

ОРИГИНАЛЬНЫЕ
СТАТЬИ

УДК 630*561.24: 630*11: 630*18

**ВЫДЕЛЕНИЕ КЛИМАТИЧЕСКОГО СИГНАЛА
НА УВЛАЖНЕНИЕ ИЗ ДРЕВЕСНО-КОЛЬЦЕВЫХ
ХРОНОЛОГИЙ В ГОРНЫХ ЛЕСОСТЕПЯХ
АЛТАЕ-САЯНСКОГО РЕГИОНА***

© 2011 г. В. Н. Магда¹, Й. Блок², О. Ч. Ойдунаа¹, Е. А. Ваганов³

¹Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН
660036 Красноярск, Академгородок
E-mail: institute@forest.akadem.ru

²Институт географии университета Фридриха Александра
Эрланген-Нюрнберг, Германия

³Сибирский федеральный университет. 660041 Красноярск
Поступила в редакцию 24.07.2006 г.

Исследования в Центральной Азии (Алтае-Саянский регион, Северо-Западная и Центральная Монголия) показали, что деревья, произрастающие в засушливых условиях горных лесостепей, имеют смешанный и неустойчивый климатический отклик. Очевидно, что такой характер климатического отклика деревьев не позволяет использовать древесно-кольцевые хронологии для климатических реконструкций. В связи с этим необходимо разделить климатический сигнал древесно-кольцевых хронологий, т.е. выделить сигнал на увлажнение. В данной работе предлагается метод разделения климатического сигнала древесно-кольцевых хронологий горных лесостепей и приводится оценка его надежности двумя независимыми способами. Анализ хронологий, полученных после разделения сигнала, основанный на метеорологических и гидрологических данных, показал, что эти хронологии могут быть использованы для климатических реконструкций.

Древесно-кольцевые хронологии, климатические реконструкции, Алтае-Саянский регион.

Исследования в Центральной Азии (Алтае-Саянский регион, Северо-Западная и Центральная Монголия) показали, что деревья, произрастающие в засушливых условиях среднегорного и высокогорного поясов, имеют сложный и неустойчивый климатический отклик [6, 8, 13]. Речь в данном случае идет о горных лесостепях, расположенных на высоте 1000 м над ур. моря и выше, включающих листовенничные древостои со значительной долей засухоустойчивой степной растительности в напочвенном покрове. Такие древостои распространены в горных котловинах, на склонах, получающих большое количество солнечной радиации, и склонах, находящихся в дождевой тени, в местообитаниях с хорошим дренажем и т.д. Влияние климатических факто-

ров – температуры воздуха и атмосферного увлажнения – на изменчивость радиального прироста деревьев в условиях горных лесостепей является смешанным, т.е. величина прироста в значительной степени определяется действием как атмосферного увлажнения, так и температуры воздуха, при этом характер воздействия или знак корреляции (положительный или отрицательный) меняется во времени. В периоды потеплений влияние температуры на прирост отрицательно, а увлажнения – положительно, что типично для засушливых условий произрастания [7, 16, 18, 20]. В холодные периоды, наоборот, действие температуры становится положительным, т.к. рост начинает лимитироваться ее минимальными значениями. Очевидно, что такой характер климатического отклика деревьев препятствует использованию древесно-кольцевых хронологий для климатических реконструкций, поскольку это приводит к нарушению одного из базовых принципов палеорекоkonструкций – принципа униформизма [16].

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (02-05-65119) и программы “Научная школа” (НШ 2108.2003.04).

Однако получение длительных (несколько сот лет) климатических реконструкций, в особенности реконструкций увлажнения, является основной целью создания региональной сети дендроклиматических станций в Центральной Азии, и наиболее длительные хронологии дают участки горных лесостепей. Для данного и других регионов в настоящее время остро стоит проблема разделения климатического сигнала древесно-кольцевых хронологий, т.е. выделения отклика на увлажнение. Пока эта проблема не решена, добротные дендроклиматические реконструкции не могут быть получены. В данной работе предлагается метод разделения климатического сигнала древесно-кольцевых хронологий горных степей и приводится оценка его надежности для реконструкций увлажнения и анализа его прошлых изменений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе проводится анализ дендрохронологического материала по лиственнице сибирской (*Larix sibirica* Ldb.), собранного в пределах замкнутых сухих горных котловин или на склонах ограничивающих их хребтов Алтая, Западного Саяна и Танну-Ола (Тыва) (рис. 1, табл. 1).

Отбор образцов древесины производился в виде кернов посредством шведского возрастного бурава на высоте 0.5–1.3 м по одному радиусу. В лабораторных условиях была произведена подготовка образцов к измерениям по общепринятой методике [2, 11, 16, 20], измерена ширина годичных колец с точностью 0.01 мм при помощи измерительной установки LINTAB™ и специального программного пакета TSAP™ [19] и проведена перекрестная датировка образцов, качество которой оценивалось с помощью программы COFESHA [17]. Индивидуальные древесно-кольцевые хронологии стандартизировались с помощью негательной экспоненты или линейной функции, обобщенные хронологии были построены путем расчета взвешенных средних [15]. Процедура стандартизации (расчет индексов) выполнялась с помощью программы ARSTAN [17]. Всего в работе было использовано 19 древесно-кольцевых хронологий – 4 хронологии по верхней границе леса и 15 хронологий горных лесостепей. Кроме того, в обсуждении результатов частично были затронуты результаты анализа древесно-кольцевых хронологий из лесостепной зоны равнин с четко выраженным сигналом на увлажнение [7].

Таблица 1. Краткое описание станций, древесно-кольцевые хронологии которых были использованы в работе (рис. 1).

Экологические условия	Код станции	Координаты		Высота над ур. моря	Период, число лет
		с. ш.	в. д.		
Верхняя граница леса	NCH 1	50°05'	87°06'	2150–2250	1420–1999, 580
	ULUP 2	50°29'	87°41'	1950–2150	1581–1994, 414
	DJAZ 3	49°37'	88°06'	2100	1561–2000, 440
	SAYAN 4	51°41'	90°00'	1800–2000	1612–2001, 390
Горные лесостепи	KURAY	50°12'	87°48'	1600–1700	1497–2000, 504
	KAN	50°54'	84°56'	1100–1300	1531–2000, 470
	MS	49°10'	87°17'	1550	1542–2000, 459
	ULA	50°41'	87°58'	1300	1555–2000, 446
	T09	50°50'	94°18'	1800	1820–2001, 182
	T10	50°48'	94°18'	1610	1676–2001, 326
	T12	50°45'	91°48'	1710	1750–2001, 252
	T13	50°45'	91°44'	1590	1547–2001, 455
	T14	50°48'	91°46'	1710	1672–2001, 300
	T18	50°55'	91°41'	1490	1801–2001, 201
	T22	51°03'	92°13'	1320	1627–2001, 375
	T23	51°03'	94°33'	1140	1768–2001, 234
	T24	50°37'	95°10'	1480	1734–2001, 268
	S06	51°34'	90°07'	1460	1736–2001, 266
	S07	51°32'	91°08'	1260	1775–2001, 227

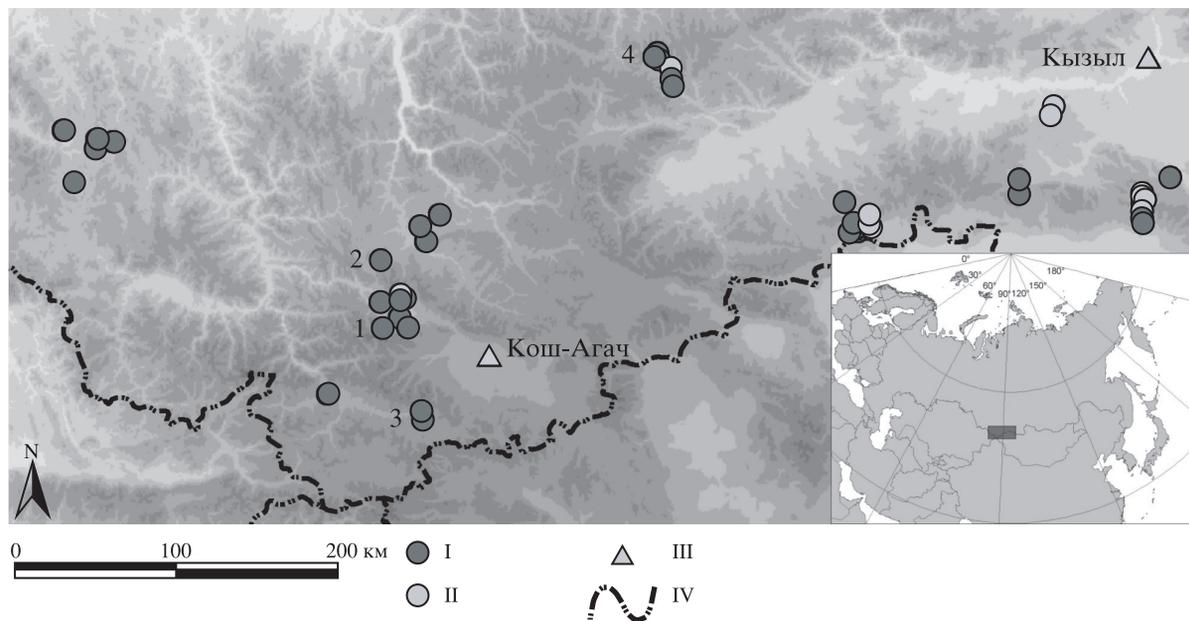


Рис. 1. Карта расположения дендроклиматических станций. I – 4 – станции на верхней границе леса (табл. 1), использованные для расчета первой главной компоненты (PC1). I – станции, использованные в работе, II – неиспользованные станции, III – населенные пункты, IV – государственная граница.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Обоснование метода разделения климатического сигнала. Основной задачей фильтрации климатического сигнала древесно-кольцевых хронологий в данном случае является получение компоненты изменчивости прироста, отражающей динамику увлажнения. В этом контексте компонента прироста, обусловленная действием температуры, рассматривается как “шум”. Соответственно, при разделении сигнала она должна быть устранена.

Предлагаемый метод разделения климатического сигнала основан на так называемой совокупной линейной модели (aggregate linear growth model), в которой ширина годичного кольца представлена в виде функции от действия нескольких факторов [14]:

$$G = C + A + \delta D1 + \delta D2 + E, \quad (1)$$

где G – ширина годичного кольца, C – климатически обусловленная компонента роста, а остальные члены уравнения – компоненты, обусловленные неклиматическими факторами (возрастной тренд, генетические факторы, локальные биогеоценозные условия и др.). Эта модель используется при стандартизации древесно-кольцевых хронологий для устранения неклиматических компонент изменчивости прироста [14]. В свою очередь, в случае смешанного сигнала компонен-

ту C можно разложить на два основных климатических фактора – температуру воздуха (T) и количество осадков (P). Тогда, опуская неклиматические компоненты роста, уравнение (1) примет вид:

$$G = aT + bP, \quad (2)$$

где a и b – коэффициенты уравнения.

Предположение линейности уравнения и отсутствия зависимости между T и P является существенными упрощениями реальной функции и реальных зависимостей [14]. Как будет показано ниже, эмпирические результаты хорошо соответствуют данной форме уравнения. Как видно из уравнения (2), для того чтобы установить соответствие между изменчивостью прироста и увлажнением, надо исключить параметр, который бы адекватно описывал компоненту T . Вычитая эту компоненту, можно получить остаток, который будет содержать относительно чистый сигнал на увлажнение (здесь предполагается, что все другие сигналы неклиматической природы были преимущественно устранены в процессе стандартизации индивидуальных хронологий). Компонента T хорошо выражена в древесно-кольцевых хронологиях верхней границы леса, где радиальный прирост определяется летней температурой воздуха [1, 2, 10, 11]. Динамика температуры будет описана лучше, если рассчитать средние значения по нескольким хронологиям удаленных друг от

друга участков. Однако, чтобы получить наиболее чистый сигнал, предпочтительнее вместо расчета средней использовать метод главных компонент, поскольку в этом случае будет устранена большая часть шума, обусловленного локальными условиями обитания на конкретном участке. Исходя из этого, были выбраны четыре удаленные друг от друга дендроклиматические станции, расположенные на верхней границе леса в Горном Алтае и Западном Саяне – DJAZ, NCH, ULUP и SAYAN (рис. 1). Далее эти хронологии были использованы для получения первой главной компоненты (далее PC1). PC1 объясняет 72% общей дисперсии хронологий. Коэффициенты корреляции хронологий с PC1 (факторные нагрузки) составили, соответственно, 0,88, 0,90, 0,86 и 0,74. Чтобы удостовериться, что PC1 действительно содержит региональный температурный сигнал, были рассчитаны климатические функции отклика [16]. Для этого были использованы метеорологические данные, усредненные по сети станций, расположенных на территории Горного Алтая и прилегающих районов за период 1937–1988 гг. Выявлены значимые положительные корреляции PC1 с температурой июня (0,44) и июля (0,27), а также с температурой августа предшествующего сезона (0,27). Корреляция PC1 с осадками июня и июля отрицательна и составляет –0,39 и –0,32, соответственно ($N = 52$, $R^2 = 0,55$, $F = 4,93$, $p < 0,001$, $df 10$, 41). Результаты функций отклика для PC1 соответствуют полученным ранее для верхней границы Горного Алтая [10]. Таким образом, PC1 может рассматриваться как переменная, отражающая региональный температурный сигнал, т.е. представляет собой искомую компоненту T уравнения (2). Чтобы устранить температурный сигнал из хронологий горных лесостепей, была предпринята следующая процедура. Для того чтобы уравнивать средние значения и дисперсии временных рядов и избежать искусственного внесения нестационарности в ряды, которые будут получены после преобразования сигнала, все хронологии были предварительно нормализованы по формуле $(X_i - X_{\text{mean}})/SD$, где X_i – индекс прироста в год i , X_{mean} – средняя ряда, SD – его стандартное отклонение. Затем PC1 вычиталась из каждой хронологии, полученной для горных лесостепей:

$$X - PC1 = X_r, \quad (3)$$

где X – исходная, а X_r (residual) – “разностная” хронология. Таким образом, были получены 15 разностных хронологий. Необходимо было проверить, насколько адекватно работает данный метод разделения сигнала. Для этого был выполнен тот же анализ, который ранее использовался для

идентификации смешанного сигнала. Поэтому далее материал будет представлен по схеме, какие результаты были получены “до” и “после” устранения температурного сигнала. Ниже мы рассмотрим результаты кластерного [8] и корреляционного анализа [6]. Также будут представлены результаты климатических функций отклика и корреляционного анализа с использованием климатических (атмосферные осадки) и гидрологических (сток рек, уровень озер) переменных.

Кластерный анализ. Кластерный анализ 40 древесно-кольцевых хронологий Алтае-Саянского региона, выполненный для 96-летнего периода [8], показал, что древесно-кольцевые хронологии равнинных и горных условий разделяются на две большие группы (рис. 2). В первую группу попадают хронологии верхней границы леса, где прирост лимитируется температурой воздуха. Во вторую группу попадают хронологии лесостепной зоны равнин, где лимитирующий фактор – увлажнение. К этой же группе относятся и хронологии горных лесостепей – местообитаний, расположенных на большой абсолютной высоте (1000 м и выше) и отличающихся недостатком влаги. Однако при анализе 25-летних интервалов было выявлено, что в период похолодания в XIX в. происходит существенное изменение структуры кластеризации. Это изменение выражается в том, что значительная часть хронологии горных лесостепей в разные периоды перемещается в группу верхней границы леса, сильно меняются кластерные расстояния (рис. 3а, 3б), схемы кластеризации значительно отличаются от исходной. Как было установлено, трансформации схем кластеризации обусловлены усилением температурного сигнала хронологий горных лесостепей в периоды похолоданий. Повторный пошаговый кластерный анализ хронологий после устранения температурного сигнала показал, что наблюдаемых ранее изменений структуры кластеризации не происходит (рис. 3в, 3г). Не наблюдается ни значительного изменения кластерных дистанций, ни миграций участков между группами. Хорошо видно, что схемы кластеризации в правой части рисунка соответствуют схеме, приведенной на рис. 2.

Скользкие коэффициенты корреляции. Расчет скользких коэффициентов корреляции между исходными хронологиями горных лесостепей и верхней границы леса и лесостепной зоны равнин [6] для временных окон 7 и 51 год, выявил, что значения коэффициентов меняются от значимых положительных до значимых отрицательных (рис. 4а, 4б). Увеличение корреляции между хронологиями горных лесостепей и верхней границы леса также вызвано усилением температур-

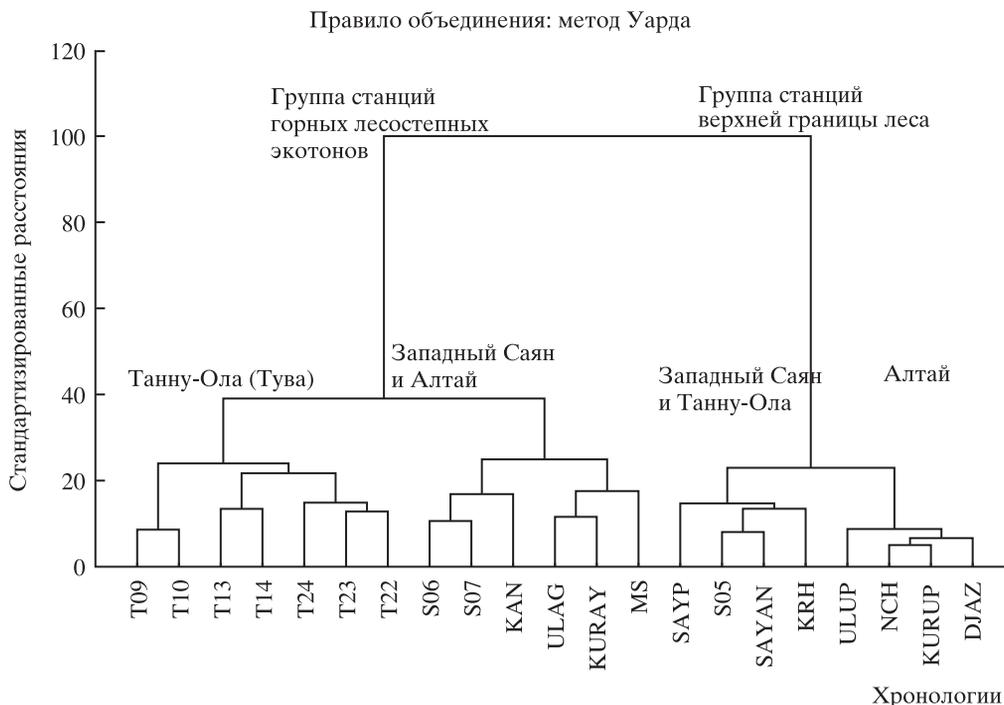


Рис. 2. Схема кластеризации древесно-кольцевых хронологий Алтае-Саянского региона за период с 1778 по 1994 г.

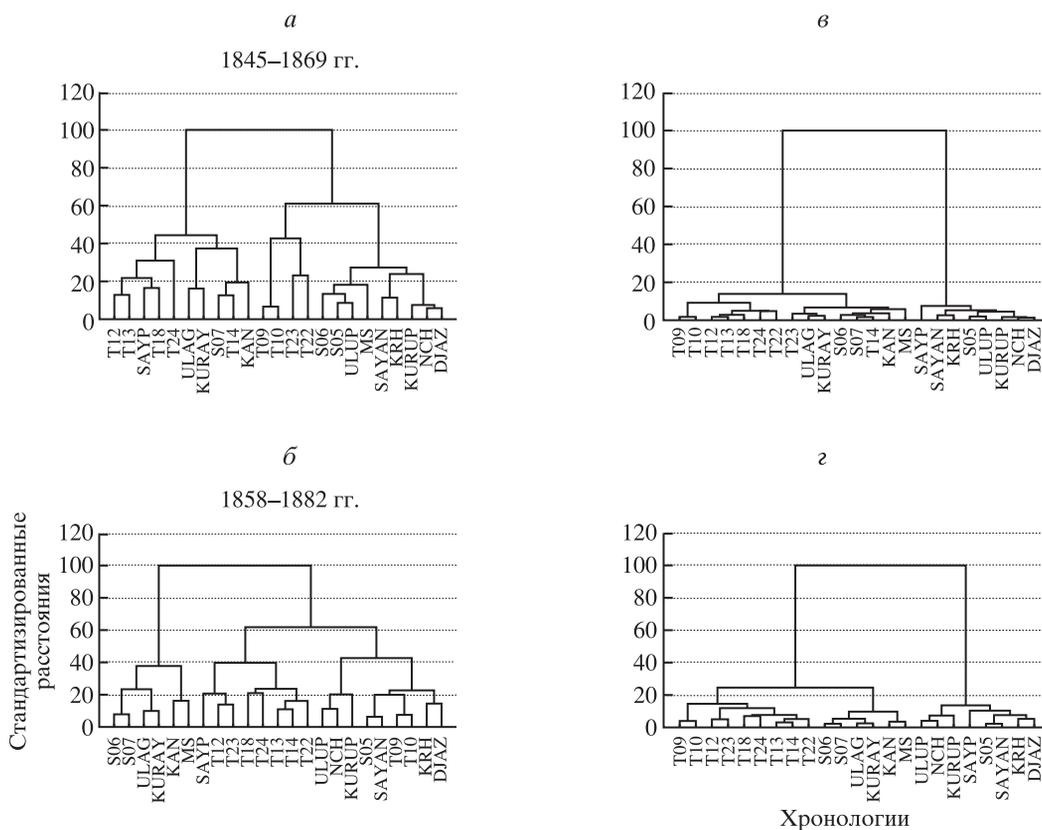


Рис. 3. Контрольный этап кластерного анализа: а, б – схемы кластеризации до устранения температурного сигнала; в, г – после устранения за аналогичные периоды. T09, T10, T12, T13, T14, T18, T22, T23, T24, S06, MS – участки группы горных лесостепей, которые «мигрировали» в группу верхней границы леса до устранения температурного сигнала.

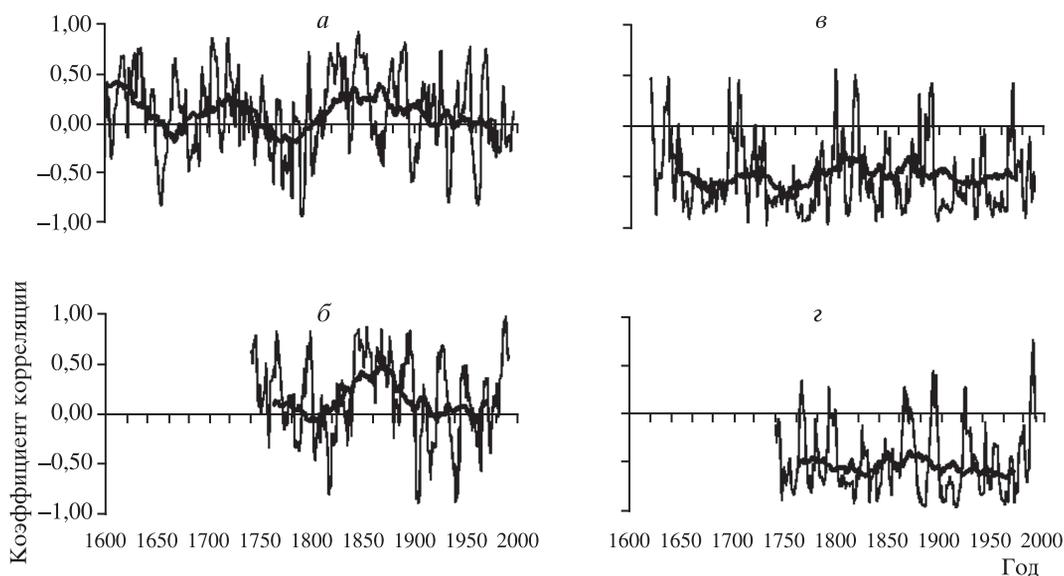


Рис. 4. Пример расчетов 7- и 51-летних скользящих коэффициентов корреляции для двух пар участков до (а, б) и после (в, г) устранения температурного сигнала в хронологиях горных лесостепей.

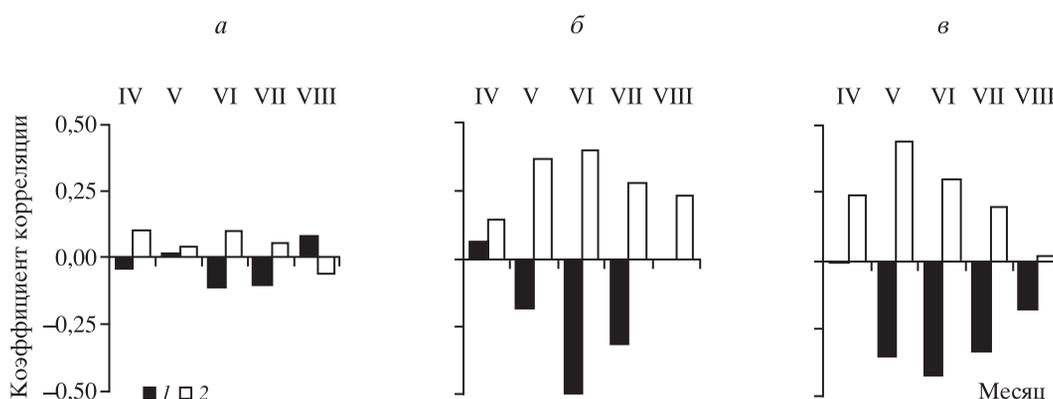


Рис. 5. Коэффициенты корреляции прироста деревьев со среднемесячной температурой и суммой осадков апреля – августа по исходным (а) и разностным (б) хронологиям горных лесостепей, а также по хронологиям лесостепной зоны равнин (в): 1 – температура, 2 – осадки.

ного сигнала первых. После фильтрации сигнала пики корреляции, обусловленные похолоданием в середине XIX в., сильно сглаживаются. Корреляции хронологий горных лесостепей с хронологиями верхней границы леса становятся отрицательными (рис. 4в, 4г).

Климатические функции отклика. При расчете климатических функций отклика [16] величина прироста описывается линейной регрессионной моделью, куда в качестве независимых переменных включаются метеорологические данные (обычно месячные данные по температуре и осадкам). Функции отклика были рассчитаны как для исходных, так и для разностных хронологий за период 42–52 года, в зависимости от длительности ряда данных по конкретной метеостанции, всего для 30 хронологий. Для хронологий Горно-

го Алтая были использованы усредненные метеоданные по сети станций (см. выше). Поскольку получить усредненные климатические ряды для территории Тувы оказалось невозможным ввиду недоступности данных по необходимому числу станций наблюдения, для хронологий этого региона использовались данные метеостанций Кызыл и Улангом (Монголия). Результаты расчета функций отклика (табл. 2) показали, что процент дисперсии, объясненной климатическими данными, для разностных хронологий значительно выше, чем для исходных. Для первых, как правило, выше отношение сумм квадратов регрессии к суммам квадратов остатков. Усредненные результаты для исходных и разностных хронологий приведены на рис. 5. Климатический отклик хронологий на увлажнение после устранения температурного сиг-

Таблица 2. Статистические характеристики функций отклика для некоторых исходных и разностных древесно-кольцевых хронологий межгорных котловин

Хронология	Период, лет	R^2	F-критерий			DW	Суммы квадратов		
			F	$p <$	df		хронология	регрессия	остаток
KAN	1937–1988,	0.66	5.01	0.001	14.37	2.20	52.00	34.03	17.97
KAN*	52	0.81	9.41	0.001	16.35	1.50	52.00	42.19	9.81
KURAY	1937–1988,	0.60	3.99	0.001	14.37	1.75	52.00	31.29	20.71
KURAY*	52	0.61	5.58	0.001	11.40	1.93	52.00	31.48	20.52
S06	1945–1986,	0.39	3.14	0.012	7.34	1.54	42.00	16.49	25.51
S06*	42	0.58	4.93	0.001	9.32	2.05	42.00	24.41	17.59
T09	1953–1997,	0.34	2.79	0.020	7.37	2.41	45.00	15.54	29.46
T09*	45	0.62	5.92	0.001	9.32	2.48	42.00	26.24	15.76
T12	1953–1997,	0.36	4.28	0.003	5.39	2.45	45.00	15.95	29.05
T12*	45	0.69	7.82	0.001	9.32	1.98	42.00	28.87	13.13
T18	1945–1986,	0.45	6.00	0.001	5.36	2.01	42.00	19.08	22.92
T18*	42	0.67	6.24	0.001	10.31	1.88	42.00	28.05	13.95

* Разностные хронологии.

Таблица 3. Коэффициенты корреляции между древесно-кольцевыми хронологиями Горного Алтая (исходными и разностными) и различными показателями увлажненности

Показатели увлажненности	Исходные хронологии				
	MS	KAN	KURAY	ULAG	Среднее
Осадки	0.06	0.20	0.09	0.02	0.09
Обь	0.37*	0.46*	0.16	0.12	0.28
Бия	0.25	0.50*	0.21	0.07	0.26
Чулышман	0.11	0.20	0.33	0.06	0.17
Ануй	0.39*	0.53*	0.36*	0.20	0.37
Чарыш	0.05	0.41*	–0.06	0.15	0.14
Оз. Телецкое	0.24	0.63*	0.44*	0.34*	0.41
Среднее	0.21	0.42	0.22	0.14	–
	Разностные хронологии				
Осадки	0.41*	0.53*	0.42*	0.42*	0.45
Обь	0.60*	0.65*	0.44*	0.46*	0.54
Бия	0.49*	0.64*	0.44*	0.39*	0.49
Чулышман	0.49*	0.59*	0.62*	0.51*	0.55
Ануй	0.62*	0.69*	0.55*	0.52*	0.60
Чарыш	0.30	0.54*	0.23	0.40*	0.37
Оз. Телецкое	0.52*	0.76*	0.61*	0.62*	0.63
Среднее	0.49	0.63	0.47	0.48	–

* Коэффициенты корреляции, достоверные при $N = 34$, $p < 0.05$.

нала усиливается, а связь между приростом и метеорологическими параметрами становится более четкой и стабильной. Как видно из рис. 5, климатический отклик разностных хронологий горных лесостепей после разделения в целом соответствует отклику хронологий лесостепной зоны рав-

нин, где лимитирующим фактором роста является увлажнение.

Корреляционная связь хронологий с гидрологическими параметрами. От количества атмосферных осадков сильно зависят речной сток и уровень озер [9, 12]. Эти параметры часто являются интегральными показателями осадков для боль-

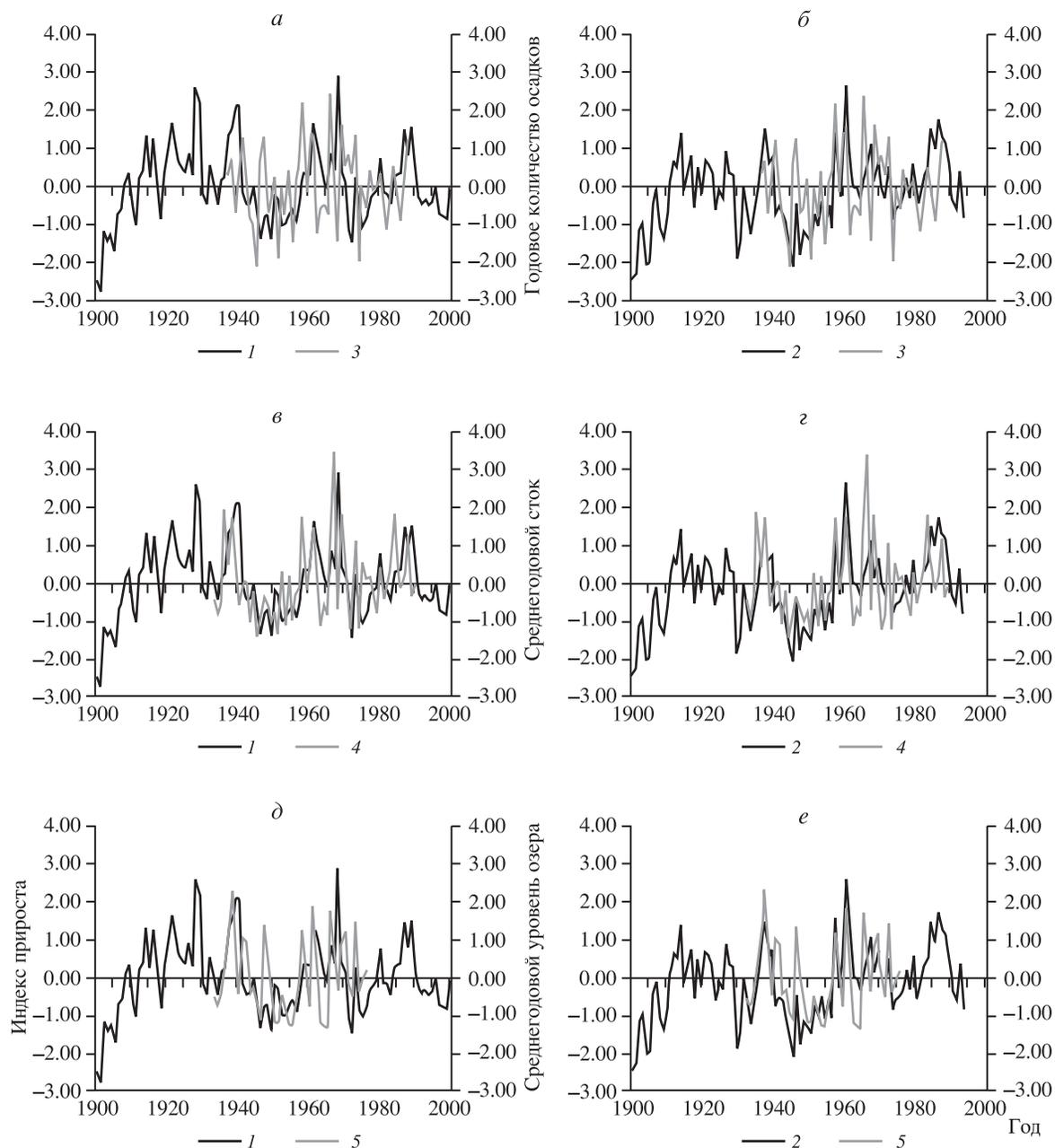


Рис. 6. Сопоставление древесно-кольцевой хронологии KURAY с метеорологическими и гидрологическими данными до и после устранения температурного сигнала: *a, б* – годовое количество осадков (*1* – исходная хронология, *2* – разностная хронология, *3* – количество осадков); *в, г* – среднегодовой расход воды р. Чулышман (*1* – исходная хронология, *2* – разностная хронология, *4* – расход воды); *д, е* – среднегодовой уровень Телецкого озера (*1* – исходная хронология, *2* – разностная хронология, *5* – уровень озера). Расчет годовой суммы осадков и среднегодовых значений гидрологических параметров проводился для периода с сентября предыдущего года по август текущего.

ших территорий, что позволяет считать гидрологические данные более надежными характеристиками увлажненности. Поэтому расчеты были сделаны как для атмосферных осадков, так и для стока (среднегодовой расход воды, м³с⁻¹) некоторых рек Алтая и Тувы, а также для уровня оз. Телецкое (м над ур. моря, Балтийская система). Использовались данные следующих гидропостов:

р. Обь – г. Барнаул, р. Бия – г. Бийск, р. Чулышман – пос. Балыкча, р. Ануй – пос. Старо-Тырышкино, р. Чарыш – пос. Усть-Кумир, оз. Телецкое – пос. Яйлю, р. Шагонар – пос. Пестуновка, пос. Арыскан, р. Элегест – пос. Хову-Аксы, пос. Элегест [3–5]. Было установлено, что древесно-кольцевые хронологии имеют самую низкую, хотя и значимую, корреляцию с данными по осадкам

при $N = 34$, $p < 0.05$ (использовались ряды, усредненные за период с сентября предыдущего года по август текущего). Со стоком рек корреляция несколько выше, и наиболее высокая она с уровнем Телецкого озера (табл. 3). На рис. 6 приведены наложенные графики индексов прироста хронологии KURAY и усредненных по площади осадков, стока р. Чулышман и уровня оз. Телецкое (для осадков использована годовая сумма, а для стока и уровня озера – среднегодовые значения за период с сентября предыдущего года по август текущего) до и после устранения температурного сигнала. Хорошо заметно, как усиливается связь прироста с каждым из показателей увлажнения, – процент дисперсии показателей увлажнения, объясненный шириной годичных колец после устранения температурного сигнала, увеличивается на величину 0.14, 0.19 и 0.21, соответственно для осадков, стока и уровня озера. К сожалению, ввиду недоступности достаточного объема климатических и гидрологических данных для Тувы, невозможно было провести анализ связи древесно-кольцевых хронологий с различными параметрами увлажнения, как это было сделано для Горного Алтая. Тем не менее можно отметить, что из 11 исходных хронологий по Туве лишь одна имеет значимые корреляции со стоком рек Элегест и Шагонар, в то время как из разностных хронологий значимые корреляции со стоком этих рек имеют все, за исключением одной (при $N = 31$, $p < 0.05$).

Заключение. Предлагаемый нами метод разделения климатического сигнала древесно-кольцевых хронологий горных лесостепей позволяет устранить или, по крайней мере, свести к минимуму содержащийся в них неустойчивый во времени температурный сигнал. Надежность данного метода была оценена двумя независимыми способами – с помощью статистического анализа самих древесно-кольцевых хронологий до и после устранения температурного сигнала и с помощью анализа связи хронологий с метеорологическими и гидрологическими параметрами. В обоих случаях результаты анализа убедительно свидетельствуют в пользу эффективности применения описанного метода. Древесно-кольцевые хронологии после разделения климатического сигнала с уверенностью могут быть использованы для реконструкций увлажненности Алтае-Саянского региона. Данные по речному стоку и уровню озера сильнее коррелируют с шириной годичных колец, поэтому они более перспективны для реконструкций, чем данные по атмосферным осадкам. Получение таких реконструкций и анализ временных закономер-

ностей изменчивости увлажнения в Алтае-Саянском регионе представляет собой предмет последующих работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Адаменко М.Ф.* Динамика прироста лиственницы как индикатор термического режима летних сезонов в Горном Алтае // Региональные географические исследования в Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1978. С. 20–23.
2. *Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазена В.С.* Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. Новосибирск: Наука, 1996. 245 с.
3. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Телецкое озеро. Л.: Гидрометеоздат, 1978. 140 с.
4. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т. 1. Вып. 10. Л.: Гидрометеоздат, 1984. 490 с.
5. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т. 1. Вып. 12. Л.: Гидрометеоздат, 1985. 470 с.
6. *Магда В.Н., Ваганов Е.А.* Особенности климатического отклика радиального прироста деревьев в условиях горных лесостепей Алтае-Саянского региона // Изв. РАН. Сер. геогр. 2006. № 5. С. 92–100.
7. *Магда В.Н., Зеленова А.В.* Радиальный прирост сосны как индикатор атмосферного увлажнения в Минусинской котловине // Изв. Русского геогр. о-ва. 2002. Т. 134. Вып. 1. С. 73–79.
8. *Магда В.Н., Ойдунаа О.Ч., Блок Й.* Исследование географических особенностей климатического сигнала древесно-кольцевых хронологий методами кластерного анализа // Изв. Русского геогр. о-ва. 2004. Т. 136. Вып. 1. С. 46–52.
9. *Максимов А.А.* Природные циклы. Причины повторяемости экологических процессов. Л.: Наука, 1989. 235 с.
10. *Овчинников Д.В., Панюшкина И.П., Адаменко М.Ф.* Тысячелетняя древесно-кольцевая хронология лиственницы Горного Алтая и ее использование для реконструкции летних температур // География и природные ресурсы. 2002. № 1. С. 102–108.
11. *Шиятов С.Г.* Дендрохронология верхней границы леса на Урале. М.: Наука, 1986. 136 с.
12. *Шнитников А.В.* Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажненности. Л.: Наука, 1969. 245 с.
13. *Block J., Magda V.N., Vaganov.* Temporal and spatial variability of tree growth in mountain forest steppe in Central Asia // Trace. V. 2. Proceedings of the Dendro-

- symposium. May the 1st – 3rd 2003. Utrecht, Netherlands. P. 46–53.
14. *Cook E.R.* A time series approach to tree-ring standardization. Tucson: Arizona University Press. 1985. 171 p.
 15. *Cook E.R., Kairiukstis L.A.* Methods of Dendrochronology. Application in Environmental Sciences. Dordrecht; Boston; London: Kluwer Acad. Publ., 1990. 394 p.
 16. *Fritts H.C.* Tree-ring and climate. London; N.Y.; San Francisco: Acad. Press, 1976. 567 p.
 17. *Holmes R.L.* Dendrochronology program library – user's manual. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson, Arizona, USA, Updated September 1998 (электронная версия).
 18. *Oberhuber W., Stumbock M., Kofler W.* Climate – tree-growth relationships of Scots pine stands (*Pinus sylvestris* L.) exposed to soil dryness // *Trees*. 1998. V. 13. P. 19–27.
 19. *Rinn F.* TSAP. Version 3.0. Reference manual. Computer program for time series analysis and presentation. Heidelberg: Frank Rinn Distribution. 264 c.
 20. *Schweingruber F.H.* Tree-rings and Environment. Dendroecology. Bern; Stuttgart; Vienna; Haupt. Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Researches. 1996. 609 p.

Extraction of Moisture Signal from Tree-Ring Chronologies of Mountain Forest-Steppe of the Altai-Sayan Region

V. N. Magda, J. Block, O. Ch. Oydupaa, E. A. Vaganov

The studies in Central Asia (Altai-Sayan, Northwestern and Central Mongolia) showed that trees growing under arid conditions of mountain forest-steppe had a mixed or unstable climatic response. It is obvious that such climatic response of trees does not allow using tree-ring chronologies for the reconstruction of climate. In this connection, it is necessary to separate the climatic signal of tree-ring chronologies, i.e. to obtain the clear moisture signal. In this paper, a method of climatic signal separating from tree-ring chronologies is described, and its reliability is shown by two independent ways. The analysis of the chronologies after the signal separation based on the meteorological and hydrological data proved that these chronologies could be used for the reconstruction of climate.