

УДК 902.674

В.С. Мыглан¹, О.Ч. Ойдупаа², Е.А. Ваганов¹¹Сибирский федеральный университет
Свободный пр., 79, Красноярск, 660041, Россия
E-mail: dend_ro@mail.ru
rector@sfu-kras.ru²Тувинский государственный университет
ул. Ленина, 36, Кызыл, 667000, Россия
E-mail: tgu@tuva.ru

ПОСТРОЕНИЕ 2 367-ЛЕТНЕЙ ДРЕВЕСНО-КОЛЬЦЕВОЙ ХРОНОЛОГИИ ДЛЯ АЛТАЕ-САЯНСКОГО РЕГИОНА (горный массив Монгун-Тайга)*

*Материалом для построения 2 367-летней древесно-кольцевой хронологии Монгун послужила древесина живых деревьев и остатков стволов лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ldb) с верхней границы леса (2 300 м) из горного массива Монгун-Тайга. Хронология хорошо согласуется с палеоклиматическими данными и отражает основные изменения климата в Северном полушарии за два последних тысячелетия: похолодание VI в., «средневековое потепление», «малый ледниковый период», современное потепление. Расчет функции отклика между ней и данными метеостанций позволил восстановить ряд изменчивости температуры воздуха июня – июля за 2 000 лет. Хронология содержит климатический сигнал регионального масштаба и пригодна для датировки археологической древесины, т.е. определения календарного времени сооружения памятников Алтае-Саянского региона.*

Ключевые слова: Монгун-Тайга, верхняя граница леса, древесно-кольцевые хронологии, реконструкция, палеоклимат, датирование памятников.

Введение

При изучении климата прошлых эпох в первую очередь привлекаются данные гидрометеорологических постов и станций, однако для некоторых территорий их плотности и длины периода наблюдений явно недостаточно [IPCC..., 2001, 2007]. Например, в Сибири количество рядов непрерывных инструментальных наблюдений невелико и их продолжительность зачастую не превышает последние 50 лет. В связи с этим для оценки изменений климата за длительные промежутки времени привлекаются косвенные индикаторы: озерные отложения, спорово-пыльцевые спектры, ледовые колонки, данные лихенометрии и др.

[Johnsen et al., 2001; Kaplan et al., 2003; Jones, Mann, 2004; Esper et al., 2005; Сидорова, Наурызбаев, Ваганов, 2007; Blyakharchuk et al., 2007; Andreev et al., 2007; Sidorova et al., 2011; и др.]. Особый интерес вызывают годовые кольца деревьев, позволяющие получать надежную информацию об изменении основных климатических параметров в прошлом с временным разрешением год, вегетационный сезон [Fritts, 1976; Methods of dendrochronology..., 1990; Дендроклиматические исследования..., 1996; и др.].

Значительную ценность дендрохронологические исследования представляют для континентальных районов Евразии, поскольку древесная растительность горных экосистем на границе своих ареалов, например на верхней границе произрастания, содержит интенсивный климатический сигнал, обусловленный кратковременностью вегетационного сезона и силь-

*Работа выполнена при поддержке АВИЦП № 2.1.1/6131, Гранта президента РФ № МК-1675.2011.6.

ной зависимостью от температуры [Адаменко, 1978; Шиятов, 1986; Овчинников, Ваганов, 1999]. В то же время, в отличие от Субарктики, для которой выполнено значительное число длительных палеоклиматических реконструкций, для Алтае-Саянского региона их количество невелико [Дендроклиматические исследования..., 1996; Наурзбаев, Ваганов, Сидорова, 2003; Hantemirov, Shiyatov, 2002; Сидорова, Наурзбаев, 2002; и др.]. В настоящее время созданы единичные непрерывные древесно-кольцевые хронологии протяженностью более тысячи лет: по лиственнице сибирской (*Larix sibirica* Ldb) длительностью 1 093 и 1 772 года для Горного Алтая [Овчинников, Панюшкина, Адаменко, 2002; Мыглан и др., 2009] и 1 929 лет для Тывы [Мыглан и др., 2008]; по сосне сибирской (*Pinus sibirica* Tour) 1 738-летняя для Северной Монголии [D'Arrigo et al., 2001].

Не менее важное значение имеет построение длительной древесно-кольцевой хронологии для решения вопросов датировки и периодизации археологических памятников в Алтае-Саянском регионе. Хорошо известно, что народы, проживавшие на этой территории, во многом определили характер этнокультурного развития на обширных пространствах Евразии, однако из-за скудости или полного отсутствия для отдельных эпох письменных данных до наших дней дошли только археологические свидетельства. В памятниках скифского, тюркского времени хорошо сохранилась древесина (погребальные конструкции, столбы оградок, предметы быта и др.), что позволяет путем проведения дендрохронологического анализа установить относительные или абсолютные даты ее заготовки [Слюсаренко 1998, 2000, 2010]. Таким образом, представленная в работе 2 367-летняя древесно-кольцевая хронология Mongun является универсальным инструментом как для реконструкции изменчивости ранне-летних температур за последние 2 000 лет, так и для получения надежных календарных дат сооружения деревянных погребальных конструкций археологических памятников.

Материал и методы

Район исследований находится в западной части Республики Тывы и расположен на северных, северо-восточных склонах горного массива Монгун-Тайга, который охватывает площадь ок. 400 км² и является центром современного оледенения (высшая точка 3 976,9 м). Климат здесь резко континентальный, характеризуется среднегодовыми температурами ниже нуля (–3 °C) и большой амплитудой перепада суточных температур. Средняя температура летних месяцев колеблется от 8,9 до 17 °C (по данным расположенной в 20 км от массива на высоте 1 850 м метеостан-

ции Мугур-Аксы), на высотах более 2 000 м в июле наблюдаются ночные заморозки, возможно выпадение снега, отдельные островки которого сохраняются по долинам ручьев и на склонах северной экспозиции до конца месяца даже в наиболее теплые годы [Ефимцев, 1957]. Территория характеризуется малым количеством осадков (142 мм за год), большая часть которых приходится на период с мая по октябрь, более 30 % – на июль (по данным метеостанции Мугур-Аксы), т.е. в целом находится в условиях умеренного и недостаточного увлажнения [Климат..., 1986]. Сезонная мерзлота (489 км²) охватывает периферию массива на высотах 2 400–2 200 м, а также приурочена к скальным породам в центре [Чистяков, Москаленко, Ганюшкин, 2008].

Основным материалом для исследования послужила древесина лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ldb), обладающая высокими индикационными свойствами (высокая чувствительность прироста к изменению условий окружающей среды) и широкой экологической амплитудой роста. Пробные площади закладывались на верхней границе леса (высота 2 300–2 400 м над ур. м.), на участках, не испытывающих недостатка в солнечной радиации. При отборе кернов с живых деревьев предпочтение по возможности отдавалось разреженным древостоям и отдельно растущим деревьям, т.к. в этих случаях влияние фитоценологических факторов на формирование годичного кольца менее выражено. Отбор дисков производился с сохранившихся на дневной поверхности (на каменистых осыпях, в песчаных отложениях и пр.) остатков стволов выше или на уровне современной границы распространения древесной растительности. Координаты каждого отдельно взятого образца фиксировались с помощью GPS-навигатора («Garmin 60Сх») с точностью до тысячных долей градуса. В результате экспедиционных работ 2007–2009 гг. в районе Монгун-Тайги было собрано более 360 образцов с участка площадью ок. 35 км² (рис. 1).

Ширина годичных колец измерялась на полуавтоматической установке LINTAB (с точностью 0,01 мм). Датирование серий было выполнено посредством сочетания графической перекрестной датировки [Douglass, 1919] и кросс-корреляционного анализа (в пакете специализированных программ для дендрохронологических исследований – DPL [Holmes, 1983] и TSAP, V3.5 [Rinn, 1996]). Наличие значительного количества измеренных и проанализированных образцов позволило произвести отсев: выбраковано 37 серий, имеющих аномалии в приросте или сохранившихся в виде небольших фрагментов.

Возрастной тренд был удален на основе использования негативной экспоненты и сплайна в две трети от длины индивидуальной хронологии в программе ARSTAN [Cook, Krusic, 2008]. Для оценки качества



Рис. 1. Расположение метеостанций (а) и участка сбора образцов (б).

построенной древесно-кольцевой хронологии (ДКХ) применялись традиционные показатели: стандартное отклонение, характеризующее амплитуду годичной изменчивости прироста; EPS, оценивающий чувствительность ДКХ к изменению внешних факторов (зависит от количества анализируемых образцов и показывает, как конкретная ограниченная выборка отражает сигнал целой популяции или генеральной совокупности); RBAR – среднее значение коэффициента корреляции между отдельными сериями [Wigley, Briffa, Jones, 1984; Methods of dendrochronology..., 1990]. Для сопоставления индексов прироста с климатическими данными были привлечены материалы инструментальных наблюдений за приземной температурой воздуха и количеством осадков с метеорологических станций Ак-Кем, Актру, Кош-Агач, Уйги, Улангом, Эрзин.

Результаты и их обсуждение

В 2007 г. общее количество датированных моделей в древесно-кольцевой хронологии составило 98, в т.ч. 20 по живым деревьям и 78 по отмершим, что позволило построить непрерывную шкалу длительностью 1 929 лет (рис. 2, А) [Мыглан и др., 2008]. Выполненный пространственный анализ распределения образцов палеодревесины показал наличие отдельных групп деревьев, которые сохраняются на протяжении двух последних тысячелетий и являются центрами экспансии древесной растительности

в теплые эпохи. Именно на эти участки был сделан упор при дальнейшем поиске древесных остатков с целью продления хронологии и улучшения качества ее заполнения в интервале с VI по VIII в. н.э. Проведенный в 2008–2010 гг. комплекс экспедиционно-камеральных работ позволил увеличить количество серий до 302 (из которых 47 построены по живым деревьям, цифра дана без учета выбракованных образцов) и продлить хронологию до 359 г. до н.э. (т.е. ее протяженность составила 2 367 лет). В результате за счет роста числа репликаций существенно улучшилось качество древесно-кольцевой хронологии (рис. 2, Б). Доля «выпавших» колец снизилась по сравнению с 2007 г. с 0,05 до 0,02 %.

Средний возраст образцов уменьшился с 365 до 354 лет (по причине увеличения количества фрагментарно сохранившихся образцов), но максимальный возраст деревьев вырос с 804 до 859 лет. Наличие в хронологии индивидуальных древесно-кольцевых серий такой длительности позволяет говорить о том, что в ней отражены не только внутривековые, но и превышающие вековой интервал климатические колебания.

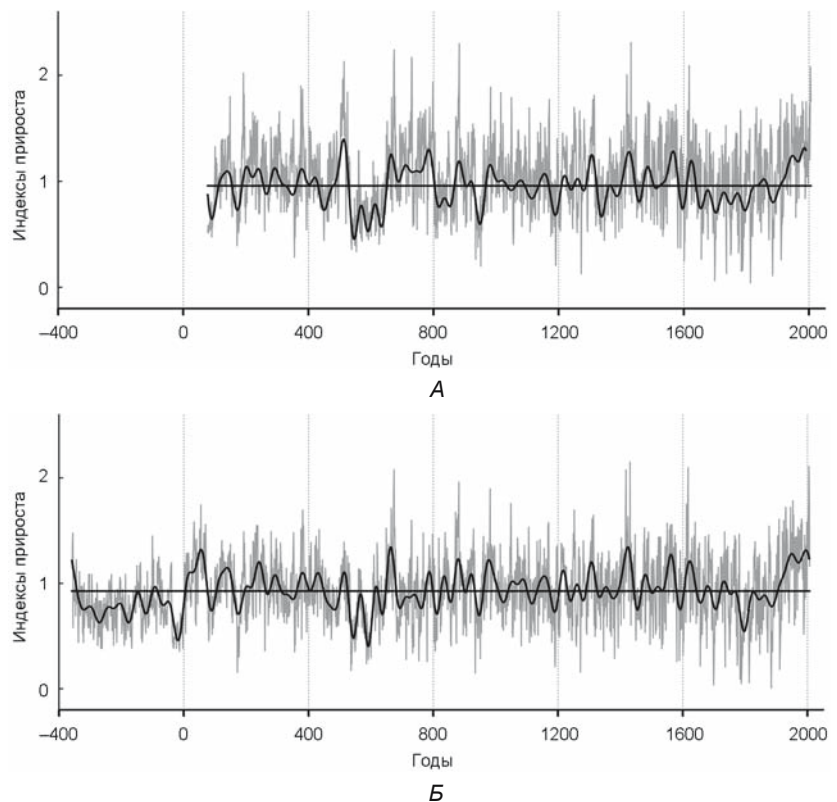


Рис. 2. Стандартизированная древесно-кольцевая хронология Mongun за 2007 (А) и 2010 (Б) гг.

Тонкой линией отображены годовые, жирной – сглаженные низкочастотным фильтром колебания индексов прироста, горизонтальной – арифметическая средняя.

Анализ индексов внутривековой изменчивости прироста показал существенное его снижение в I в. до н.э., во вторых половинах I, II и V вв. н.э., VI в., первой половине IX в., середине X в., второй половине XII в., середине XV в., конце XVI – начале XVII в., середине XVII – XIX в. Периоды с высоким приростом пришлись на первую половину I в. н.э., III – середину V в., середину VII в., вторые половины IX и X вв., первую половину XV в., середину XVI в., первую половину XVII в., XX в. (рис. 2, Б). Распределение числа деревьев по календарной шкале неоднородно и демонстрирует тенденцию к снижению по мере продвижения в прошлое (рис. 3). При этом визуально выделяются неблагоприятные для произрастания древесной растительности периоды, на которые приходится резкое увеличение гибели деревьев и замедление процесса лесовозобновления, гибель подроста, – вторая половина V – VI в., XIII–XIV и XVII–XVIII вв.

При анализе показателей EPS и RBAR для ДКХ 2007 г. явственно просматривается падение значений на отрезке с 450 по 600 г. (рис. 4, А, Б), что связано с невысокой обеспеченностью образцами этого периода из-за гибели деревьев во время похолодания, наступившего в середине VI в., разрушения части периферийных колец

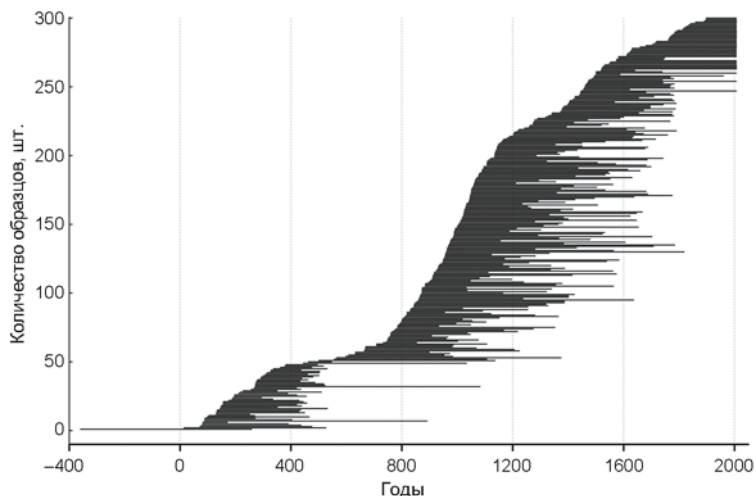


Рис. 3. Распределение деревьев, использованных для построения древесно-кольцевой хронологии Mongun, относительно начала их роста.

у образцов древесины, пролежавшей на дневной поверхности более 1 000 лет. Увеличение числа репликации образцов в ДКХ 2010 г. позволило улучшить общее качество хронологии, и значения показателей EPS и RBAR для периода с V по VII в. возросли (рис. 4, В, Г). В результате появилась возможность на основе хронологии Mongun выполнить погодичную реконструкцию раннелетней температуры в Алтае-Саянском регионе за последние 2 000 лет.

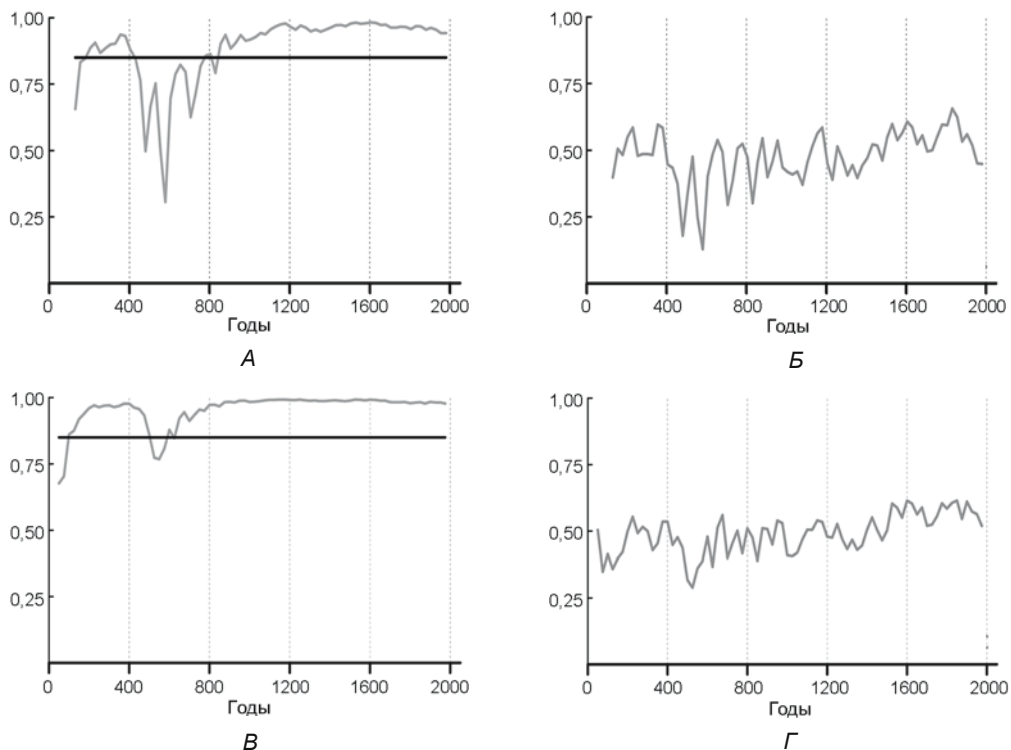


Рис. 4. Статистические характеристики RBAR и EPS хронологии Mongun за 2007 (А, Б) и 2010 (В, Г) гг.

Коэффициенты корреляции индексов прироста с данными метеостанций

Меся- цы	Ак-Кем		Актру		Кош-Агач		Эрзин		Уйги		Улангом	
	Std	Res	Std	Res	Std	Res	Std	Res	Std	Res	Std	Res
IV	-0,14	-0,11	0,09*	0,13*	0,03	-0,08	-0,01	-0,14	0,01*	-0,18*	-0,10*	-0,17*
V	0,08	0,24	0,41*	0,49*	0,17	0,18	0,02	0,03	-0,07*	-0,10*	0,04*	0,06*
VI	0,56	0,65	0,60	0,62	0,47	0,46	0,41	0,29	0,46	0,50	0,53	0,50
VII	0,32	0,39	0,31	0,36	0,41	0,33	0,42	0,25	0,59	0,62	0,31	0,33
VIII	0,01	0,18	-0,09*	-0,08*	0,14	0,09	0,12	0,01	0,20*	0,13*	0,13*	0,16*
IX	-0,06	-0,01	-0,21*	-0,10*	0,07	0,03	0,02	0,00	-0,01*	-0,02*	0,17*	0,17*
VI-VII	0,62	0,72	0,66	0,70	0,57	0,53	0,50	0,33	0,64	0,57	0,54	0,53
N	35		37 (26)		68		57		37 (38)		40 (38)	

Примечание: std – стандартизированная древесно-кольцевая хронология, res – остаточная древесно-кольцевая хронология (без автокорреляционной составляющей), N – объем использованной выборки, звездочкой обозначены коэффициенты, рассчитанные для выборки объемом, указанным в скобках.

Для количественной оценки климатического сигнала, содержащегося в хронологии, были рассчитаны функции отклика между ней и доступными данными инструментальных метеонаблюдений (см. таблицу). Результаты анализа показывают, что основное воздействие на изменчивость радиального прироста оказывают температуры июня – июля при преобладающем влиянии июньских. Например, сопоставление индексов прироста с рядами инструментальных наблюдений с метеостанции Ак-Кем позволяет объяснить до 50 % от общей изменчивости хода температур июня – июля. Полученные результаты хорошо согласуются с данными других исследователей [D'Arrigo et al., 2001; Овчинников, Панюшкина, Адаменко, 2002; и др.]. Наличие устойчивой и значимой связи между индексами прироста и данными метеостанций, расположенных на расстоянии 300–400 км от точки сбора образцов, показывает, что изменчивость прироста древесно-кольцевой хронологии Mongun отражает изменения летней температуры как минимум регионального масштаба. При этом высокие коэффициенты корреляции индексов прироста с рядами инструментальных метеонаблюдений в Центральном Алтае и Северной Монголии и пониженные с данными метеостанций, расположенных восточнее, согласуются со схемами районирования, относящими массив Монгун-Тайга к Восточному Алтаю [Рельеф..., 1988].

Наиболее тесно с индексами прироста связаны ряды инструментальных наблюдений с метеостанции Ак-Кем. Поскольку материал для построения древесно-кольцевой хронологии был собран на небольшом участке со сходными условиями произрастания древесной растительности, то связь между приростом и температурными изменениями должна быть стабильна во времени. В этом случае на основе полученных

зависимостей путем расчета линейной регрессии была построена модель, позволившая реконструировать ход температур июня – июля за последние 2 000 лет (рис. 5, А).

На рис. 5 хорошо видно, что падение раннелетней температуры приходится на вторые половины I, II и V вв., VI в., первую половину IX в., середину X в., вторую половину XII в., середину XV в., конец XVI – начало XVII в., середину XVII – XIX в. Благоприятность условий произрастания древесной растительности определяется не только средней летней температурой, но и ее изменчивостью, частотой экстремально холодных сезонов. По своим последствиям эффект серий таких сезонов можно приравнять к дополнительному снижению средней температуры лета на один-два градуса [Хантемиров, 2009]. По числу годов с летней температурой ниже среднего более чем на 1 °C самыми холодными были VI, VIII, XVII, XVIII и XIX вв. В масштабе десятилетий наиболее суровыми были периоды 529–553, 576–605 и 1778–1819 гг., последний, вероятно, выступает в качестве максимального проявления малого ледникового периода на Алтае. Анализ погодичной изменчивости летних температур позволил выделить серии из холодных лет: 536–538, 540 гг.; 549 и 550; 591 и 592; 1190 и 1191; 1775 и 1776; 1788–1790; 1813 и 1814; 1883 и 1884 гг. При сопоставлении периодов снижения летних температур с частотой аномально холодных летних сезонов хорошо видно, что самыми экстремальными были VI и XVII–XIX вв. Это подтверждается и увеличением числа погибших деревьев в указанные столетия (см. рис. 3). Данный показатель изменчивости летних температур свидетельствует о том, что похолодание в малый ледниковый период (XVII–XIX вв.) было более неблагоприятно (высокая дисперсия) для лесной растительности горных экосистем, чем в VI в.

Рост раннелетней температуры наблюдался в первой половине I в., III – середине V в., середине VII в., вторых половинах IX и X вв., первой половине XV в., середине XVI в., первой половине XVII в. и в XX в. По количеству положительных аномалий самыми теплыми были I, III–IV, VII–IX, XV и XX вв. В масштабе десятилетий можно отметить периоды 40–66 гг., 652–676, 969–991, 1405–1432, 1554–1573, 1612–1630 гг. и с 30-х гг. XX столетия по настоящее время. Анализ погодичной изменчивости летних температур позволяет выделить серии из теплых лет: 64 и 65 гг.; 233 и 234; 381–384; 665 и 666; 673–676; 730 и 731; 876, 877, 879–882; 1168–1170; 1417 и 1418; 1929–1931; 1945 и 1946; 1979–1982 гг. Время «средневекового потепления» пришлось на VII–X вв., что совпадает с данными, полученными другими исследователями для Китая и сопредельных горных систем [Chu Ko-Chen, 1973; Соломина, 1999]. Наибольшее число теплых сезонов отмечалось в XX столетии: 19 из 85 случаев (рис. 5, Б).

Анализ погодичной изменчивости летней температуры имеет важное значение в историческом плане, поскольку от нее напрямую зависит урожайность сельскохозяйственных культур, продуктивность пастбищ [Мыглан и др., 2007]. Внутривековые климатические колебания оказывают более существенное воздействие (в силу их длительности) не только на функционирование горных экосистем [Шиятов, Мазепа, 2007], но и на социальные процессы, связанные с хозяйственной деятельностью населения [Мыглан, 2010]. Если обратиться к историческим свидетельствам, то, например, такие явления, как похолодание в VI в., малый ледниковый период, хорошо зафиксированы в документах. Так, в 509 г. реки в Англии замерзли более чем на два месяца, 536 г. и ряд последующих лет характеризуются холодным летом с мощным густым туманом, неурожаем, голодом, эпидемиями (Юстинианова чума), в 548 г. выдалась такая снежная и морозная зима, что птиц и зверей можно было ловить руками [Bailie, 1994; Клименко, 2009; и др.]. Значительное число работ посвящено аномально холодному 536 г., который фиксируется по дендрохронологическим данным (в виде повреждений в структуре древесины, «выпадающих» колец, разломов и снижения радиального роста деревьев) в Англии [Bailie, 1994], Монголии [D'Arrigo et al., 2001], на востоке Таймыра и северо-

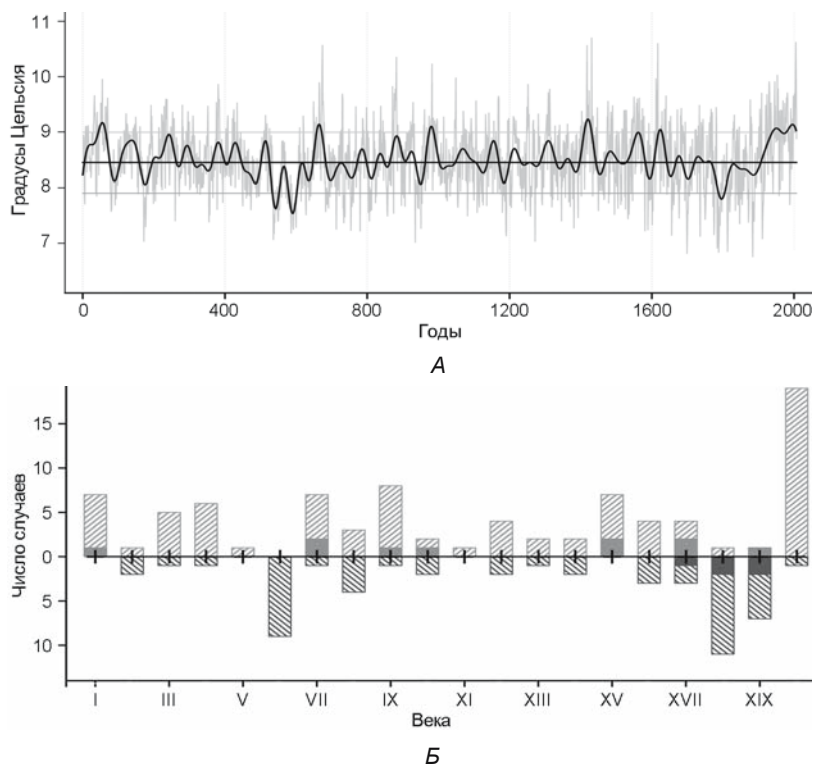


Рис. 5. Реконструированный ряд хода раннелетних температур по древесно-кольцевой хронологии Mongun (А) и количество экстремально теплых и холодных летних сезонов с температурой выше и ниже среднего более чем на 1 °С (штриховка) и 1,5 °С (сплошная заливка) по столетиям (Б).

ро-востоке Якутии [Сидорова, Наурзбаев, Ваганов, 2005], что свидетельствует о глобальном характере явления. О масштабах последствий похолодания в VI в. для Европы и Византии говорит тот факт, что, по неполным данным, в этом столетии было 39 голодных лет [Клименко, 2009]. Несомненно, последствия такого похолодания должны были проявиться на Алтае. Не случайно в это время здесь произошла смена археологических культур – с булан-кобинской на тюркскую [Тишкин, 2007; Kubarev, 2001]. Данное обстоятельство имеет логическое объяснение. Понижение температуры приводило к ухудшению условий для пастбищного животноводства – основы хозяйства местного населения. Похолодание вызывало увеличение зимних осадков в степных и полупустынных районах, сокращение вегетационного периода на летних пастбищах и уменьшение площади зимних. В результате происходила депопуляция территории. По окончании периода температурного минимума она вновь начинала активно осваиваться, но, как правило, носителями другой культуры [Быков, Мыглан, Овчинников, 2008]. Не менее драматичным для населения Сибири был и малый ледниковый период, который также изобиловал сообщениями о неурожаях и голоде [Мыглан, 2010].

Таким образом, построенная 2 367-летняя древесно-кольцевая хронология Mongun представляет собой уникальный источник информации о динамике летнего температурного режима Алтае-Саянского региона, поскольку изменения физических характеристик годичных колец живых деревьев и ископаемой древесины отражают погодичную и многолетнюю изменчивость температур июня – июля и обеспечивают необходимый уровень достоверности статистических моделей при дендроклиматических реконструкциях за два последних тысячелетия. Реконструкция температурного режима Алтае-Саянского региона хорошо согласуется с общеклиматическими трендами, отчетливо выделяются «событие 536 г.», «средневековое потепление», малый ледниковый период, современное потепление. Анализ индексов прироста позволяет выявить «волны гибели» деревьев на верхней границе леса, совпадающие с периодами максимального похолодания и активизации ледников на Алтае, формирование молодого поколения деревьев соотносится с периодами потепления, что характерно и для XX в. Построение хронологии такой длительности впервые закладывает надежную основу для датирования археологической древесины. Это позволит установить календарное время сооружения памятников Алтае-Саянского региона.

Таким образом, в результате проведенной работы впервые для территории Алтае-Саянской горной страны удалось построить абсолютную древесно-кольцевую хронологию в 2 367 лет (Mongun). Ее качество обеспечивает выполнение надежной погодичной реконструкции изменений летней температуры за два последних тысячелетия. Длина древесно-кольцевой хронологии позволяет уже сегодня получить абсолютные даты для «плавающих» древесно-кольцевых хронологий, построенных по материалам археологических памятников I тыс. до н.э., не говоря уже о более поздних периодах. В перспективе она может быть увеличена до 6 000 лет.

Список литературы

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.

Быков Н.И., Мыглан В.С., Овчинников Д.В. Влияние климата на смену археологических культур Алтая // География и геоэкология Сибири. – Красноярск, 2008. – № 3. – С. 91–98.

Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике / Е.А. Ваганов, С.Г. Шиятов, В.С. Мазепа. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1996. – 246 с.

Ефимцев Н.А. Климатический очерк // Природные условия Тувинской автономной области. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – С. 46–65.

Климат и горные леса Южной Сибири / Н.П. Поликарпов, Н.М. Чебакова, Д.И. Назимова. – Новосибирск: Наука, 1986. – 226 с.

Клименко В.В. Климат: непрочитанная глава истории. – М.: Изд. дом Моск. энерг. ин-та, 2009. – 408 с.

Мыглан В.С. Климат и социум Сибири в малый ледниковый период. – Красноярск: Сиб. федерал. ун-т, 2010. – 230 с.

Мыглан В.С., Овчинников Д.В., Ваганов Е.А., Быков Н.И., Герасимова О.В., Сидорова О.В., Силкин П.П. Построение 1772-летней древесно-кольцевой хронологии для территории Республики Алтай // Изв. РАН. Сер. геогр. – 2009. – № 6. – С. 70–77.

Мыглан В.С., Овчинников Д.В., Ваганов Е.А., Жирнова Д.Ф. Влияние климатических изменений на хозяйственную деятельность населения Южной Сибири в «малый ледниковый период» // География и природные ресурсы. – 2007. – № 1. – С. 90–96.

Мыглан В.С., Ойдунаа О.Ч., Кирдянов А.В., Ваганов Е.А. 1 929-летняя древесно-кольцевая хронология для Алтае-Саянского региона (Западная Тува) // Археология, этнография и антропология Евразии. – 2008. – № 4. – С. 25–31.

Наурызбаев М.М., Ваганов Е.А., Сидорова О.В. Изменчивость приземной температуры воздуха на севере Евразии по данным тысячелетних древесно-кольцевых хронологий // Криосфера Земли. – 2003. – Т. 7, № 2. – С. 84–91.

Овчинников Д.В., Ваганов Е.А. Дендрохронологические характеристики лиственницы сибирской на верхней границе леса в Горном Алтае // Сиб. экол. журн. – 1999. – № 2. – С. 145–152.

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.

Рельеф Алтае-Саянской горной области / В.А. Николаев, А.Ф. Чернов. – Новосибирск: Наука, 1988. – 204 с.

Сидорова О.В., Наурызбаев М.М. Реакция на климатические изменения лиственницы Каяндера на верхней границе леса и в долине реки Индигирки // Лесоведение. – 2002. – № 2. – С. 73–75.

Сидорова О.В., Наурызбаев М.М., Ваганов Е.А. Отклик древесно-кольцевых хронологий Севера Евразии на мощные вулканические извержения // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – СПб.: Гидрометеоздат, 2005. – Т. 20. – С. 37–59.

Сидорова О.В., Наурызбаев М.М., Ваганов Е.А. Динамика климата позднего голоцена севера Евразии, по данным ледниковых кернов Гренландии и длительных древесно-кольцевых хронологий // Изв. РАН. Сер. геогр. – 2007. – № 1. – С. 95–107.

Слюсаренко И.Ю. Методы сбора ископаемого дерева для дендрохронологического анализа // Гуманитарные науки в Сибири. – 1998. – № 3. – С. 121–122.

Слюсаренко И.Ю. Дендрохронологический анализ дерева из памятников пазырыкской культуры Горного Алтая // Археология, этнография и антропология Евразии. – 2000. – № 4. – С. 122–130.

Слюсаренко И.Ю. Дендрохронологическое датирование археологических памятников скифской эпохи Алтая: автореф. дис. ... канд. ист. наук. – Новосибирск, 2010. – 34 с.

- Соломина О.Н.** Горное оледенение Северной Евразии в голоцене. – М.: Науч. мир, 1999. – 272 с.
- Тишкин А.А.** Создание периодизационных и культурно-хронологических схем: исторический опыт и современная концепция изучения древних и средневековых народов Алтая. – Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та, 2007. – 356 с.
- Хантемиров Р.М.** Динамика древесной растительности и изменения климата на севере Западной Сибири в голоцене: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – М., 2009. – 43 с.
- Чистяков К.В., Москаленко И.Г., Ганюшкин Д.А.** Многолетняя мерзлота горного массива Монгун-Тайга (Юго-Западная Тува) и ее динамика // География и природопользование Сибири. – Барнаул, 2008. – Вып. 10. – С. 279–286.
- Шиятов С.Г.** Дендрохронология верхней границы леса на Урале. – М.: Наука, 1986. – 136 с.
- Шиятов С.Г., Мазепа В.С.** Климатогенная динамика лесотундровой растительности на Полярном Урале // Лесоведение. – 2007. – № 6. – С. 11–22.
- Andreev A.A., Pierau R., Kalugin I.A., Daryin A.V., Smolyaninova L.G., Diekmann B.** Environmental changes in the northern Altai during the last millennium documented in Lake Teletskoye pollen record // Quat. Res. – 2007. – Vol. 67. – P. 394–399.
- Baillie M.G.L.** Dendrochronology raises questions about the nature of the A.D. 536 // Holocene. – 1994. – Vol. 4. – P. 212–217.
- Blyakharchuk T.A., Wright H.E., Borodayko P.S., van der Knapp W.O., Ammann B.** Late glacial and Holocene vegetation history of the Altay Mountains (southern Tuva Republic), Siberia // Paleogeography, paleoclimatology, paleoecology. – 2007. – Vol. 245, N 3/4. – P. 518–534.
- Chu Ko-Chen.** A preliminary study on the climatic fluctuations during the last 5000 years in China // Scientia Sinica. – 1973. – Vol. 16, N 2. – P. 226–256.
- Cook E.R., Krusic P.J.** A Tree-Ring Standardization Program Based on Detrending and Autoregressive Time Series Modeling, with Interactive Graphics (ARSTAN). – 2008. – URL: <http://www.ldeo.columbia.edu/res/fac/trl/public/publicSoftware.html>.
- D'Arrigo R., Jacoby G., Pederson N., Cook E., Buckley B., Nachin B., Mijiddorj R., Dugarjav C.** 1728 year of Mongolian temperature variability inferred from a tree ring width chronology of Siberian pine // J. Geophys. Res. – 2001. – Vol. 28, N 3. – P. 543–546.
- Douglass A.E.** Climatic cycles and tree-growth. A study of the annual rings of trees in relation to climate and solar activity. – Washington: Carnegie Inst., 1919. – Vol. 1. – 127 p.
- Esper J., Frank D.C., Wilson R.J.S., Briffa K.R.** Effect of scaling and regression on reconstructed temperature amplitude for the past millennium // Geophys. Res. Lett. – 2005. – Vol. 32. – Doi: 10.1029/2004GL021236.
- Fritts H.** Tree ring and climate. – N. Y.: Academic Press, 1976. – 576 p.
- Hantemirov R.M., Shiyatov S.G.** A continuous multimillennial ring width chronology from Yamal, northwestern Siberia // Holocene. – 2002. – Vol. 12. – P. 717–726.
- Holmes R.L.** Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement // Tree-Ring Bull. – 1983. – Vol. 44. – P. 69–75.
- IPCC 2001 Climate Change:** The Scientific Basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Cambridge: Cambridge University Press, 2001. – 944 p.
- IPCC 2007 Climate Change:** Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Cambridge: Cambridge University Press, 2007. – 996 p.
- Johnsen S.J., Dahl-Jensen D., Gundestrup N., Steffensen J.P., Clausen H.B., Miller H., Masson-Delmotte V., Sveinbjörnsdottir A.E., White J.** Oxygen isotope and paleotemperature records from six Greenland ice-core stations: Camp Century, Dye3, GRIP, GISP2, Renland and NorthGRIP // J. Quat. Sci. – 2001. – Vol. 16, N 4. – P. 299–307.
- Jones P.D., Mann M.E.** Climate over past millennia // Rev. of Geophys. – 2004. – Vol. 42. – Doi: 10.1029/2003RG000143.
- Kaplan J.O., Bigelow N.H., Prentice I.C., Harrison S.P., Bartlein P.J., Christensen T.R., Cramer W., Matveyeva N.V., McGuire A.D., Murray D.F., Razzhivin V.Y., Smith B., Walker D.A., Anderson P.M., Andreev A.A., Brubaker L.B., Edwards M.E., Lozhkin A.V.** Climatic change and Arctic ecosystem: 2. Modelling, paleodata-model comparison, and future predictions // J. Geophys. Res. – 2003. – Vol. 108. – Doi: 10.1029/2002JD002559.
- Kubarev V.** Der Altai als Verkehrsweg “der grossen Wanderer”. Entdeckungen, Forscher, Themen und Probleme der sibirischen Archäologie // Antike Welt. – 2001. – N 2. – P. 121–137.
- Methods of dendrochronology: applications in environmental sciences / E.R. Cook, L. Kairiukstis.** – Dordrecht; Boston; L.: Kluwer Acad., 1990. – 394 p.
- Rinn F.** TSAP, V3.5: Computer program for tree-ring analysis and presentation. – Heidelberg: Frank Rinn Distribution, 1996. – 264 p.
- Sidorova O.V., Saurer M., Myglan V.S., Eichler A., Schwikowski M., Kirilyanov A.V., Bryukhanova M.V., Gerasimova O.V., Kalugin I., Daryin A., Siegwolf R.T.W.** A multi-proxy approach for revealing recent climatic changes in the Russian Altai // Climate Dynamics. – 2011. – Doi: 10.1007/s00382-010-0989-6.
- Wigley T., Briffa K., Jones P.** On the average value of correlated time series, with application in dendroclimatology and hydrometeorology // J. Clim. Appl. Met. – 1984. – N 23. – P. 201–213.

*Материал поступил в редколлегию 23.01.12 г.
в окончательном варианте – 26.01.12 г.*