

УДК 551.583.7+630*561.24:58.056

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЛЕТНЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ВЫСОКИХ ШИРОТАХ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 1.5 тыс. лет: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАНЫХ ГОДИЧНЫХ КОЛЕЦ ДЕРЕВЬЕВ И ЛЕДОВЫХ КЕРНОВ

© 1998 г. Академик Е. А. Ваганов, С. Г. Шиятов, Р. М. Хантемиров, М. М. Наурзбаев

Поступило 11.07.97 г.

Такие косвенные источники информации об изменениях климата, как годовые кольца деревьев, слои льда и осадконакопления, обладают высоким временным разрешением и охватывают интервалы времени от сезона и года до сотен тысяч лет [1]. По мере накопления данных об изменчивости климата в прошлом появляется реальная возможность их сравнительного анализа и выявления изменений глобального характера, охватывающих значительные территории земного шара [2]. Не менее важно использование таких данных для калибровки косвенных источников, имеющих низкое временное разрешение [3].

Цель данной работы – сопоставить длительные ряды (1000–1500 лет) изменений прироста деревьев (индексов ширины годовых колец (ШГК)), регистрирующие колебания летней температуры воздуха на севере Урала, Западной и Средней Сибири [4], выявить в этих секторах Субарктики синхронные и асинхронные изменения и сравнить их с данными другого косвенного источника изменений температуры в высоких широтах северного полушария – содержанием изотопов кислорода в слоях гренландских ледников [5, 6].

В работе анализируются длительные древесно-кольцевые хронологии, полученные для Полярного Урала, Южного Ямала, низовьев р. Таз в районе древнего города Мангазеи и для Восточного Таймыра (низовьев рек Хета и Котуй). Хронологии получены на основе использования наиболее старых растущих деревьев лиственницы сибирской и Гмелина (возрастом до 580 лет), остатков отмерших деревьев, сохранившихся на поверхности, и полуископаемой древесины из аллювиальных отложений малых рек [4]. Абсолют-

ная датировка годовых колец проведена методом перекрестного датирования, при обработке и стандартизации индивидуальных серий использован метод “коридора” с целью максимального сохранения в индексах ширины годовых колец длительных изменений температуры [7]. При анализе обобщенных хронологий использованы стандартные статистические методы: коэффициенты синхронности и конкордации (для оценки согласованности ежегодных и более длительных изменений), коэффициент чувствительности и отношение сигнал/шум (для оценки надежности климатического сигнала), расчет климатических функций отклика (для выявления ведущих климатических переменных, влияющих на изменчивость прироста деревьев), расчет функций спектральной плотности (для оценки циклических составляющих) [8, 9]. Климатическая калибровка хронологий проводилась по данным метеостанций Салехард (1883–1990 гг.), Дудинка (1906–1990 гг.), Туруханск (1878–1990 гг.), Хатанга (1933–1990 гг.).

Основные характеристики обобщенных древесно-кольцевых хронологий приведены в табл. 1. Высокие коэффициенты чувствительности (0.33–0.47) и отношение сигнала к шуму (26–37) свидетельствуют о том, что в полученных хронологиях содержится сильный климатический сигнал. Расчет и анализ климатических функций отклика показал, что 60–70% дисперсии рядов ($R = 0.75–0.83$) объясняются изменчивостью летней (июнь–июль) температуры. Хронологии надежно фиксируют как погодичные (с максимальным диапазоном в 8–10°C), так и длительные изменения температуры (внутривековые, вековые и даже сверхвековые). Для сглаженных 5-летней скользящей данных корреляция между изменениями индексов прироста и летней температуры возрастает до 0.8–0.91 (см. также [7, 10]), т.е. изменчивость индексов ширины годовых колец деревьев может рассматриваться как надежный индикатор хода летней температуры. Значения коэффициентов синхронности между рядами показывают, что синхронность ежегодных колебаний индексов

*Институт леса им. В.Н. Сукачева
Сибирского отделения Российской Академии наук,
Красноярск*

*Институт экологии растений и животных
Уральского отделения Российской Академии наук,
Екатеринбург*

Таймырский биосферный заповедник, Хатанга

Таблица 1. Основные статистические характеристики обобщенных древесно-кольцевых хронологий

Район, № хронологии	Период и длительность	Среднеквадратическое отклонение	Чувствительность	Отношение сигнал/шум
Ю.Ямал (1)	1–1994(1994 года)	0.47	0.47	30
Полярный Урал (2)	745–1996(1252 года)	0.41	0.41	27
р.Таз (3)	1103–1994(892 года)	0.35	0.33	37
В.Таймыр (4)	38–1996(1959 лет)	0.40	0.42	26

прироста с увеличением расстояния между участками уменьшается, вплоть до ее отсутствия между ямало-уральскими хронологиями, с одной стороны, и таймырской хронологией, с другой стороны (табл. 2). Т.е. в погодичных (высокочастотных) колебаниях летней температуры в разных секторах Субарктики Сибири преобладают региональные особенности. За последние 400 лет только в 38% из них одновременно по всей Субарктике Сибири отмечаются теплые или холодные годы [4]. Значения коэффициента конкордации свидетельствуют о том, что согласованность в изменчивости прироста деревьев в разных районах в основном определяется длительными (не ежегодными) колебаниями температуры. На рис. 1 сопоставлены полученные древесно-кольцевые хронологии, в которых высокочастотные колебания менее 5 лет подавлены скользящим осреднением. Большое число выявленных депрессий и ускорений в приросте деревьев, обусловленных понижением или повышением температуры, является общим для всех хронологий. Например, четко выявляются похолодания в начале XI в., в конце XIII–начале XIV вв., в первой половине XVII в., в начале XIX в. и др. Очевидно, в длительных изменениях прироста деревьев в большей степени, чем в их ежегодных колебаниях, отражаются общие для данного региона изменения температуры, что дает основа-

Таблица 2. Коэффициенты конкордации (над диагональю) и синхронности (под диагональю) между древесно-кольцевыми хронологиями для общего периода с 1101 по 1994 гг.

№ хронологий	1	2	3	4
1	1.0	0.81	0.71	0.51
2	76	1.0	0.64	0.56
3	62	63	1.0	0.65
4	51	57	60	1.0

Примечание. Оценка согласованности изменений между ин-дексами прироста по коэффициенту конкордации: 0.4–0.5 – низкая, 0.5–0.6 – средняя, 0.65–0.75 – высокая, выше 0.75 – очень высокая; по коэффициенту синхронности: 45–56% – отсутствует, 57–67% – низкая, 68–78% – средняя, 79–89% – высокая, выше 90% – очень высокая.

ния объединить данные всех четырех обобщенных хронологий с целью максимально выявить общий климатический сигнал.

На рис. 2 показана полученная осреднением 4 обобщенных серий генерализированная хронология, которая сопоставлена с данными реконструкции температуры по содержанию изотопов кислорода в ледовых колонках Гренландии [5, 6]. Четко виден синхронный ход приведенных кривых. Так, длительные и относительно холодные периоды, выявленные по данным ледовых колонок (конец XIII, конец XV–начало XVI, начало XVII, конец XVII, начало XVIII, первая половина XIX вв.) полностью согласуются с таковыми в древесно-кольцевых хронологиях севера Урала и Сибири. Аналогично наиболее теплые периоды надежно фиксируются обоими косвенными источниками колебаний температуры в середине XIII, в течение XIV, в конце XV и середине XVI, во второй половине XVIII и середине XX вв. Отметим, что повышение температуры в середине XX в., экстремальное по данным ледовых колонок, не подтверждается данными древесно-кольцевых хронологий: близкую амплитуду имеет повышение температуры в середине XIII в. Сходство в длительных изменениях температуры в исследуемом секторе Субарктики с данными ледовых колонок Гренландии подтверждается и анализом функций спектральной плотности (рис. 3), которые показывают значимые циклические изменения температуры по вариациям изотопов кислорода длительностью 181 и 78 лет и значимые пики спектральной плотности древесно-кольцевых хронологий на этих же частотах (182 и 76 лет).

Диапазон длительных колебаний летней температуры на севере Сибири был различным в разные периоды последнего тысячелетия (см. рис. 2). Наиболее изменчивыми термические условия были в XIV, первой половине XV, в XIX и XX вв. По рассчитанной модели реконструкции амплитуда таких длительных колебаний достигала 2.5°C. Разница между наиболее холодным периодом в начале XIX в. и наиболее теплым периодом в середине XX в. достигает 4.9°C [7, 10]. Если рассмотреть фрагмент генерализированного ряда за последние 200 лет, то можно видеть четко выраженный тренд повышения температуры. Однако

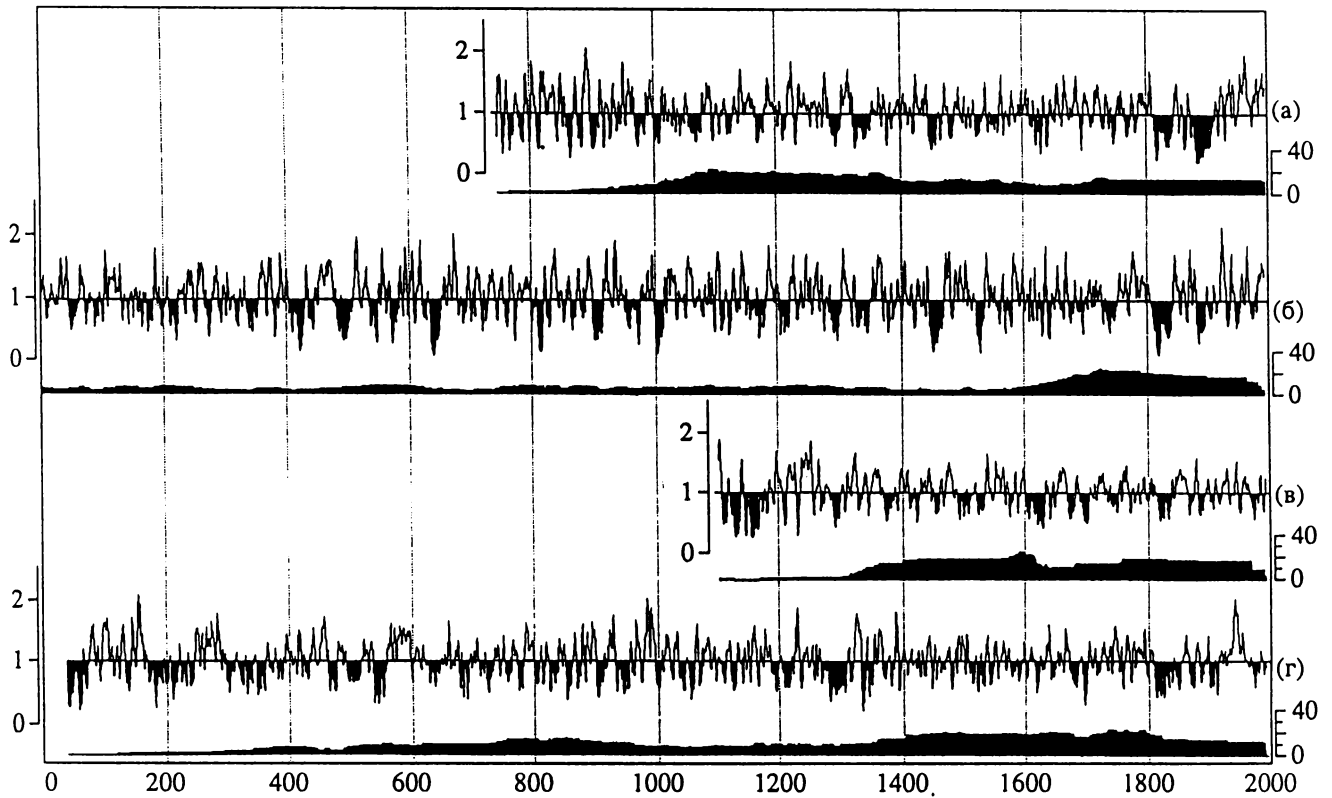


Рис. 1. Сглаженные пятилетней скользящей средней обобщенные древесно-кольцевые хронологии по лиственнице (а – Полярный Урал, б – Ю. Ямал, в – р. Таз, г – В. Таймыр). Под каждой хронологией для данного временного интервала приведен график числа образцов деревьев, использованных при построении хронологии (абсцисса слева – стандартизованные индексы прироста, справа – число образцов, ордината – календарные годы).

такой тренд связан с сильным похолоданием в начале XIX в., которое, очевидно, имеет естественную, а не техногенную природу [4, 11]. Данные спектрального анализа генерализованного ряда в целом и по его отдельным 500-летним фрагментам свидетельствуют о том, что основные его циклические составляющие сохраняются на протяжении последних 2000 лет и, следовательно, колебания температуры, выявляемые в годичных кольцах деревьев, обусловлены естественными причинами. Древесно-кольцевые хронологии, как косвенные источники колебаний климата с высоким (сезон, год) временным разрешением, позволяют выявлять и внутривековые циклические составляющие. В изменчивости годичных колец деревьев достоверно и с высокой значимостью присутствуют колебания на частотах, характерных для солнечной активности (22 и 11 лет) (рис. 4).

Таким образом:

1. Длительные изменения летней температуры (внутривековые, вековые и сверхвековые) для обширной территории Субарктики (от Полярного Урала до Восточного Таймыра), в отличие от

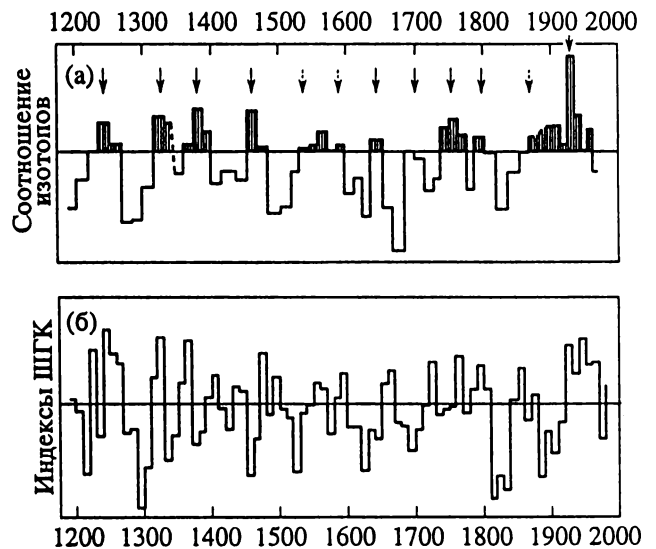


Рис. 2. Сопоставление длительных изменений температуры, полученных по анализу соотношения изотопов кислорода в слоях льда Гренландии (а) (по [5, 6]) и генерализованной древесно-кольцевой хронологии для Западно-Сибирского и Средне-Сибирского секторов Субарктики (б) (осреднение по десятилетиям).

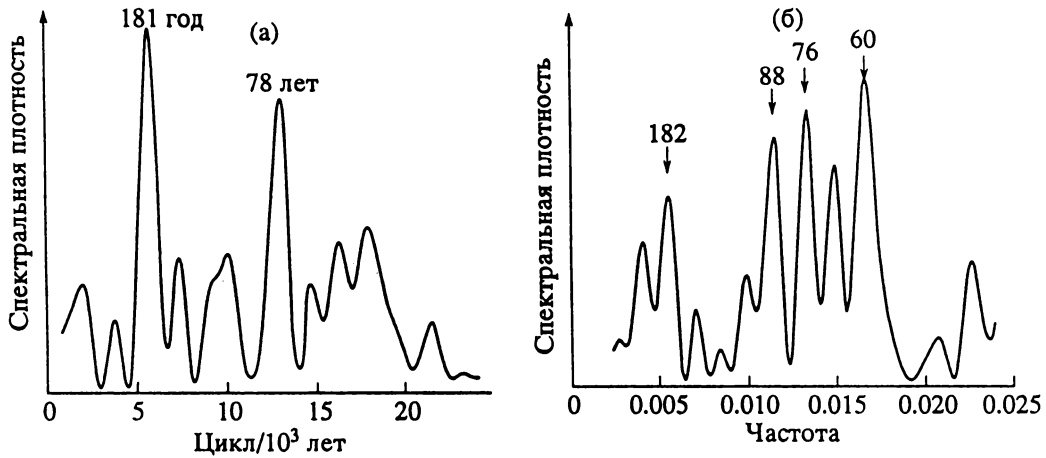


Рис. 3. Фрагменты функций спектральной плотности вариаций изотопов кислорода в слоях льда (а) (по [5, 6]) и индексов прироста деревьев (б).

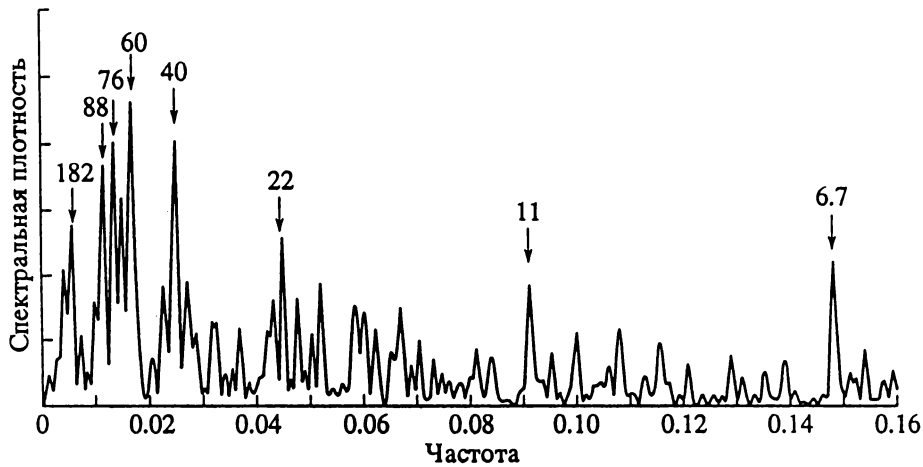


Рис. 4. Функция спектральной плотности генерализированной древесно-кольцевой хронологии.

кратковременных (ежегодных) колебаний, происходили синхронно в течение последних 1500 лет.

2. Поскольку исследуемые секторы Субарктики находятся в зоне влияния атлантических воздушных масс, общая составляющая длительных изменений температуры имеет не региональный, а глобальный характер. Это подтверждается сопоставлением генерализированной древесно-кольцевой хронологии с длительными изменениями температуры, полученными по другому косвенному источнику (ледовым колонкам).

3. Анализ диапазона длительных изменений летней температуры показывает, что потепление в середине XX в. не было экстраординарным, близкую амплитуду имело повышение температуры в середине XIII в.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 96-05-64129 и 96-04-48258) и Фонда Европейского Сообщества (грант ЕС ADVANCE-10K).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bradley R.S., Eddy J.A. In: Global Change in the Past. Boulder; Colo, 1989. P. 5-9.
2. Bradley R.S., Jones P.D. // Holocene. 1993. № 3. P. 367-376.
3. Baumgartner T.R., Michaelsen J., Thompson L.G. et al. Geophys. Monograph. 1989. Ser. 55. P. 1-14.
4. Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазена В.С. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. Новосибирск: Наука, 1996. 246 с.
5. Dansgaard W., Johnsen S.J., Clouisen H.B., Gundestrup N. // Medd. Gronland. 1973. V. 197. № 2. P. 34-76.
6. Burroughs W.J. Weather Cycles: Real or Imaginary? Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1992. 201 p.
7. Шиятов С.Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале. М.: Наука, 1986. 136 с.
8. Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences. Dordrecht: Kluwer, 1990. 394 p.
9. Fritts H.C. Tree-rings and climate. N.Y.; L.; S. Francisco: Acad. Press, 1976. 576 p.
10. Ваганов Е.А., Панюшкина И.П., Наурызбаев М.М. // Экология. 1997. № 4.
11. Shiyatov S.G. In: Tree Rings, Environment and Humanity. Tucson: Arizona Press, 1996. P. 283-294.