

Погодичная реконструкция средней летней температуры воздуха на севере Западной Сибири с 1690 г. на основе данных о радиальном приросте деревьев

В. С. МАЗЕПА

*Институт экологии растений и животных УрО РАН
620219 Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202*

АННОТАЦИЯ

Возможность количественной погодичной реконструкции термических условий летних месяцев на севере Западной Сибири от Полярного Урала (64–68° с. ш., 64–68° в. д.) до р. Енисей (66–70° с. ш., 86–89° в. д.) обусловлена тесной и достаточно стабильной связью между динамикой радиального прироста хвойных древесных растений, в частности лиственницы сибирской и ели сибирской, и соответствующими климатическими факторами. Процент изменчивости в динамике годичного прироста в этом экстремальном для роста деревьев районе, который обусловлен динамикой средних месячных температур воздуха июня и июля, достигает 50 %.

Осуществлена пространственная погодичная реконструкция летних температур воздуха (июнь–июль) на основе соответствующих реконструкций по 11 метеостанциям. Анализ реконструированных температур воздуха показал значительные их изменения за последние 300 лет. Наиболее сильное похолодание наблюдалось в XIX в., а потепление – в XVIII и XX вв.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее десятилетие проблеме изменения климата уделяется значительное внимание. Особенно актуальными стали вопросы экологических последствий таких изменений, так как климат – это главный фактор, лимитирующий потенциальную продуктивность на глобальном уровне. Дефицит температуры и осадков – это основной ограничитель вегетационного периода [1, 2].

Известно, что климат северных регионов оказывает лимитирующее влияние на ход естественных процессов всех экосистем. В условиях Крайнего Севера термический режим является важнейшим экологическим фактором, который определяет состав, структуру и динамику наземных и водных экосистем.

Анализ инструментальных температурных данных показывает более высокую из-

менчивость температуры воздуха в районах, расположенных в высоких широтах [3]. Феномен возрастания изменчивости характеристик климата атмосферы в полярных областях иногда называют полярным усилением [4]. Климатическая система этих районов оказывает большее влияние на ход глобальных температур по сравнению с районами, расположенными в средних и низких широтах [5].

В этом смысле Западная Сибирь (в частности, ее северные районы) уникальна. Во-первых, огромная территория Западно-Сибирской равнины с запада, юга и востока окружена материком. Лишь с севера она открыта для преобладающих циклонических процессов Атлантики. Во-вторых, степень ее изученности выше по сравнению с Восточной Сибирью. В-третьих, огромное экономическое значение региона. Поэтому знание детальной истории климата тако-

го региона, как север Западной Сибири, необходимо для понимания процессов в экосистемах различного уровня организации.

Оценка изменений климата на региональном уровне до сих пор является слабо разработанным вопросом. Одна из причин этого в том, что обеспеченность многих районов количественными характеристиками климата явно недостаточна по их длительности. Так, на севере Западно-Сибирской равнины имеется небольшое число метеостанций, которые действовали до 30-х годов нынешнего столетия. Самые длинные ряды наблюдений имеются по метеостанциям Березово (с 1832 г.), Салехард (с 1883 г.), Ханты-Мансийск (с 1897 г.) и Туруханск (с 1878 г.). У всех метеостанций имеется значительное количество пропусков в наблюдениях. Оценить длительную тенденцию по этим данным невозможно. Необходимы надежные оценки хотя бы основных параметров.

Известны различные геологические и биологические явления, по которым возможна оценка или реконструкция элементов климата. Среди них – рост дерева в прошлом. На прирост древесных растений, произрастающих на северном пределе их распространения, большое влияние оказывают климатические факторы, в частности термические условия летних месяцев.

В связи с этим важное практическое значение приобретают дендроклиматические исследования в этих районах, т. е. выявление статистических связей между величиной годичного прироста деревьев и климатическими характеристиками. Затем на основе этой ин-

формации производят реконструкции климатических условий за периоды, намного превышающие длительность инструментальных метеорологических наблюдений. Периоды реконструкций по своей длительности сравнимы с характерным временем жизни деревьев, а в некоторых случаях намного больше. Дендроклиматические работы по субарктическим районам Урала и Сибири посвящены именно этим вопросам [6–15].

В этой работе представлены результаты годичной пространственной реконструкции летней (июнь–июль) температуры воздуха за последние 300 лет на севере Западной Сибири от Полярного Урала (64–68° с. ш., 64–68° в. д.) до р. Енисей (66–70° с. ш., 86–89° в. д.) на основе климатической информации, содержащейся в годичных кольцах деревьев.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В работе использованы 26 обобщенных древесно-кольцевых хронологий, построенных по образцам живых деревьев. Образцы собраны в 1991–1993 гг. Брали три вида хвойных – *Larix sibirica* Ledeb., *Picea obovata* Ledeb., *Pinus sylvestris* L. Места взятия образцов деревьев более или менее равномерно распределены по территории севера Западной Сибири (рис. 1). Среднее расстояние между точками сбора образцов составляет примерно 200 км. В каждой точке брали не менее 15 буровых образцов. Продолжительность построенных хронологий изменяется от 227 до 488 лет. Местоположения сбора

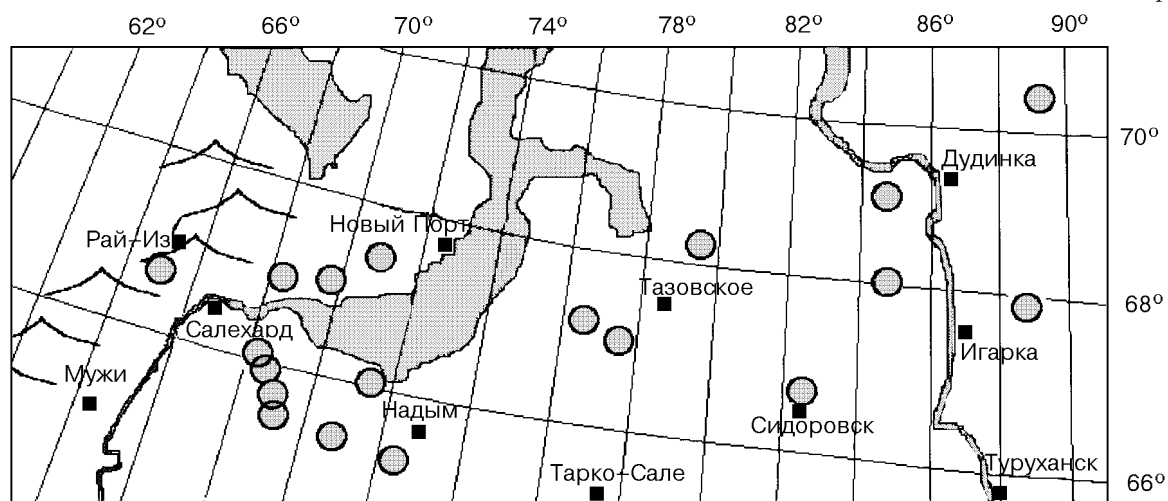


Рис. 1. Расположение дендроклиматической сети и базовых метеостанций.

образцов приведены в табл. 1. Общая характеристика рядов приведена в табл. 2. Более подробная характеристика приведена в работе [15].

При построении обобщенных рядов в первую очередь производили индексирование рядов ширины годичных колец каждого образца, т. е. снижение до минимума зависимости размеров годичных слоев от возраста и других факторов неклиматической природы. Для оценки такого тренда использовался кубический сплайн [16]. При вычислениях из множества статистических пакетов и специальных программ для дендрохронологических исследований использовалась программа TREND [17]. Это вызвано двумя обстоятельствами. Во-первых, материал желательно обрабатывать по одной методике, избегая при этом возможных различий в результатах, во-вторых, что более важно, должна быть возможность вносить поправки в форму возрастной кривой непосредственно

при вычислениях при помощи специального графического редактора.

Таким образом, для каждой точки дендроклиматической сети были проиндексированы имеющиеся ряды ширины годичных колец. Получен набор рядов индексов годичного прироста каждого дерева, взятого в этой точке. Эти ряды обладают следующими существенными для поставленной цели свойствами. Их значения выражены в процентах, т. е. в относительных единицах. У них одинаковые средние (100 %) и статистически равные дисперсии. Теперь они сравнимы. У каждого ряда максимально исключены индивидуальные характеристики роста дерева по диаметру. Эти ряды отражают в большей степени общую изменчивость, характерную для данной точки сети, а не индивидуальную. Количественно это свойство оценивают величиной отношения сигнал-шум [18]. Оно характеризует взаимокорреляцию

Таблица 1

Местоположения участков и виды древесных растений, для которых получены обобщенные древесно-кольцевые хронологии по ширине годичных колец

Код ряда	Местоположение	Географические координаты		Высота над ур. м.	Вид дерева*
		с. ш.	в. д.		
<i>Полярный Урал</i>					
SOB	Верхнее течение р. Сось	66°48'	65°48'	120	LASI
SOP	Там же	66°48'	65°48'	120	PCOB
<i>Западная Сибирь</i>					
SCH	Нижнее течение р. Щучья	66°49'	69°17'	20	PCOB
KHA	Среднее течение р. Хадьгаяха	67°12'	69°50'	10	LASI
KHD	Там же	67°07'	69°54'	14	PCOB
JAH	Среднее течение р. Ядыяхадьяха	67°25'	70°58'	25	LASI
NID	Низовье р. Надым	66°13'	71°40'	20	PCOB
CHA	Среднее течение р. Хадуттэ	67°28'	76°46'	20	LASI
IND	Среднее течение р. Индига	68°08'	79°46'	30	LASI
SKH	Нижнее течение р. Малая Хета	69°07'	84°30'	50	LASI
POZ	Нижнее течение р. Полуи	66°22'	67°13'	15	PCOB
PLB	Среднее течение р. Полуи	65°27'	68°56'	20	PISY
PLL	Там же	65°27'	68°56'	20	LASI
PDP	»	65°30'	69°28'	25	LASI
PLO	»	65°30'	69°28'	25	LASI
PPP	»	65°21'	69°31'	25	PCOB
PLR	»	65°21'	69°31'	25	LASI
PLP	Верхнее течение р. Полуи	65°18'	69°41'	35	PISY
KHE	Устье р. Хейгияха	65°30'	72°39'	100	LASI
MAL	Нижнее течение р. Табяха	67°07'	77°50'	20	LASI
SID	Нижнее течение р. Таз (Мангазея)	66°40'	82°20'	50	LASI
SIP	Там же	66°40'	82°20'	50	PCOB
SOL	Верховье р. Солёная	68°07'	85°03'	50	LASI
<i>Средняя Сибирь</i>					
IKO	Низовье р. Икон	70°31'	89°30'	70	LASI
KUL	Среднее течение р. Кулюмбэ	67°58'	88°55'	150	LASI
KUP	Там же	67°58'	88°55'	150	PCOB

* PCOB – *Picea obovata*, PISY – *Pinus sylvestris*, LASI – *Larix sibirica*.

Таблица 2

Основные статистические характеристики древесно-кольцевых хронологий

Код ряда	Продолжительность	Чувствительность/ стандартное отклонение	Отношение сигнал-шум/ количество радиусов	Порядок авторегрессии (процент дисперсии)
<i>Полярный Урал</i>				
SOB	1563–1992	0,47 / 37	27,0 / 36	–
SOP	1642–1992	0,22 / 20	10,4 / 37	–
<i>Западная Сибирь</i>				
SCH	1710–1990	0,23 / 20	6,3 / 24	2 (25,2)
KHA	1628–1990	0,40 / 33	14,2 / 36	2 (22,9)
KHD	1594–1993	0,26 / 22	27,8 / 41	3 (8,7)
JAH	1573–1991	0,41 / 33	30,3 / 25	2 (12,6)
NID	1720–1990	0,21 / 20	8,5 / 20	3 (15,0)
CHA	1561–1990	0,46 / 37	31,0 / 23	3 (11,8)
IND	1592–1990	0,42 / 34	30,3 / 18	3 (3,0)
SKH	1606–1990	0,44 / 34	29,4 / 29	4 (3,7)
POZ	1656–1992	0,21 / 19	6,8 / 26	2 (15,8)
PLB	1614–1992	0,31 / 26	9,2 / 17	4 (22,9)
PLL	1557–1992	0,30 / 26	16,7 / 26	2 (7,2)
PDP	1505–1992	0,29 / 26	17,4 / 11	2 (21,8)
PLO	1684–1992	0,28 / 25	11,3 / 20	2 (16,1)
PPP	1597–1992	0,19 / 17	12,3 / 42	2 (5,1)
PLR	1609–1992	0,30 / 25	21,6 / 38	2 (16,6)
PLP	1595–1992	0,25 / 22	11,4 / 41	4 (3,5)
KHE	1764–1990	0,30 / 25	16,4 / 18	2 (23,4)
MAL	1745–1990	0,36 / 30	20,3 / 13	2 (21,8)
SID	1624–1990	0,27 / 25	37,1 / 42	–
SIP	1675–1990	0,20 / 18	11,2 / 27	2 (10,3)
SOL	1553–1990	0,47 / 37	24,8 / 23	3 (3,3)
<i>Средняя Сибирь</i>				
IKO	1615–1990	0,45 / 35	27,2 / 18	2 (4,5)
KUL	1517–1990	0,40 / 32	36,9 / 31	2 (7,0)
KUP	1617–1991	0,23 / 21	13,5 / 12	3 (12,3)

индивидуальных хронологий, которые составляют обобщенные хронологии сети.

Для оценки изменчивости обобщенных рядов применяли коэффициент чувствительности и стандартное отклонение. Первый характеризует относительную величину погодичной изменчивости прироста, а второй – ее амплитуду.

Известно, что ряды ширины годичных колец обладают некоторой "инерционностью" благодаря физиологическим предпосылкам для роста [19]. Ширина годичного кольца данного года в какой-то степени зависит от роста дерева и условий окружающей среды в прошлом. Климатическая информация, содержащаяся в кольцах деревьев, будет искажена, если не свести до минимума влияние условий предыдущих лет на прирост данного года. Обычно такую структуру рядов индексов годичного прироста достаточно адекватно моделируют авторегрессионным (AR) процессом [20] или процессом авто-

регрессии-скользящего среднего (ARMA) [21], разработанных в теории временных рядов [22]. Ряд индексов прироста может быть выражен в форме линейного разностного уравнения определенного порядка. Порядок авторегрессии отражает статистически значимую зависимость прироста данного года от соответствующего количества предшествующих лет роста. Процент дисперсии в авторегрессии оценивает "инерционность" дерева в реакции на климатическое воздействие.

Вычисление обобщенных рядов производилось как усреднение отдельных рядов индексов прироста для данной точки [23, 24].

Для статистической оценки влияния климатических факторов на рост деревьев в работе использовались данные средних месячных температур воздуха по 11 метеостанциям, расположенным на территории Западной Сибири. Некоторые характеристики инструментальных наблюдений на метеостанциях указаны в табл. 3.

Список метеостанций и некоторые их характеристики

Метеостанция	Географические координаты		Высота над ур. м., м	Продолжи- тельность, годы	Температура июня–июля, °С	
	с. ш.	в. д.			средняя	дисперсия
Рай-Из	66°57'	65°28'	882	1939–1990	5,6	1,8
Мужи	65°23'	64°43'	42	1933–1990	12,4	1,5
Салехард	66°31'	66°36'	35	1883–1990	10,9	1,7
Новый Порт	67°42'	72°57'	5	1924–1990	7,3	1,5
Надым	65°36'	72°44'	10	1955–1990	12,5	1,3
Тазовское	67°28'	78°44'	5	1939–1990	10,0	1,7
Тарко-Сале	64°55'	77°49'	65	1937–1990	12,9	1,5
Сидоровск	66°36'	82°18'	20	1949–1990	12,0	1,8
Дудинка	69°24'	86°05'	28	1906–1991	9,3	2,0
Игарка	67°28'	86°34'	20	1929–1991	11,8	1,7
Туруханск	65°47'	86°58'	37	1878–1990	12,8	1,8

Выбор этих метеостанций продиктован следующими обстоятельствами. Метеостанции равномерно распределены по территории. Период наблюдений у них максимальный. Количество пропусков в наблюдениях этих метеостанций минимально. При этом пропуски в наблюдениях заполнялись регрессионным методом на основании соответствующих данных по близлежащим метеостанциям либо других источников информации. Источниками климатической информации были работы [25–28].

Статистическую оценку реакции деревьев на климатические факторы производили хорошо известным в дендроклиматологии методом функций отклика [19]. Реконструкцию летних температур выполняли регрессионным методом [29], с той лишь разницей, что предиктантом каждый раз была отдельная метеостанция. В качестве предикторов использовали обобщенные ряды индексов прироста деревьев построенной сети.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Построенные дендроклиматические ряды имеют достаточно сильную погодичную изменчивость и взаимную внутреннюю корреляцию индивидуальных хронологий. Об этом свидетельствуют значения коэффициентов чувствительности, стандартного отклонения и отношение сигнал–шум (см. табл. 2).

Если рассмотреть ряды, построенные по листовнице сибирской, можно заметить следующее. Среднее значение чувствительности рядов для самых северных семи точек сети составляет 0,44, а для девяти точек более южной

трансекты – 0,33. Различия между ними статистически значимы. То же можно заметить и для стандартных отклонений. Их средние значения равны 0,35 и 0,28 соответственно. Средние значения отношения сигнал–шум статистически не отличаются. Их значения равны 27,1 и 22,5 соответственно. Средние значения процента дисперсии, объяснимой в модели авторегрессии, незначительны – 9,8 и 14,6 % для северной и южной оконечностей дендроклиматической сети. Однако заметна тенденция уменьшения этой дисперсии при движении с запада на восток, особенно для северной трансекты.

Для четырех самых северных точек сети, где брали образцы ели сибирской, и четырех более южных точек все три показателя изменчивости – чувствительность, стандартное отклонение и отношение сигнал–шум – статистически не отличаются. Их значения следующие: 0,23 и 0,21, 20,5 и 18,8, 13,1 и 11,0. Средний процент дисперсии, объяснимой в модели авторегрессии – 11,1 и 10,8 %.

Что касается сосны обыкновенной, то ареал ее распространения захватывает лишь южную часть построенной дендроклиматической сети. Средние значения показателей изменчивости для двух точек равны 0,28, 24,0 и 10,3. Средний процент дисперсии в модели авторегрессии 13,2.

Очевидна высокая погодичная изменчивость и тесная корреляция между дендроклиматическими рядами. Корреляция между индивидуальными рядами, составляющими отдельные обобщенные ряды, еще более высокая. Следовательно, обобщенные ряды содержат климатический сигнал. Особенно это выражено для

рядов по лиственнице. Кроме этого, в дендроклиматических рядах наблюдается возрастание изменчивости при движении с юга на север, что сходно с феноменом возрастания изменчивости характеристик климата атмосферы в полярных областях, который иногда называют полярным усилением.

Оценка функций отклика показала (рис. 2), что средняя месячная температура воздуха июня и июля положительно и значимо влияет на рост деревьев текущего вегетационного периода. Самая высокая корреляционная связь средних месячных температур воздуха достигается для рядов по лиственнице. В среднем корреляция между июнем и приростом составляет 0,3, а с июлем – 0,54. Максимальные значения 0,46 и 0,71 соответственно. Процент изменчивости в рядах по лиственнице, объяснимый ходом месячных температур, в среднем составляет 40, а максимально 57 для ряда JAN в среднем течении р. Ядыяхадыха.

Для рядов по ели сибирской средняя корреляция прироста с июнем и июлем составляет 0,27 и 0,37. Процент изменчивости в рядах по ели, объяснимый ходом месячных температур, в среднем составляет 26. Максимальные значения этих показателей 0,40, 0,47 и 38 %.

Для рядов по сосне обыкновенной теснота связей прироста с летними температурами текущего года оказалась незначительной. Зато значимо и положительно на прирост текущего года влияют температуры октября предшествующего года. Корреляции между приростом и температурой октября для двух рядов равны

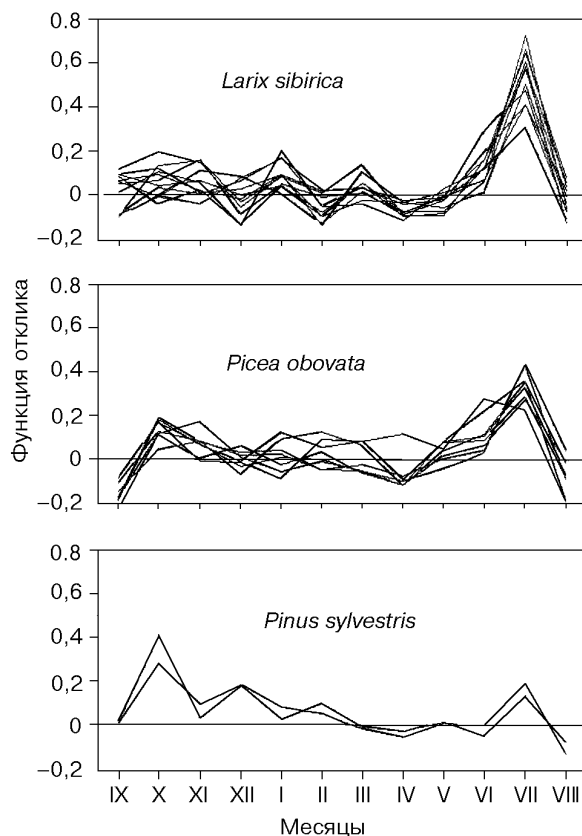


Рис. 2. Функции отклика обобщенных дендроклиматических рядов на средние месячные температуры воздуха.

0,45 и 0,34. Процент изменчивости в уравнении множественной регрессии 27 и 24. Учитывая такой характер влияния температурного режима на рост сосны, эти ряды не включили в процедуру пространственной реконструкции летних температур. В дальнейшем они

Т а б л и ц а 4

Характеристики реконструкции средних летних температур воздуха (июнь–июль) моделью множественной регрессии

Метеостанция	Весь период		Калибровка модели		Верификация модели
	R^2	ST	R^2	ST	r
Рай-Из	0,73	37/13	0,75	20/6	0,57
Мужи	0,70	36/17	0,65	20/10	0,49
Салехард	0,67	81/25	0,70	41/12	0,65
Новый Порт	0,61	42/22	0,63	20/12	0,45
Надым	0,70	26/9	0,62	12/5	0,40
Тазовское	0,78	39/11	0,73	19/7	0,54
Тарко-Сале	0,77	39/13	0,67	20/7	0,55
Сидоровск	0,87	36/5	0,8	19/3	0,63
Дудинка	0,68	61/22	0,61	30/12	0,53
Игарка	0,71	45/16	0,71	22/8	0,58
Туруханск	0,62	81/30	0,65	41/14	0,59

П р и м е ч а н и е R^2 – коэффициент множественной корреляции, ST – критерий знаков, r – коэффициент корреляции.

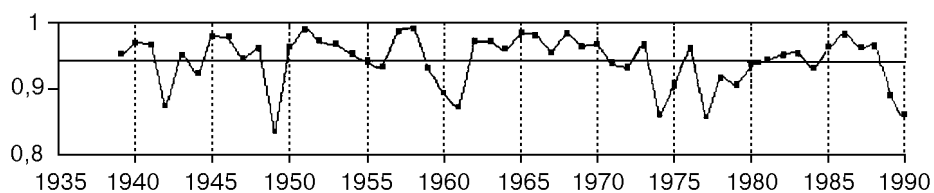


Рис. 3. Изменение корреляций между наблюдаемыми и реконструированными средними температурами воздуха по 11 базовым метеостанциям.

ваться для реконструкции осенних температур воздуха.

Количественные характеристики реконструкции средних летних температур воздуха для

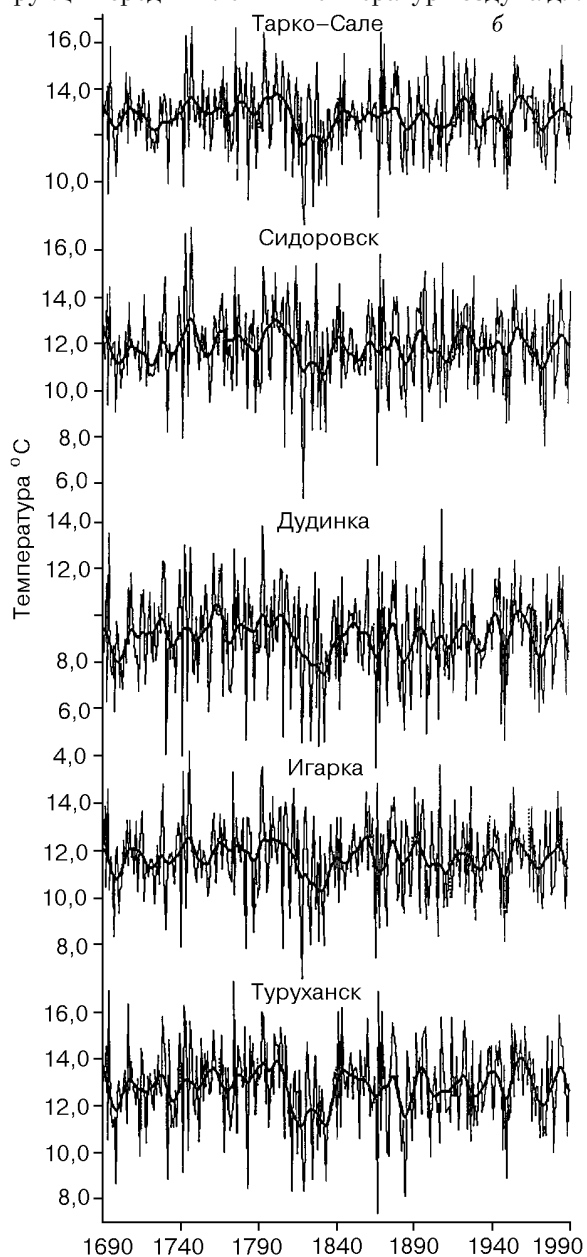
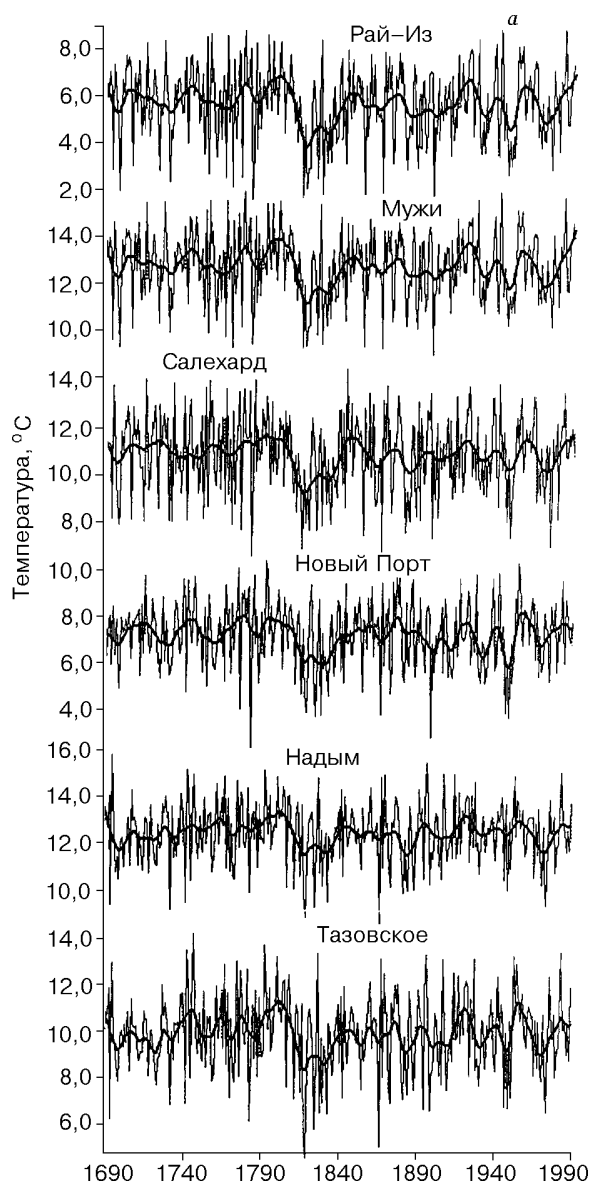


Рис. 4. Точечные (по базовым метеостанциям) реконструкции средней температуры июня-июля по древесно-кольцевым хронологиям.

каждой метеостанции приведены в табл. 4, из которой видно, что коэффициент множественной корреляции практически не изменяется в зависимости от периода, на котором строится модель. Калибровка модели производилась на первой половине всего периода наблюдений на соответствующих метеостанциях. Количество обобщенных рядов в модели множественной регрессии для каждой отдельной метеостанции варьировало от 8 до 18. Высокие значения коэффициентов множественной корреляции показывают хорошее соответствие между ходом средней температуры воздуха (июнь–июль) и изменчивостью обобщенных рядов, окружающих метеостанцию.

Критерий знаков также показывает высокое отношение. Соответствие между ходом наблюдаемых и реконструированных температур достигает 88 % (Сидоровск) и в среднем составляет 76 %. Наименьшее соответствие получено для метеостанций Мужы (68 %) и Новый Порт (66 %). Анализ лет, в которых получилось несоответствие, показал, что это годы с небольшими отклонениями наблюдаемой температуры от многолетней средней.

Верификация модели производилась на второй половине всего периода наблюдений. Коэффициент корреляции между ходом наблюдаемых и реконструированных температур также оказался высоким. При этом реконструкция производилась по параметрам модели, полученным на первой половине периода наблюдений.

Таким образом, качество реконструкции летних температур по каждой метеостанции за период наблюдений оказалось высоким. Рассмотрим теперь это качество по отдельным годам. На рис.3 представлен график коэффициентов корреляции между наблюдаемыми и реконструированными температурами воздуха по всем 11 метеостанциям. Из рисунка видно, что среднее значение корреляции составляет 0,95 и лишь в отдельные годы (1942, 1949, 1961, 1974, 1977, 1990) его значение чуть ниже 0,9. Это подтверждает высокое соответствие пространственной реконструкции летних температур полученным.

В заключение приведены графики реконструированных летних температур по всем 11 метеостанциям. Из рисунков видно, что долговременные флуктуации по всей территории очень

сходны. Однако есть и различия. Например, холодный период на рубеже XVII и XVIII вв. очень хорошо выражен в восточной части трансекты. В то же время в западной части этот цикл выражен слабее. Самый продолжительный холодный период по всей территории наблюдался в первой половине XIX в. В западной части наиболее холодными были 20-е годы, а в восточной это происходило в 30-е. Холодный период в 80-е годы XIX в. хорошо выражен на всей территории, за исключением Полярного Урала и Южного Ямала.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, гранты 96-04-48258 и 96-07-89101.

журнал

1. Ю. А. Израэль, М. Хашимото, У. Дж. Мак Г. Тегарт, Оценки экологических и социально-экономических последствий изменения климата, Санкт-Петербург, Гидрометеиздат, 1992.
2. Ю. А. Израэль, О. Канзиани, У. Дж. Мак Г. Тегарт, Оценки экологических и социально-экономических последствий изменения климата, Санкт-Петербург, Гидрометеиздат, 1993.
3. И. И. Борзенкова, К. Я. Винников, Л. П. Спирина, Д. И. Стехановский, *Метеорология и гидрология*, 1976, 7, 27–35.
4. В. Ф. Захаров, Льды Арктики и современные природные процессы, Л., Гидрометеиздат, 1981.
5. K. R. Briffa, P. D. Jones, *The Holocene*, 1993, 3, 77–88.
6. С. Г. Шиятов, Структура и функционирование биогенозов Приобского Севера, Свердловск, 1981, 45–53.
7. Б. Л. Берри, А. А. Либерман, С. Г. Шиятов, *Вестн. МГУ. Сер. 5 (География)*, 1983, 4, 41–47.
8. С. Г. Шиятов, В. С. Мазепа, Временные и пространственные изменения климата и годичные кольца деревьев, ч. 2, Каунас, 1987, 69–84.
9. С. Г. Шиятов, В. С. Мазепа, Г. Фриттс, Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, т. XIV, 1992, 125–134.
10. D. A. Graybill, S. G. Shiyatov, *Climate Since A.D. 1500*, 1992, 397–414.
11. А. П. Ившин, *Экология*, 1994, 4, 8–18.
12. R. M. Hantemirov, *International Conference on Past, Present and Future Climate*. Publication of the Academy of Finland, 1995, N. 6, 124–127.
13. V. S. Mazepa, *Ibid.*, 136–139.
14. K. R. Briffa, P. D. Jones, F. H. Schweingruber *et al.*, *Nature*, 1995, 376, 156–159.
15. Е. А. Ваганов, С. Г. Шиятов, В. С. Мазепа, Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1996.
16. E. R. Cook, K. Peters, *Tree-Ring Bulletin*, 1981, 41, 45–53.
17. T. Riemer, *Trend. User's Guide for Personal Computers*, Germany, University of Gottingen, 1991.

7 0 :LJOH\ . 5 %ULIID 3 ' -RQHV -RXUQDO RI 6 6KLDWRY 9 0DJHSD (&RRN ,ELG Ü
&OLPDWH DQG \$\$\$SOLHG 0HWHRURORJA Ü zäÖäÉ°ä° Ö É°)Ö® °¹Ém° ÖÖ} vvc m©¹
• €Ö °äÉ°É°ÖĴ É°
+ &)ULWVW 7UHH 5LQJV DQG &OLPDWH /RQGRQ 1HZv¹Ém° ÖÖ} ¹° }äÖäÉ°, vvc m©¹ •
<RUN 6DQ)UDQFLVFR \$FDGHPLF 3UHVV €Ö °äÉ°É°ÖĴ É°
(5 &RRN 7LPH6HULHV \$QDOVLV \$\$\$SURDFK WR 7UHH 5LQJ 3 ' -RQHV 6 & % 5DSHU % 6 * &KHUU\ HW DO \$Q
6WDQGDUGLJDWLRQ 3K 'LVVHUWDWLRQ 7XFVRQ \$= 808SGDWHG *OREDO *ULG 3RLQW 6XUIDFH \$LU 7HPSHUDWXUH
YHUVLW RI \$ULJRQD \$QRPDO\ 'DWD 6HW Ü 2DN 5LGJH 7HQQHVVHH
- *XLRW (FRORJLFDQ 0RGHOOLQJ Ü (QYLURQPHQWDO 6FLHQFHV 'LYLVLRQ
* (3 %R[* 0 -HQNLQV 7LPH 6HULHV \$QDOVLV 9 1 5DJXYDHY (* \$SDVRYD 5 \$ 0DUWXJDQRY
)RUHFDVWLQJ DQG &RQWURO 6DQ)UDQFLVFR +ROGHQ DLO\ 7HPSHUDWXUH DQG 3UHFLSLWDWLRQ 'DWD IRU
8665 6WDWLRQV 2DN 5LGJH 7HQQHVVHH (QYLURQPHQWDO
(&RRN 6 6KLDWRY 9 0DJHSD 0HWKRGV RI 'HQGURF 6FLHQFHV 'LYLVLRQ
KURQRORJA \$\$\$SOLFQV LQ WKH (QYLURQPHQWDO 6FLHQW 3 ' -RQHV 0 / :LJOH\ HW DGRXUQDO
(&RRN DQG / .DLULXNVWLW HGV Ü RI &OLPDWRORJA Ü

6SDWLDO 5HFRQVWUXFWLRQ RI 6XPPHU \$LU 7HPSHUDWXUH LQ WKH 1RUWK
RI :HVW 6LEHULD VLQFH RQ WKH %DVLV RI 7UHH 5LQJ 'DWD

9\$(5, 6 0\$=(3\$

,QVWLWXWH RI 30DQW DQG \$QLPDO (FRORJA 5XVVLQ \$FDGHP\ RI 6FLHQFHV
0DUWD 6W (NDWHULQEXUJ 5XVVLQ

2SSRUWXQLW RI DQXDO UHFRQVWUXFWLRQ RI 6XPPHU WKHUPDO FRORORV RURE 3RDU
XS WR <HQLVHL 5LYHU RÜ Ü R (LV HQVXUH E\ WKH KLJK DQG VXILFLHQWO\ VWDEOH UHODWLRQV EHWZ
FRQLIHURXV WUHH JURZWK LELULF L FHD RERYD DQG FRUHVSRQGLQJ FOLPDWLF IDFWRUV 3HUFHQW YDULDQFH
LQ WUHH ULQJ FKURQRORJLHV H[SODLQH E\ WKH FOLPDWH -XQH\XOWWLSRUDW\XPHUHU IRU
JURZWK RI WUHHV UHDFKHV
6SDWLDO UHFRQVWUXFWLRQ RI DLU 6XPPHU WHPSHUDWXUH RQ WKH EDVLV RI SRQVHVSROD/WUXFWLRQ IRU
LQJ PHWHRVWDWLRQV KDV EHHQ GHYHORSHG \$QDOVLV RI UHFRQVWUXFWLRQV WUHHVSRQVWUXFWLRQV
QLILFDQW FKDQJHV IRU WKH ODVW \HDUV 7KH VWURQJHVW IDOO RI WHPSHUDWXUH HVZD V REVHUYHG LQ
WXU\ EXW D ULVH LQ WHPSHUDWXUH ZDV REVHUYHG LQ WKH ;9,, DQG ;; FHQWULHV