial tree component. In the study region, summer (July-June) temperature makes the main contribution to the variation of radial increment in larch trees at the upper timberline. The calculated statistic models allowed reconstructing summer temperatures for the last 300 years in the Altai-Sayan Mountains. The results on this reconstruction were compared to the data on changes in summer temperatures in northern Central Siberia for the same time period. The changes in summer temperature for the last 300 years in northern and southern regions have almost equal amplitude. The difference between air temperatures in the coldest (the early 19<sup>th</sup> century) and warmest (the 1930s-1950s) summer periods was 3.0°C in the north and 2.6°C in the south. The results obtained are not quite compatible with calculations of climatic models. Deviations from summer temperature in high latitudes were greater than in middle ones even in the warm periods of the mid- and late 20<sup>th</sup> century. In the last decades of the 20<sup>th</sup> century, a drastic increase in temperature both in the north and south was not observed. This conclusion does not coincide with those drawn by Mann et al. for the Northern Hemisphere (1998). Such a discrepancy in results attests that the course of summer temperatures (the most important for the growth of woody plants in high latitudes - the limit of their spreading) does not reveal significant warming of climate. Thus, great territory of Asian boreal forests is not exposed to global warming.