

АТМОСФЕРНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И КЛИМАТ

УДК 630*561.24:581.5(57:511)

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА СЕВЕРЕ ЕВРАЗИИ
ПО ДАННЫМ ТЫСЯЧЕЛЕТНИХ ДРЕВЕСНО-КОЛЬЦЕВЫХ ХРОНОЛОГИЙ

М. М. Наурзбаев, Е. А. Ваганов, О. В. Сидорова

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 660036, Красноярск, Академгородок, Россия

По экспериментальным данным сети древесно-кольцевых хронологий субарктической области Сибири, Урала и Скандинавского полуострова выполнена интегральная оценка пространственно-временной сопряженности радиального прироста деревьев за последние 2000 лет. Длительные изменения радиального прироста деревьев свидетельствуют об общности глобальных прошлых изменений климата субарктики Евразии. Фазовые и амплитудные расхождения погодичных и внутривековых колебаний приземной температуры воздуха из отдельных секторов субарктики Евразии сменяются синхронностью при рассмотрении вековых и сверхвековых циклических компонент. Средневековое потепление со второй половины X по XII в. и потепление климата в XV в. сменяются „малым ледниковым периодом“ с кульминацией похолодания в XVII в. Современное потепление, начавшееся в середине XIX в., по амплитуде увеличения температуры пока не превышает уровня средневекового потепления. Изменения температуры, определенные по древесно-кольцевым хронологиям, не выявляют необычно резкого повышения температуры в последнее столетие, которое можно достоверно соотнести с увеличением концентрации парниковых газов в атмосфере планеты. Современный период характерен пространственной неоднородностью эффекта потепления климата в различных секторах субарктики Евразии. Интегральная древесно-кольцевая хронология по северу Евразии показывает хорошее совпадение с иными косвенными источниками информации о климате позднего голоцена, в том числе с содержанием изотопа ^{18}O в ледовой колонке GISP2 о. Гренландия.

Субарктика, Евразия, климат, реконструкция, прирост деревьев

VARIABILITY OF THE AIR TEMPERATURE IN THE NORTH
OF EURASIA INFERRED FROM MILLENNIAL TREE-RING CHRONOLOGIES

M. M. Naurzbaev, E. A. Vaganov, O. V. Sidorova

V. N. Sukachev Institute of Forest, SB RAS, 660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, Russia

An integral estimation of tree-ring growth spatial-temporal conjugation was carried out based on tree-ring chronology network of subarctic zone of Siberia, Ural and Scandinavia for the last 2000 years. Phase and amplitude disagreements of the annual growth and its decadal fluctuation in different subarctic sectors of Eurasia are changed by synchronous fluctuation when century and longer growth cycles are considered. Long-term changes of radial growth indicate common character of global climatic changes in subarctic zone of Eurasia. Medieval warming occurred from 10 to 12 centuries and 15-century warming were changed by Little Ice Age with the cooling culmination taking place in the 17 century. Current warming which started at the beginning of the 19th-century for the moment does not exceed the amplitude of the medieval warming. The tree-ring chronologies do not indicate unusually abrupt temperature rise during the last century, which could be reliably associated with greenhouse gas increasing in the atmosphere of our planet. Modern period is characterized by heterogeneity of warming effect in subarctic regions of Eurasia. Integral tree-ring chronology of the Northern Eurasia shows well agreement with ^{18}O fluctuations in the ice core obtained for Greenland (GISP2).

Subarctic, Eurasia, climate, reconstruction, tree-ring growth

ВВЕДЕНИЕ

Прямые измерения свидетельствуют об устойчивом повышении глобальной приземной температуры воздуха на $0,6 \pm 0,2$ °C за последние 140 лет [Bradley, 2001]. Анализ как прямых, так и косвенных источников климатической информации показывает, что скорость и амплитуда текущего потепления не имеют аналогов на протяжении последних столетий, что, по мнению авторов, является достаточным основанием для суждения о

значимости антропогенной компоненты в современных изменениях климата [Briffa et al., 1996; Overpeck et al., 1997; Mann et al., 1998; Bradley, 2000].

Реальным инструментом оценки антропогенной составляющей в современных изменениях климата, в частности в изменениях приземной температуры воздуха, является выявление естественных (природных) колебаний температуры в доиндустриальном прошлом на протяжении веков и ты-

сячелетий. Такие косвенные источники сведений об изменениях климата, как древесно-кольцевые хронологии, ледовые колонки, слои осадконакопления, обладают высоким временным разрешением и охватывают интервалы времени от года до сотен тысяч лет [Bradley, Eddy, 1989]. По мере накопления палеоклиматических данных появляется реальная возможность их сравнительного анализа и выявления изменений глобального характера, охватывающих значительные территории земного шара [Ваганов и др., 1996]. Согласно палеоклиматическим данным, в прошлом климат земли претерпевал значительные изменения, по косвенным источникам климатической информации (слои годичного прироста деревьев, сталагмитов, донных озерных и океанических осадков, изотопный состав элементов в кернах ледников и пр.) наиболее изучена история климата голоцена. Результаты свидетельствуют о глобальном потеплении климата в период так называемого „климатического оптимума голоцена“, глобальная приземная температура этого периода, по разным источникам, превышала на 3-4 °С современное потепление (XX в. н.э.) [Борзенкова, 1988; Bradley, Eddy, 1989; Наурзбаев и др., 2001]. В позднем голоцене ближайшие исторические аналоги современного потепления климата - это потепление на рубеже XIII и XIV вв. и средневековое потепление в период с X по XII в. [Lamb, 1977; Bradley, 2000; Naurzbaev, Vaganov, 2000; Jones et al., 2001]. Есть доказательства, что средневековое потепление не было повсеместным и по амплитуде не превосходило текущее [Hughes, Diaz, 1994; Mann et al., 1998]. Тем не менее доказательства о необычности современного потепления климата имеют и весомые контраргументы [Кондратьев, Демирчян, 2002]. Ряд авторов, согласно палеоклиматическим источникам, оценивают потепление в 30-40-е годы XX в. как близкое к средневековому [Dahl-Jensen et al., 1998; Naurzbaev, Vaganov, 2000; Esper et al., 2002].

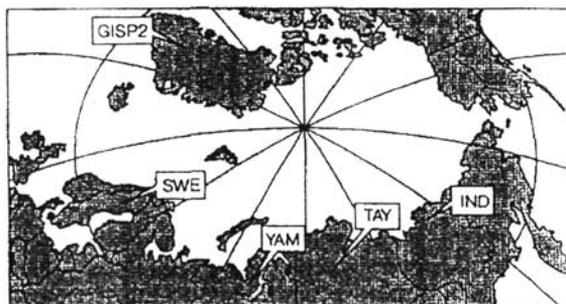


Рис. 1. Местоположение тысячелетних древесно-кольцевых хронологий SWE (Швеция), YAM (Ямал), TAY (Таймыр), IND (Индигирка) и станции GISP 2.

Усилиями нескольких дендрохронологических лабораторий в субарктической области Евразии создана сеть дендроклиматических станций с пространственным разрешением 200-300 км дуготной сети от 70 до 160° в.д. субарктики Сибири. Древесно-кольцевые хронологии сети станций позволили провести пространственно-временную реконструкцию изменений летней температуры воздуха в циркумполярной области Северного полушария за последние 400 лет [Ваганов и др., 1996]. Одновременно собирался материал (стволы отмерших деревьев, полуископаемая древесина), позволивший получить древесно-кольцевые хронологии за значительно более длительные периоды - несколько тысячелетий для нескольких ключевых районов севера Евразии [Shiyatov, 1993; Хантемиров, 1999; Briffa et al., 1996; Naurzbaev, Vaganov, 2000; Сидорова, Наурзбаев, 2002; Esper et al., 2002]. Этот материал позволяет более детально проанализировать изменчивость прироста деревьев и температуры, сравнив XX в. и средневековье, а также дать количественные оценки для отдельных перио-

Таблица 1 Характеристика дендроклиматических хронологий

Хронологии*	Географическое положение	Координаты, в градусах (с.ш.-в.д.)	Длительность хронологии, календарные годы	Метод стандартизации**	Ссылка на опубликованные данные
„Швеция“ (SWE)	Скандинавский полуостров	68-20	1 ↔ 1993	„RCS“	Briffa, 2000
„Ямал“ (YAM)	Ямальский полуостров	67-70	1 ↔ 1996	„коридор“	Хантемиров, 1999; Briffa, 2000
„Таймыр“ (TAY)	Таймырский полуостров	72-102	1 ↔ 1996	„RCS“	Naurzbaev, Vaganov, 2000
„Индигирка“ (IND)	Низовье р. Индигирка	70-148	1 ↔ 1998	„RCS“***	Hughes et al., 1999; Сидорова, Наурзбаев, 2000

* Условное название хронологии.

** Условное обозначение метода стандартизации: „RCS“, по [Briffa et al., 1996]; „коридор“, по [Шиятов, 1986].

*** Метод „RCS“, согласно [Esper et al., 2002].

дов последних двух тысячелетий, что и стало предметом данной работы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Основным материалом для пространственно-временного анализа изменений приземной температуры воздуха в высоких широтах Евразии послужили тысячелетние древесно-кольцевые хронологии, полученные перекрестным датированием данных измерений ширины годичных колец наиболее старых живых деревьев, хорошо сохранившихся остатков стволов отмерших деревьев и полускопаемой древесины из аллювиальных и озерных отложений (рис. 1). Кроме них использованы также данные более плотной сети дендроклиматических станций, ряды которых значительно короче (до 500-600 лет) [Ваганов и др., 1996]. Для выделения климатического сигнала и исключения возрастных изменений радиального прироста индивидуальные кривые ширины годичных колец стандартизовались с помощью RCS-метода [Briffa et al., 1996; Naurzbaev, Vaganov, 2000; Esper et al., 2002] и метода „коридора” [Шуатов, 1986], при этом в индексах прироста ширины годичных колец сохраняются длительные колебания внешних условий. Стандартизация преобразует исходные измерения радиального прироста в индексы ширины годичных колец, которые усреднялись в соответствии с календарными годами формирования годичных колец для получения длительных региональных древесно-кольцевых хронологий. Основные характеристики тысячелетних хронологий приведены в табл. 1. Ранее при анализе пространственно-временной корреляции локальных хронологий субарктики Урала и Сибири было четко показано, что хронологии значимо коррелируют между собой на расстояния до 600-800 км. Поэтому региональные тысячелетние хронологии представляют длительные ряды изменчивости прироста деревьев (и изменчивость климатических переменных) для крупных секторов субарктики Северного полушария [Ваганов и др., 1998, 2000; Briffa et al., 1996; Hughes et al., 1999; Briffa, 2000; Naurzbaev, Vaganov, 2000]. Также ранее при анализе локальных хронологий субарктической области была выявлена тесная связь изменчивости ширины годичных колец с летней (июнь-июль) температурой [Ваганов и др., 1996; Наурзбаев, Ваганов, 1999; Vaganov et al., 1999; Сидорова, Наурзбаев, 2002]. Связь линейная, и поэтому полученные одномерные регрессионные модели объясняют до 60-70 % дисперсии рядов радиального прироста деревьев изменениями летней температуры. Адекватность и добротность моделей реконструкции приземной температуры воздуха для каждого ряда и калибровочного периода оценивались по следующим критериям: коэффициент корреляции (при критическом значении менее 0,05), критерий Фи-

шера с уровнем вероятности более 95 % (для анализа фактических и остаточных дисперсий), автокорреляция остатков оценивалась по значению d-статистики (критерий Дарбин-Ватсона).

Для пространственно-временного анализа изменчивости температуры в течение последних двух тысячелетий на севере Евразии использована программа SURFER. Интерполяция региональных изменений ширины годичных колец деревьев выполнена в координатной сетке: восточная долгота - календарное время. Интегрированные данные расчетных отклонений летней температуры по всем тысячелетним хронологиям сопоставляли с данными содержания изотопа кислорода ¹⁸O в ледовой колонке GISP2 [Stuiver et al., 1995].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Пространственно-временная изменчивость радиального прироста деревьев на севере Евразии за последние 2000 лет. Основные характеристики использованных в анализе тысячелетних хронологий приведены в табл. 1. Каждая из хронологий получена на материале, собранном в пределах некоторого района с примерным радиусом в 150-200 км, а координаты центра района приведены в таблице. Объединение измерений отдельных деревьев и образцов отмершей древесины в региональные хронологии проведено на основании высокой корреляции (от 0,65 до 0,83) индивидуальных серий в пределах одного участка [Ваганов и др., 1996; Briffa et al., 1998].

На протяжении последних 1250 лет длительные изменения радиального прироста деревьев на севере Евразии имеют сходный характер. На рис. 2

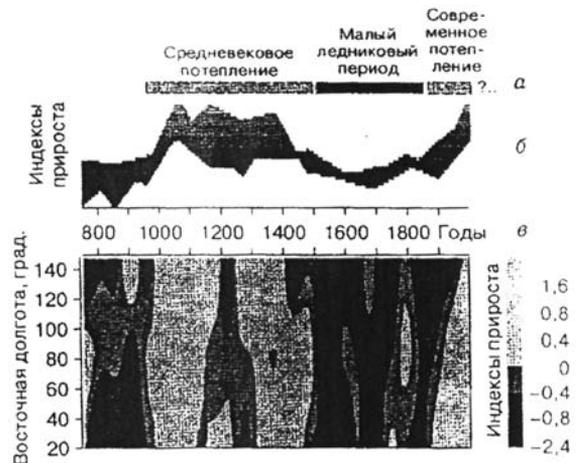


Рис. 2. Амплитуда вековых колебаний (б) и пространственно-временная изменчивость (в) прироста деревьев субарктики Евразии на фоне хронологического подразделения климата позднего голоцена (а), по [Lamb, 1977].

приведены графики, показывающие диапазон изменения индексов прироста в тысячелетних хронологиях во времени (б) и изменчивость значений индексов в пространстве (в зависимости от расположения хронологии) (в) на фоне хронологического подразделения климата позднего голоцена, по [Lamb, 1977]. При анализе длительных изменений нетрудно видеть в последнее столетие увеличение прироста деревьев, которое несколько ранее и более интенсивно отмечается в западной части исследуемого сектора субарктики и не столь значительно - в восточной. Все тысячелетние хронологии четко выявляют средневековое потепление, причем оно имело две фазы - XI, XII вв. и вторая пол. XIII, XIV в., разделенные относительно коротким периодом депрессии радиального прироста деревьев (кон. XII - первая пол. XIII в.). Снижение радиального прироста было более продолжительным в западной части Евразии, но более сильным - в восточной части сектора. Не менее четко все хронологии фиксируют снижение радиального прироста в малый ледниковый период (с нач. XVI до нач. XIX в.) и в период, предшествующий средневековому потеплению (VIII - X вв.).

Региональная вариабельность радиального прироста за последние 2000 лет даже в многолетних изменениях значительна (рис. 3). По направленности изменений общими для всего севера Евразии могут быть надежно выделены: только период потепления в первую пол. I тысячелетия, средневековое потепление, текущее потепление, малый ледниковый период и резкие кратковременные похолодания, сопровождающиеся депрессией прироста в нач. IV столетия, первой пол. VI столетия и в кон. XIII - нач. XIV столетий. В другие периоды можно отметить больше региональной специфики в изменениях радиального прироста деревьев, т. е. асинхронность в древесно-кольцевых хронологиях. Преобладание региональной специфики в изменчивости прироста в отдельные

периоды отмечалось и ранее [Ваганов и др., 1996]. Рассмотрим фрагменты обобщенной древесно-кольцевой хронологии, соответствующие двум календарным периодам - началу средневекового потепления и текущему потеплению. Сделанные оценки (увеличение на 0,82 и 0,95 за 100 лет) свидетельствуют, что средняя скорость длительного увеличения прироста приблизительно одинакова, но амплитуда несколько различается - она выше в текущем периоде, если за нижнюю точку отсчета принимать наибольшую депрессию радиального прироста деревьев в нач. XIX столетия. Тем не менее по максимальным значениям текущее потепление не отличается от начала средневекового. Обращает на себя внимание увеличение дисперсии в радиальном приросте в XX в., т. е. увеличение региональных особенностей изменчивости радиального прироста деревьев в разных районах севера Евразии, тогда как увеличение прироста деревьев в течение X в. было более синхронным.

Реконструкция и анализ длительных изменений летней температуры на севере Евразии.

Для калибровки тысячелетних хронологий (трансформации значений индексов радиального прироста в отклонения температуры) использовали инструментальные данные метеостанций, расположенных в районах сбора материала (табл. 2). Поскольку ранее [Ваганов и др., 1996; Vaganov et al., 1999; Hughes et al., 1999; Briffa, 2000] было надежно выявлено, что погодичная изменчивость радиального прироста зависит от летней температуры (главным образом июнь-июльской), то калибровка состояла в расчете регрессионного уравнения, в котором температура июнь-июля была зависимой переменной, а индексы прироста - независимой. В табл. 3 приведены основные статистические характеристики полученных моделей реконструкции для всех четырех использованных тысячелетних хронологий. Все полученные коэффициенты корреляции между температурой и индексами при-

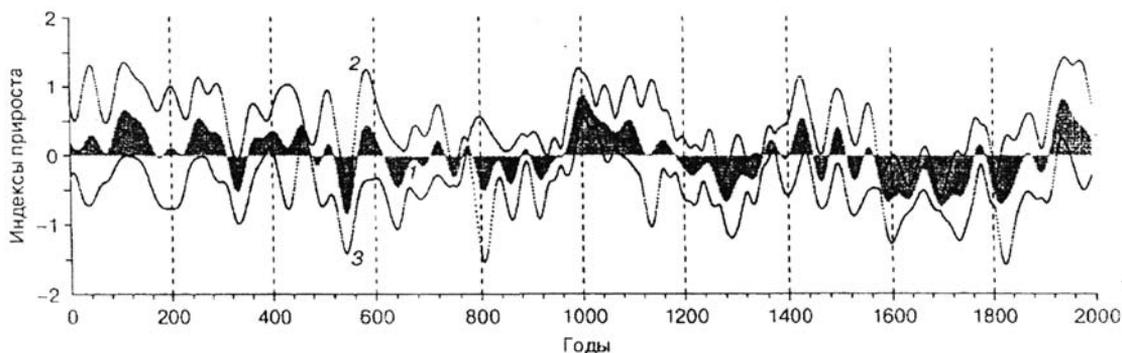


Рис. 3. Изменчивость прироста деревьев субарктики Евразии за последние 2000 лет по данным обобщенной древесно-кольцевой хронологии.

1 - средний уровень, 2 - положительное и 3 - отрицательные среднее квадратические отклонения.

Таблица 2. Метеорологические станции, данные которых использованы для калибровки моделей реконструкции приземной температуры воздуха

Название метеостанции	Код станции*	Географическое положение	Координаты, в градусах (с.ш.-в.д.)	Длительность наблюдений, календарные годы
„Karesuando“	20 800	Скандинавский полуостров	68,5-22,5	1830 ↔ 1838 1951 ↔ 1980
„Салехард“	20 123	Ямальский полуостров	66,3-66,4	1883 ↔ 1996
„Хатанга“	20 891	Таймырский полуостров	72,0-102,5	1933 ↔ 1996
„Чокурдах“	21 946	Низовье р. Индигирка	70,6-147,9	1945 ↔ 1989

* Код станции в международной номенклатуре метеорологических станций.

Таблица 3. Результаты калибровки моделей реконструкции температуры воздуха (июнь-июль)

Хронологии/метеостанции	Период калибровки, годы	Статистика инструментальных рядов		Статистика моделей реконструкции				
		Средняя температура, °С	Дисперсия, °С	Коэффициент корреляции: ежегодные/сглаженные (5-летние)	Оценка различия между фактической и остаточной дисперсией по критерию Фишера	Коэффициенты уравнения вида: $Y = B_0 + (B_1 \cdot X)$		Коэффициент синхронности, %
						B_0	B_1	
Швеция/Karesuando	1830-1838 1951-1980	11,5	1,71	0,48/0,60	$F_{1,37} = 11,3; p < 0,01$	10,3	1,12	67
Ямал/Салехард	1883-1995	11,1	1,80	0,60/0,74	$F_{1,111} = 63,4; p < 0,01$	10,5	0,77	72
Таймыр/Хатанга	1933-1996	8,8	1,70	0,60/0,66	$F_{1,62} = 33,7; p < 0,01$	8,1	1,19	63
Индигирка/Чокурдах	1945-1989	7,9	1,54	0,61/0,71	$F_{1,43} = 25,2; p < 0,01$	8,8	1,73	68

Таблица 4. Результаты реконструкции температуры воздуха для отдельных столетий, °С (июнь-июль)

Период		Швеция		Ямал		Таймыр		Индигирка	
		Средняя	SD (δ)	Средняя	SD (δ)	Средняя	SD (δ)	Средняя	SD (δ)
Средневековое потепление	X	10,2	1,06	10,6	0,66	8,6	1,68	8,5	1,38
	XI	11,1	0,83	10,6	0,60	8,9	1,40	9,6	1,96
	XII	9,7	0,82	10,5	0,52	9,0	1,61	9,4	1,44
	XIII	9,7	0,70	10,4	0,44	7,4	1,42	8,4	1,73
	XIV	10,3	0,84	10,4	0,56	8,1	1,74	8,4	1,51
Малый ледниковый период	XV	11,0	0,75	10,6	0,67	8,5	1,25	7,9	1,34
	XVI	10,7	1,04	10,3	0,45	7,6	1,18	8,1	1,44
	XVII	9,3	0,90	10,3	0,46	7,3	1,18	8,1	1,45
	XVIII	9,8	1,04	10,4	0,47	8,2	1,23	7,6	1,10
Современное потепление	XIX	10,7	1,15	10,1	0,49	7,8	1,51	7,4	1,00
	XX	11,1	0,85	11,0	0,78	8,9	1,28	8,0	1,02
Среднее:		10,2		10,5		8,2		8,3	
Амплитуда: ($t_{max} - t_{min}$)		1,8		0,7		1,7		2,2	

роста высокослабимы, критерий Фишера и коэффициент синхронности также показывают высокую согласованность в погодичных изменениях прироста и летней температуры. Коэффициент корреляции между индексами прироста и летней температурой значительно повышается, если сравнивать сглаженные данные. Это означает, что согласованность длительных изменений радиального прироста и летней температуры выше, чем межгодовых. Одной из причин этого является то, что на севере реально сезон формирования ра-

диального прироста не имеет жесткой связи с календарными месячными сроками и может в разные годы варьировать как по датам начала, так и по датам окончания [Vaganov et al., 1999; Hughes et al., 1999; Сидорова, Наурызбаев, 2002]. При усреднении по времени особенности межгодовых вариаций в датах начала и продолжительности сезона значительно нивелируются.

Рассмотрим количественные оценки средних летних температур по результатам реконструкции для каждого из столетий последнего тысячелетия

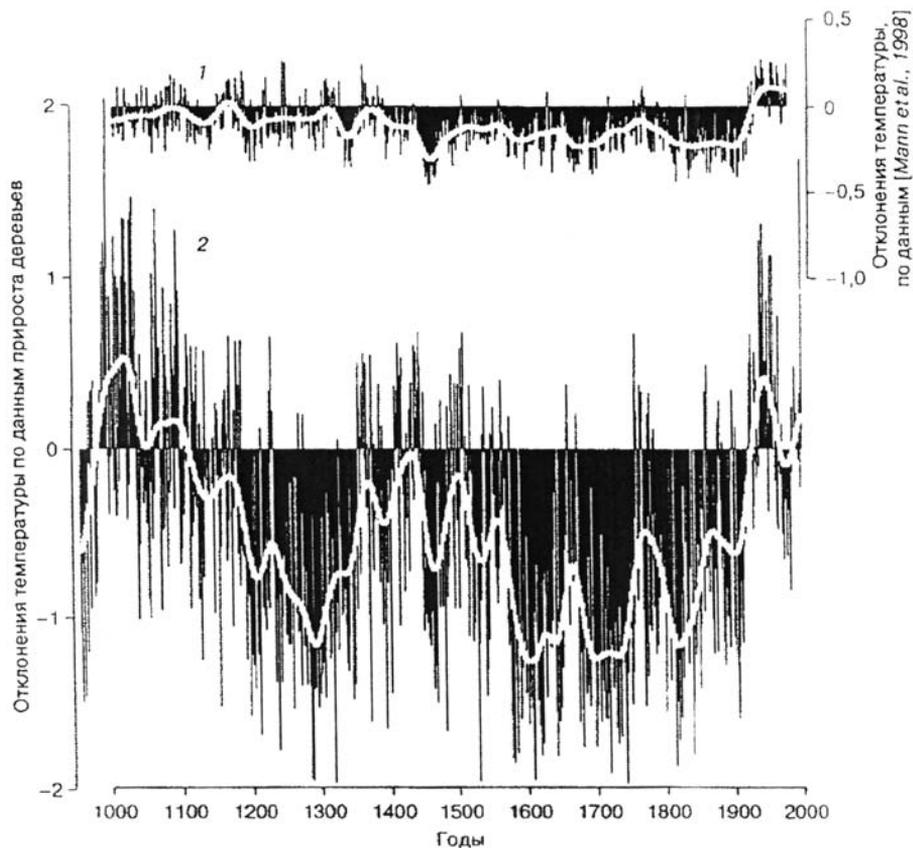


Рис. 4. Сравнение рядов реконструкции температуры ($^{\circ}\text{C}$ в отклонениях от средней).

1 - для Северного полушария, по [Mann et al., 1998]; 2 - для субарктики Евразии, получено авторами. Белой линией выделены кривые 51-летней НЧ фильтрации исходных рядов.

(табл. 4). Диапазон изменений летней температуры воздуха близок к 2°C , исключение составляет Ямал, где он существенно ниже. Для этого района отмечается и наименьшая дисперсия вековых изменений. Текущее потепление наиболее проявляется в западной части Евразии и заметно меньше - в восточной. При сравнении текущего потепления со средневековым можно заметить, что последнее показывает заметно более высокие значения температуры в самой восточной части Евразии и практически равные текущему потеплению - в западной части. Разница в средних температурах средневекового и текущего потепления, по сравнению с малым ледниковым периодом, невелика - до $1,5^{\circ}\text{C}$ и существенно неоднородна в пространстве: несколько больше в восточных районах и меньше - в западных.

Сопоставим две интегральные кривые реконструкции температуры: 1) для всего Северного полушария, полученную Манном с соавторами [Mann et al., 1998]; 2) для севера Евразии, полу-

ченную нами (рис. 4). Из рисунка видно, что на фоне значительного различия в амплитуде изменения температуры (для Северного полушария за последнее тысячелетие - в пределах $0,6-0,8^{\circ}\text{C}$, для севера Евразии - в пределах $2,5-3,0^{\circ}\text{C}$), можно отметить сходство в длительных (вековых) колебаниях температуры воздуха. Однако кривая для севера Евразии не показывает резкого повышения температуры в последнем столетии, которое Манн с соавторами интерпретирует как значимое влияние увеличения парниковых газов в атмосфере. Кривая изменения температуры на севере Евразии более напоминает циклический процесс. Значимое сходство между ними отмечается в вековых колебаниях температуры, также четко выделяются отдельные годы и календарные периоды синхронных изменений температуры, сочетающиеся с вулканической деятельностью: например, 854, 1259, 1600, 1641, 1812-1815, 1912, 1960-е годы [Briffa et al., 1996; Сидорова, Наурузбаев, 2000].

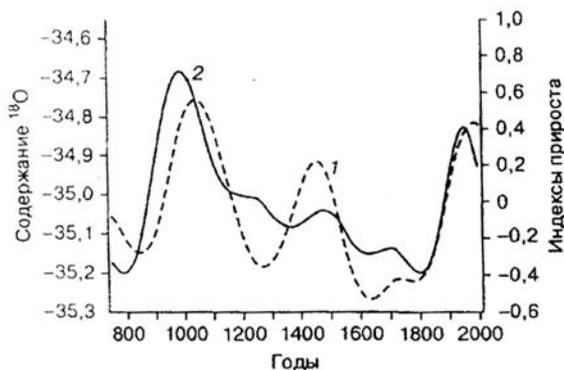


Рис. 5. Длительные изменения прироста деревьев субарктики Евразии (1) и содержания изотопа ^{18}O (2) в ледовом керне GISP 2, по [Stuiver et al., 1995].

Длительные изменения температуры в арктической области Северного полушария по Евразийской древесно-кольцевой хронологии и Гренландскому ледовому керну. Кроме древесно-кольцевых хронологий в количественных реконструкциях температуры используются другие косвенные источники [Bradley, 2000]. Для арктических широт наиболее надежные данные получены из анализа вариаций изотопа ^{18}O в ледовом керне (GISP 2), взятом в ледовом щите Гренландии [Stuiver et al., 1995]. Эти измерения существенно отличаются от древесно-кольцевых хронологий: 1) значительно большей длительностью (несколько сотен тысяч лет); 2) пропуском отдельных периодов; 3) худшими статистическими оценками калибровки [Cuffey, Marshal, 2000]. Однако полученное к настоящему времени разрешение (послойное) позволяет сравнить изменения изотопа кислорода с индексами прироста деревьев для последних тысячелетий. На рис. 5 приведено такое сравнение двух косвенных источников. Нетрудно видеть, что длительные (сверхвековые) колебания температуры, выявленные как древесно-кольцевой хронологией, так и соотношением изотопов кислорода, показывают хорошую синхронность. Оба косвенных источника четко выявляют средневековое потепление и увеличение температуры в текущий период. На приведенных кривых особенно хорошо видно, что скорости повышения температуры в начале средневекового потепления совпадают с текущим потеплением. Даже для периода голоцена, где по данным ледового керна Гренландии колебания температуры не так велики, можно отметить наличие цикличности в естественных изменениях температуры. Детальный анализ спектра древесно-кольцевой хронологии выявил значимые циклы длительностью в 160-180 и 70-80 лет, которые также надежно присутствуют и в изменениях изо-

топа кислорода в ледовом керне [Ваганов и др., 1998].

ВЫВОДЫ

Полученные нами результаты позволяют сформулировать следующие выводы:

- 1) длительные древесно-кольцевые хронологии севера Евразии четко выявляют колебания глобального климата (средневековое потепление, малый ледниковый период, современное потепление);
- 2) как прошлые, так и текущие изменения температуры на севере Евразии характеризуются пространственной неоднородностью - разной величиной колебаний температуры в разных секторах субарктической области;
- 3) современное потепление, начавшееся в сер. XIX в., по амплитуде увеличения температуры не превысило пока уровня средневекового потепления;
- 4) разные косвенные источники изменений температуры в субарктических широтах показывают совпадающие результаты в реконструкции сверхвековых колебаний температуры;
- 5) характер изменения температуры в высоких широтах Евразии, выявленный по тысячелетним древесно-кольцевым хронологиям, не совпадает с таковым, полученным для всего Северного полушария Манном с соавторами: изменения температуры по древесно-кольцевым хронологиям не выявляют необычно резкого повышения температуры в последнее столетие, которое может быть соотнесено с увеличением парниковых газов в атмосфере планеты.

Работа выполнена при поддержке Интеграционной программы № 74 СО РАН, Российского фонда фундаментальных исследований, грант 00-15-97980 (научная школа) и INTAS, грант 01-0052.

Литература

- Борзенкова И.И. Основные этапы развития растительности и климата Северного полушария за последние 20 тысяч лет // Тр. ГГИ „Исследование изменений климата ...“. Вып. 340. М., 1988, с. 11-31.
- Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазепа В.С. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской субарктике. Новосибирск, Наука, 1996, 246 с.
- Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., 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.
- Ваганов Е.А., Бриффа К.А., Наурзбаев М.М. и др. Длительные климатические изменения в арктической области Северного полушария // Докл. РАН, 2000, т. 375. № 1, с. 103-106.
- Кондратьев К.Я., Демирчян К.С. Климат земли и „Протокол Киото“ // Вестн. РАН, 2002, т. 71, № 11, с. 1002-1009.

- Наурзбаев М.М., Ваганов Е.А.** Изменчивость радиального прироста лиственницы на востоке Таймыра и Путорана за последние 2000 лет // *Лесоведение*, 1999, № 5, с. 24-34.
- Наурзбаев М.М., Сидорова О.В., Ваганов Е.А.** История климата позднего голоцена на востоке Таймыра по данным сверхдлительной древесно-кольцевой хронологии // *Археология, этнография и антропология Евразии*. Новосибирск, 2001, № 3 (7), с. 17-25.
- Сидорова О.В., Наурзбаев М.М.** Хронология вулканических извержений, зафиксированная в годичных кольцах деревьев субарктики Восточной Сибири // *Материалы конф. „Экология пойм Сибирских рек и Арктики“*. Томск, 2000, с. 10
- Сидорова О.В., Наурзбаев М.М.** Реакция на климатические изменения лиственницы Каяндера на верхней границе леса и в долине р. Индигирки // *Лесоведение*, 2002, № 2, с. 73-75.
- Хантемиров Р.М.** Древесно-кольцевая реконструкция летних температур на севере Западной Сибири за последние 3248 лет // *Сибирский экологический журнал*, 1999, № 2, с. 185-191.
- Шиятов С.Г.** Дендрохронология верхней границы леса на Урале. М., Наука, 1986, с. 136.
- Bradley R.S.** Past global changes and their significance for the future // *Quatern. Sci. Rev.*, 2000, No. 19, p. 391-402.
- Bradley R.S.** Many citations support global warming trend // *Science*, 2001, 292, p. 2011.
- Bradley R.S., Eddy J.A.** Records of global changes // *Global Changes of the Past* / Ed. R.S. Bradley. Colorado, UCAR/OIES, Boulder, 1989, p. 5-9.
- Briffa K.R.** Annual climate variability in the Holocene: interpreting the message of ancient trees // *Quatern. Sci. Rev.*, 2000, vol. 19, p. 87-105.
- Briffa K.R., Jones P.D., Schweingruber F.H. et al.** Tree-ring variables as proxy-climate indicators: Problems with low-frequency signals, in *Climate Change and Forcing Mechanisms of the last 2000 years* // NATO ASI Ser., Ser. 1: Global change, 1996, vol. 41, p. 9-41.
- Briffa K.R., Jones P.D., Schweingruber F.H. et al.** Reduced sensitivity of recent tree-growth to temperature at high northern latitudes // *Nature*, 1998, No. 391, p. 672-682.
- Cuffey K.M., Marshal S.J.** Substantial contribution to sea-level rise during the last interglacial from the Greenland ice sheet // *Nature*, 2000, vol. 404, p. 591-594.
- Dahl-Jensen D., Mosegaard K., Grundestrup N. et al.** Past temperatures directly from the Greenland ice sheet // *Science*, 1998, vol. 282, p. 268-271.
- Esper J., Cook E.R., Schweingruber F.H.** Low-frequency signals in long tree-ring chronologies for reconstructing past temperature variability // *Science*, 2002, vol. 295, p. 2250-2253.
- Hughes M.K., Diaz H.F.** Was there a „Medieval Warm Period“ and if so, where and when? // *Climatic Change*, 1994, No. 26, p. 109-142.
- Hughes M.K., Vaganov E.A., Shiyatov S. et al.** Twentieth-century summer warmth in northern Yakutia in a 600-year context // *Holocene*, 1999, No. 95, p. 603-608.
- Jones P.D., Osborn T.J., Briffa K.R.** The evolution of climate over the last millennium // *Science*, 2001, No. 292, p. 662-667.
- Lamb H.H.** *Climate: Present, Past and Future*. Vol. 2: *Climate History and Future*. London, Methuen, 1977, 603 p.
- Mann M.E., Bradley R.S., Hughes M.K.** Global scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries // *Nature*, 1998, No. 392/23, p. 779-787.
- Naurzbaev M.M., Vaganov E.A.** Variation of summer and annual temperature in the East of Taymir and Putoran (Siberia) over the last two millenia inferred from tree-rings // *J. Geophys. Res.*, 2000, vol. 105, No. 6, p. 7317-7327.
- Overpeck J., Hughen K., Hardy D. et al.** Arctic environmental change of the last four centuries // *Science*, 1997, vol. 278 (14), p. 1251-1256.
- Shiyatov S.G.** The upper timberline dynamics during the last 1100 years in the Polar Ural Mountains // *Oscillations of the Alpine and Polar Tree Limits in the Holocene* / Ed. Burkhard Frenzel. Gustav Fischer Verlag: Stuttgart, Jena and New York, 1993, p. 195-203.
- Stuiver M., Grootes P.M., Braziunas T.F.** The GISP2 ¹⁸O climate record of the past 16 500 years and the role of the sun, ocean and volcanoes // *Quatern. Res.*, 1995, No. 44, p. 341-354.
- Vaganov E.A., Hughes M.K., Kirilyanov A.V. et al.** Influence of snowfall and melt timing on tree growth in subarctic Eurasia // *Nature*, 1999, vol. 400, p. 149-151.

Поступила в редакцию
29 июля 2002 г.