

УДК 57.045+ 947:940.1

Перспективы построения 6000-летней хронологии по сосне сибирской для территории Центрального Алтая

А.Н. Назаров*, В.С. Мыглан

Сибирский федеральный университет,
Россия 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79¹

Received 2.03.2012, received in revised form 9.03.2012, accepted 17.03.2012

Многочисленные находки ископаемой древесины кедра (сосна сибирская, *Pinus sibirica* Di Tour) среднеголоценового возраста, выносимые ледниковыми реками Центрального Алтая, указывают на чередование в прошлом тёплых и холодных периодов, определяемых повсеместным развитием леса в приледниковье и его погребением под развивающимися ледниками. Древесина, испытавшая воздействие ледника, имеет характерные признаки, проявляющиеся как внешне, так и во внутреннем строении. Анализ, собранной коллекции образцов, позволил создать «плавающие» древесно-кольцевые хронологии, принадлежащие трём крупным горно-ледниковым долинам Центрального Алтая. Было установлено, что реакция кедра на изменение условий среды на территории региона имеет однородный характер. В средне- и низкочастотном диапазоне изменения ширины годичного кольца кедр испытывает колебания синхронно с лиственницей сибирской (*Larix sibirica* Ledeb), что позволяет использовать его хронологии для реконструкции летних температур в рамках средних и длительных климатических изменений. В связи с тем, что абсолютная привязка палеохронологий путём перекрёстного датирования пока невозможна, ведётся работа над увеличением количества репликаций и продлением хронологий, а также над преодолением разрывов на промежутке поздний – средний голоцен (2300–2800 л.н.) и на промежутке 4000–5000 л.н. (предполагаемое время Аккемской стадии).

Ключевые слова: Центральный Алтай, голоцен, ледники, сосна сибирская, погребённая древесина, дендрохронология, палеогеография Алтая.

Введение

Дендрохронология как метод была разработана и апробирована А. Дугласом на примере датирования древних поселений индейцев Юго-Запада США (Douglass, 1940).

В основе метода лежит зависимость радиального прироста и ряда других характеристик деревьев от изменений условий внешней среды. Ежегодный прирост древесных пород, обладающих сходной реакцией на климат,

* Corresponding author E-mail address: nazar_69@mail.ru

¹ © Siberian Federal University. All rights reserved

за исключением индивидуальных случаев травмирования, крени, заболачивания и т.п., испытывает синхронные колебания, формируя уникальные сочетания ширины колец, благодаря которым возможно с большой степенью достоверности определить период жизни деревьев, произраставших ранее, что, в свою очередь, позволяет определять время событий, связанных с их гибелью, травмированием и захоронением. В археологии датированию подвергаются, как правило, погребальные сооружения и наземные постройки различного типа; в геоморфологии – сели, камнепады, лавины и наступание горных ледников.

Массовое привлечение древесины из природных отложений, археологических памятников, исторических построек и живых деревьев позволяет создавать календарно привязанные, сверхдлительные древесно-кольцевые хронологии (ДКХ). Так, например, в США по сосне острой получена шкала длиной более 7400 лет (Ferguson, 1969), в Западной Европы по дубу – длиной 10500 лет (Pilcher et al., 1984; Becker, 1993; Friedrich et al., 2004). В последние десятилетия, после создания длительных региональных хронологий в горах (Villalba, 1994; Wiles et al., 2004; Holzhauser et al., 2005), появилась возможность принципиального повышения точности временной привязки геоморфологических событий благодаря использованию метода перекрёстного датирования, в котором используются пригодные для дендроанализа образцы, извлечённые из морены или найденные на предполях ледника. Наличие непрерывных абсолютных дендрошкал делает получение календарных дат по древесине с точностью до одного года обычной технической процедурой, результатом которой является неизменно высокий уровень проводимых реконструкций.

На территории России и бывших республик Союза ССР планомерная работа по построению длительных древесно-кольцевых хронологий ведётся давно. Так, для Урала и Сибирской Субарктики существуют надёжные дендроклиматические шкалы по лиственнице сибирской: ямальская шкала длиной 7000 лет (Хантемиров, 2009) и таймырская шкала в 2500 лет (Наурызбаев и др., 2001). Для высокогорных районов работа по существу только начинается. Связано это, в первую очередь, с малым количеством материала, пригодного для построения длительных, более 1000 лет, хронологий.

Центральный Алтай занимает срединное положение на стыке четырёх государств: России, Казахстана, Китая и Монголии (рис. 1). В состав Центрального Алтая входят хребты: Теректинский и Северо-Чуйский (северная ветвь), Катунский и Южно-Чуйский (южная ветвь) и хребет Листвяга (западная оконечность). Восточный Алтай включает хребты: Сайлюгем, Чихачёва, Шапшальский и массив Монгун-Тайга (Рельеф Алтае-Саянской..., 1988). В схеме административного деления Восточный Алтай принадлежит к Западной Туве.

Катунский хребет разделяет подходящие с запада и юго-запада воздушные массы на два основных потока, главный из которых, южный, приурочен к долине верхней Катунки, а северный направляется вдоль северного макросклона Катунского хребта и под его воздействием оказываются Теректинский и Северо-Чуйский хребты (Нарожный, Осипов, 1999). Далее в направлении на юг и восток резко возрастает аридизация, континентальность климата и проявление эффекта внутригорных котловин.

В горах Центрального Алтая развитие леса по вертикали ограничено температурами периода вегетации. Вопреки устояв-



Рис. 1. Орографическая схема Центрального и Восточного Алтая с указанием мест отбора образцов *Pinus sibirica* на анализ: 1 – хронологии, построенные по живым и субфоссильным деревьям (горноледниковые долины Маашей, Актру, Арыджан, Аккем); 2 – хронологии, построенные по погребённой древесине долины ледников Маашей, Софийский, Менсу

шемуся мнению о повышении границы леса в направлении с севера на юг (Тронов и др. 1974) в пределах Центрального и Восточного Алтая не выявлено никаких принципиальных различий в её высотном положении. Повсеместно участки взрослого леса ограничены высотами 2220–2330 м, а отдельные деревья и молодой подрост при благоприятных условиях встречаются вплоть до 2500 м. В южных и юго-восточных районах на развитие леса существенно влияет лишь некоторый дефицит осадков, их локальное перераспределение, наличие подтока грунтовых вод, часто связанное с очагами мерзлоты, экспозиция склона. Это приводит к исчезновению кедра (сосна сибирская, *Pinus sibirica* Du Tour) из лесообразующих пород верхней границы леса, где получает распространение исключительно лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb, северный макросклон Южно-Чуйского хребта, северное обрамление плато Уюк, массив Монгун-Тайга). В то же время в районах Ка-

тунского и Северо-Чуйского хребтов кедр достигает верхних пределов распространения наряду с лиственницей.

До недавнего времени ретроспектива дендроклиматических исследований на Алтае ограничивалась охватом промежутка времени, незначительно превышающем тысячелетие, при этом объектом изучения традиционно служила лиственница сибирская как порода, наиболее чувствительная к изменениям летней температуры (Душкин, 1965; Адаменко, Сюбаев, 1977; Адаменко, 1978, 1985; Панюшкина, Адаменко, Овчинников, 2000; Овчинников, 2002а, б). Работы, посвящённые экологическим условиям роста кедра, появились значительно позднее (Воробьёв, Савчук, 2002; Воробьёв и др., 2002; Бочаров, 2009). Отбор образцов происходил только в двух точках: на склонах горы Сарлык (Северо-Западный Алтай, Семинский хребет) и в долине Актру (Центральный Алтай, Северо-Чуйский хребет).

В своё время широкое распространение получила дендроиндикация многолетнего режима лавин (Кравцова, 1971; Ревякин, Кравцова, 1976; Сурнаков, 1985; Королёва, 1993). Н.И. Быков (2002) возможности метода применял уже более широко для определения времени схода селей, обвалов и наступания ледника Малый Актру. Однако до настоящего времени дендргеоморфологические исследования на Алтае носят эпизодический характер и не получили должного распространения. Связано это, в первую очередь, со слабой информированностью геоморфологов о потенциале дендрохронологии.

За несколько прошедших лет для территории Центрального и Восточного Алтая (юго-запад Тувы) построены сверх длительные хронологии по лиственнице сибирской, показавшие наличие как тесной взаимной связи, так и связи с температурным режимом периода вегетации (Мыглан и др., 2008, Слюсаренко, Мыглан, 2010), что убедительно свидетельствует о единстве изучаемого района в климатическом отношении и открывает большие перспективы для перекрёстного датирования. Аналогичных исследований по кедру на территории Алтая не проводилось. В связи с этим мы планировали выполнение нескольких основных задач: анализ функции отклика кедра из различных районов Центрального Алтая на изменение температуры периода вегетации; оценка возможности перекрёстного датирования; интерпретация находок палеодревесины (положение ледников и границы леса на момент роста деревьев); использование палеобразцов для построения ДКХ и создание самих «плавающих» ДКХ.

Материалы и методы

Образцы погрёбённой древесины собирали при осмотре предполий ледников, как

правило, среди флювиогляциальных отложений поймы ледниковых рек (рис. 1). Фрагменты древесины достаточного качества использовали для дендрохронологического анализа, некоторая их часть была датирована по радиоуглероду (Галахов и др., 2008). Радиоуглеродные даты древесных остатков приведены к периоду полураспада 5730 лет (коэффициент 1,03) и откалиброваны с помощью программы Oxcal 3.10 (Bronk Ramsey, 2005). Ошибка определения календарного возраста составляет $\pm 30 - \pm 350$ лет. Оказалось, что большая часть образцов принадлежит кедру. По этой причине для дополнительных исследований функции отклика кедра и синхронности его прироста на территории региона отбирали керны с живых и спилы с погибших деревьев в различных горных долинах (рис. 1) на высотах, максимально близких к климатической границе леса.

Измерения ширины годичных колец выполняли на полуавтоматической установке LINTAB с точностью 0,01 мм. Серии датировали сочетанием графической перекрёстной датировки и кросс-корреляционного анализа в пакете специализированных программ для дендрохронологических исследований DPL (Holmes, 1983) и TSAP V3.5 (Rinn, 1996). Возрастной тренд был удален при помощи негательной экспоненты и линейной регрессии в программе ARSTAN (Cook, Krusic, 2008) с графическим контролем результата стандартизации каждой серии.

Качество каждой из хронологий рассматривали на основе традиционных дендрохронологических показателей: EPS и RBAR (Wigley et al., 1984; Cook, Kairiukstis, 1990). Функцию отклика древесно-кольцевых хронологий оценивали по среднемесячным показателям температуры метеостанций Аккем (2045 м) и Актру (2120 м), расположенных в соответствующих долинах в непосредствен-

ной близи от мест отбора образцов, а также метеостанции Кара-Тюрек (2600 м), находящейся в 14,6 км севернее метеостанции Аккем, на водоразделе бассейнов рек Аккема и Кучерлы, на 200 м выше границы молодого лиственничного подроста.

Результаты и обсуждение

В настоящее время экспансия леса на предполях ледников носит очаговый характер из-за суровости микроклимата. Время заселения территории, свободной ото льда, может составлять от 45 до 100 и более лет. Оно минимально на небольших высотах и пропорционально возрастает при приближении к термической границе леса, которая, по данным М.Ф. Адаменко (1985), составляет 9 °С среднеиюльской температуры в пределах Северо-Чуйского хребта. Минимально необходимое расстояние от открытой части льда до молодого подроста также испытывает значительные вариации в зависимости от размеров ледника, площади его фирнового бассейна, температурных градиентов и, возможно, некоторых других причин. Для небольших ледников (Малый Актру, Куркурек) оно может составить от 150 до 300 м, для ледников Маашей и Менсу минимальное расстояние возрастает до 1–2 км (рис. 2).

При наступании ледника развивается процесс постепенной гибели и погребения леса. Взрослые деревья гибнут либо от ухудшения условий существования, либо непосредственно под наступающим ледником (рис. 3). Находки ископаемой древесины помогают достаточно просто определить положение ледника и состояние климата на момент роста деревьев: во время их появления ледник находился на минимальном расстоянии, аналогичном современному, до молодого подростка лиственницы и кедра, в дальнейшем климатические условия могли постепенно ухудшаться, пока ледник не подходил на критическое расстояние, вызывавшее гибель деревьев.

Вопреки устоявшемуся мнению об уникальности современного потепления, получены убедительные доказательства существования периодов времени, значительно превышающих современный как по амплитуде, так и по продолжительности потепления, а также что подобные климатические экстерналии, в том числе и похолодания, являются естественным состоянием природной среды. В немалой степени укреплению этого мнения способствовал анализ международного банка данных (World Data Center for Paleoclimatology. NOAA/NGDC Paleoclimatology Program,



Рис. 2. Предполя ледника Малый Актру. Цифрой 1 обозначен камень Сапозжикова – положение ледника в 1911 г. Отчётливо видны полосы заселения деревьями морены вслед за отступающим ледником. Время заселения составляет 45–50 лет, ледник находится в 400 м слева на снимке. Взрослый лес на снимке – «кедровая площадка», сохранившийся участок леса между ледниками Большой и Малый Актру



Рис. 3. А – дерево, раздавленное ледником, на фронтальной части молодой морены Маашейского ледника (730 лет, СОАН 6035). Б – остатки дерева под глыбами нижней части фронта морены (840 лет, СОАН 6036). В настоящий момент в данном месте долины встречаются лишь единичные молодые деревья возрастом 10–20 лет

Boulder CO, USA; <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/paleo.html>). В силу этого моренные комплексы ледников, особенно крупных, нижние отметки которых близки к положению термической границы леса (априори это условие соблюдалось и в прошлом), должны содержать древесные остатки различного возраста. Их количество зависит от нескольких факторов, как то: развитие леса на приледниковой территории, частота наступания – отступления ледника, эрозия морены тальми водами, особенности морфологии долин.

В результате многолетних исследований моренных комплексов и ледников Центрального Алтая достоверно установлено наличие многочисленных остатков древесины в моренных отложениях, ежегодно выносимых в поймы ледниковых рек (Галахов и др., 2005; Галахов, Назаров, 2006; Галахов и др., 2008). Механизм их захоронения и выхода на поверхность всегда один и тот же: наступающий ледник перекрывает взрослый лес, растущий на его предпольях, а при отступании частично размывает свои отложения (рис. 4).

При наличии достаточной выборки и возможности проведения дендроанализа отдельные серии (т.е. данные измерения ширины колец конкретного дерева) группируются

по периодам совместного роста и гибели. Гибель нескольких деревьев в узком временном интервале является достаточным основанием для выделения наступания ледника. В случае единичной находки необходимо быть уверенным, что дерево находится в положении *in situ*, что встречается достаточно редко, либо необходимо подтвердить гибель деревьев в этот же период времени на предпольях других ледников. Именно с этих позиций проводится интерпретация результатов в работе Holznauser et al. (2005; Fig. 2).

Для находок ископаемой древесины характерны следы динамического воздействия огромной массы ледово-каменного материала, что внешне проявляется в многочисленных потёртостях, задирах, надрезах камнями, изломах, скручиваниях с надрывами и т.п. Некоторые стволы разорваны и с одной из сторон представляют собой пучок щепок по всему диаметру (рис. 5). Часто встречаются сегменты без сердцевины и внешней части. Тем не менее, в некоторых случаях найдены ископаемые образцы практически без внешних повреждений (сучья, корни), однако они имеют незначительный размер. Кроме чисто внешних признаков динамического воздействия ископаемую древесину отличают тём-

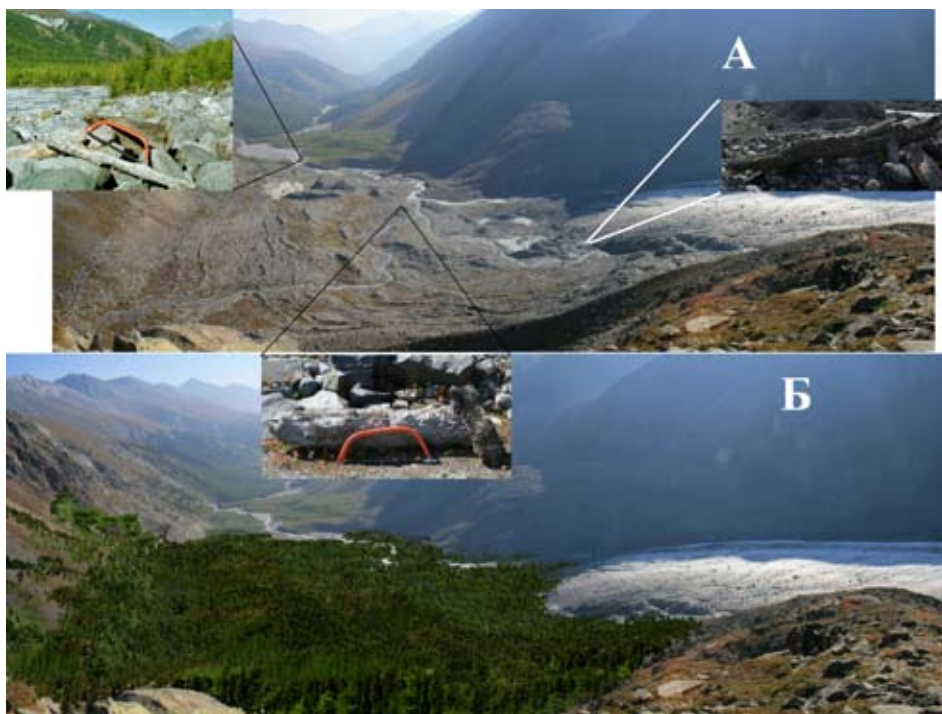


Рис. 4. А – язык и предполя ледника Сапозникова Менсу в 2007 г. с обозначением мест находок ископаемой древесины. Б – реконструкция положения леса на предполях ледника Менсу в среднем голоцене, в период наступания ледника на лесной массив



Рис. 5. Ископаемая древесина, вынесенная реками из донной морены ледников. Вверху – предполя ледника Софийский, исток р. Аккол; внизу – пойма р. Талтура, соседняя с долиной р. Аккол, Южно-Чуйский хребет

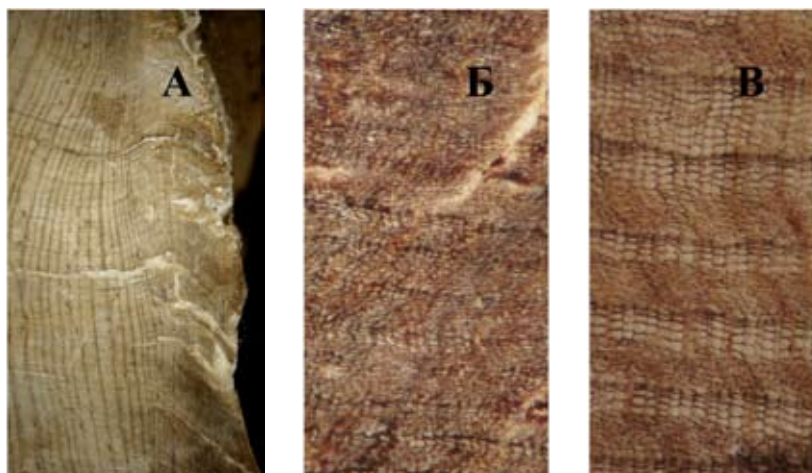


Рис. 6. Различные виды деформации клеток подледниковой древесины: А – краевые деформации; Б – ромбовидные деформации всех клеток; В – деформации клеток ранней древесины

ные тона от розоватого до насыщенного кофейного и даже серовато-черных оттенков. Иногда встречается пестрая окраска вплоть до естественного светло-желтого цвета, что, вероятнее всего, является следствием температурной истории образца, наличия подтока талых вод и других подобных причин.

Следы колоссального, не ограниченного во времени, давления отражаются и в строении трахеид. Внешние 20–50 колец почти половины образцов, как правило, сдавлены, причём чем ближе к внешней части, тем больше сдавленность, вплоть до полной неразличимости. Иногда присутствуют следы кратковременной, но очень сильной ударной нагрузки, которая приводит к деформациям, вызывающим сжатие только 10–20 внешних колец, в то время как остальные остаются не повреждёнными (рис. 6а). В случае очень сильного стабильного и продолжительного давления возникают сжатия иного рода. Они распространяются на гораздо большую глубину внутрь образца, убывая пропорционально, как и в первом случае, но присутствуют по всей толщине. При этом начиная с 50–100-го кольца от периферии внутрь уже прослежи-

ваются не только отдельные кольца, но и трахеиды, которые деформированы в виде ромбов по направлению сжатия (рис. 6б). Глубже ромбовидные деформации исчезают и проявляются только в ранних клетках, имеющих более тонкие стенки; поздние клетки выглядят естественно (рис. 6в).

Столь уникальный характер распределения деформаций служит безошибочным признаком пребывания древесины под ледником, поскольку ледник оказывает именно сильнейшее направленное воздействие, подчиняясь закону вязко-пластичного течения. Сами древесные остатки заключены в этом случае в его донную морену, где скорость движения минимальна, а условия пребывания наиболее стабильны.

В настоящее время созданы три плавающих хронологии для наиболее крупных хребтов и долин Центрального Алтая: ледников Маашей, Софийский и Менсу (рис. 1). К сожалению, низкая обеспеченность не позволяет в полной мере использовать их для палеотемпературных реконструкций и датирования. Временные рамки хронологий представлены на рис. 7.

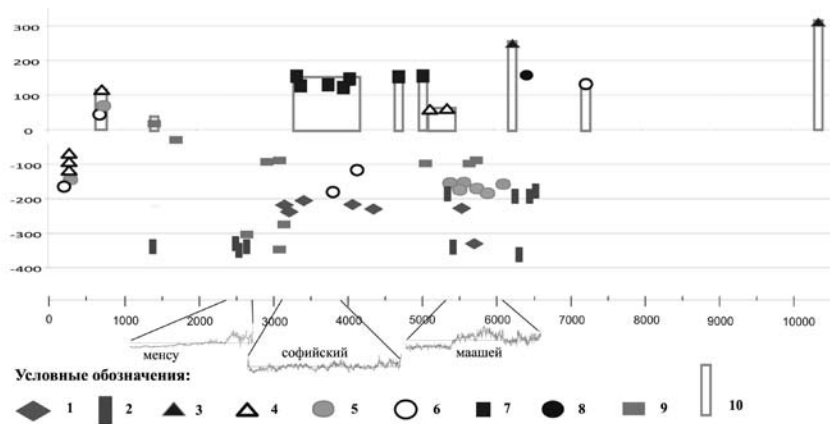


Рис. 7. Возраст, положение и высота относительно современной границы леса находок ископаемой древесины в пределах Центрального и Восточного Алтая. Образцы моложе 1000 лет датированы дендрохронологическим методом, старше – по радиоуглероду. В нижней части временной шкалы показано наиболее вероятное положение плавающих дендрошквал. Обозначения горно-ледниковых долин: 1 – Аккем; 2 – Менсу; 3 – Восточный Мугур; 4 – Ян-Карасу; 5 – Маашей; 6 – Шавла; 7 – Софийский (долина р. Аккол); 8 – Талтура; 9 – Актру; 10 – минимально возможная высота верхней границы леса в соответствующий период

Хронология ледника Маашей. Ледник Маашей является наиболее крупным ледником Северо-Чуйского хребта. Его язык заканчивается на высоте около 2220 м. Распространение леса ограничено границами молодой морены стадии Актру, по фронту которой встречаются лишь единичные экземпляры лиственницы. Хронология состоит из 11 серий, её продолжительность 879 лет. Коэффициенты межсерийной корреляции на отдельных периодах ниже значимого 0,33, тем не менее ввиду значительной длины рядов образцы надёжно датируются друг по другу. Падение корреляции является неотъемлемым следствием деформации клеток в результате сдавливания, а в отдельные периоды объяснимо резким возрастанием разнообразий условий микроклимата при похолодании или приближении ледника. Именно в образцах Маашейского ледника, как наиболее древних, встречаются образцы со сдавленными трахеидами. Ни в образцах ледника Софийский, ни в образцах Менсу подобная особенность не столь ярко выражена.

В хронологии по внешним 100–200 кольцам датированы три образца: ИГАН 3875 – (5760±150) лет, СОАН 7377 – (5530±210) лет и СОАН 6468 – 5700 лет (рис. 8, 9). Таким образом, хронология относится к периоду среднего голоцена, ко времени 6000–5000 л.н. Кроме отмеченных, с предпольев ледника датированы ещё несколько образцов того же возраста (табл. 1). Вероятнее всего, деревья погибли не одновременно и по разным причинам, но погребению и сохранности они обязаны только активности ледника и мёрзлым бескислородным условиям донной морены.

В настоящий момент хронология ледника Маашей нуждается в увеличении количества репликаций путём поиска новых образцов и в абсолютной привязке с помощью высокоточного радиоуглеродного датирования. Необходимо учесть, что в холодных условиях высокогорья погибшие деревья сохраняются более 1000 лет (до 2000), поэтому разброс полученных дат при близком временном интервале объясняется не частыми отступлениями – наступаниями ледника, а большим соб-



Рис. 8. Сегмент ствола, от которого отобран образец СОАН 6468 (5700 лет). Паводковое русло р. Маашей, *Pinus sibirica*, 580 годовых колец, нет ни внутренней, ни периферийной части. Предположительно собственный возраст дерева не менее 800 лет



Рис. 9. Фрагмент комлевой части дерева, найденный в одном из паводковых русел р. Маашей, в 1 км от языка ледника. Возраст – 5600 лет (СОАН 7377). Тёмные полосы на спиле – следствие разрушения содержимого древесных клеток – лигнина. Вероятнее всего, в один из тёплых периодов остатки дерева находились достаточно близко к слою сезонного протаивания; влага, проникавшая по трещинам, способствовала более быстрому разрушению содержимого клеток, в то время как центральная часть ствола была в замерзшем состоянии

ственным возрастом как образцов, так и всего лесного массива в целом.

Хронология ледника Софийский. Ледник Софийский – второй по площади в пределах Южно-Чуйского хребта после ледника Талтуринского. Язык ледника заканчивается на высоте 2470–2500 м. Деревья лиственницы сибирской встречается по периферии молодой морены стадии Актру на высоте около 2450 м, на расстоянии 2–2,5 км от языка ледника. Хронология ледника Софийский наиболее обеспеченная из существующих. Она состоит из 34 серий общей продолжительностью 824 года (рис. 10).

Деформации трахеид, отмеченные у образцов Маашея, не обнаружены, в связи с чем

коэффициенты межсерийных корреляций достаточно высоки, тем не менее, статистическая достоверность хронологии находится ниже нормы. Ни один из образцов, вошедших в хронологию, в настоящее время не датирован. Как следует из возраста ранее датированных образцов (табл. 2), она может относиться либо к среднему голоцену, как и хронология Маашея, либо ко времени 4000–3000 лет назад.

Хронология ледника Менсу. Общая продолжительность хронологии ледника Менсу составляет 371 год. Она состоит из 15 серий. В хронологии по внешним 100 кольцам датирован наиболее длительный образец – (2525±225) лет (ИГАН 3884). Таким образом, деревья, вошедшие в хронологию, погибли в

Таблица 1. Датировки, полученные с предполюев ледника Маашей

№ датировки	Календарный возраст от 1950 г., лет	Абсолютная высота, м
СОАН 6467	6150 ± 150	2176
СОАН 6468	5785 ± 125	2158
СОАН 7376	5925 ± 275	2145
СОАН 7377	5530 ± 210	2158
СОАН 7378	5600 ± 300	2173
ИГАН 3875	5760 ± 150	2157
ИГАН 3880	5425 ± 170	2174

Примечание: датировки СОАН опубликованы ранее в монографии (Галахов и др., 2008).

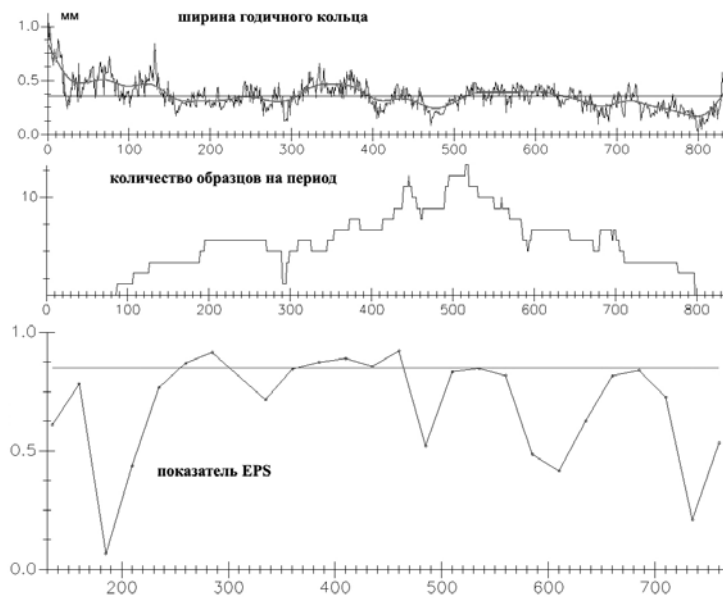


Рис. 10. Характеристики хронологии ледника Софийский

начале неогляциала, который в горах юга Сибири знаменуется развитием Исторической стадии голоцена, имевшей максимум, вероятно, ранее 2000 л.н.

Большинство отобранных в долине ледника образцов показывают среднеголоценовый возраст (табл. 3, см. также рис. 4), как и образцы Маашей, однако составление хронологии этого возраста пока не представляется возможным ввиду недостаточно хорошего качества образцов.

В конце 1990-х – начале 2000-х гг. в дендрохронологический «оборот» были вовлечены новые материалы из памятников пазырыкской культуры Горного Алтая, исследованных на плато Укок и в Чуйской степи сотрудниками Института археологии и этнографии СО РАН (Слюсаренко, 1997, 2000). Результатом стало создание двух «плавающих» древесно-кольцевых хронологий более чем по 400 лет каждая (Зайферт, Слюсаренко, 2000; Быков, Быкова, 2004). Вопрос их календарной при-

Таблица 2. Датировки, полученные с предполюев ледника Софийский

№ датировки	Календарный возраст от 1950 г., лет	Абсолютная высота, м
СОАН 6915	3980 ± 170	2451
СОАН 6916	3733 ± 252	2459
СОАН 7383	5000 ± 350	2480
ИГАН 3694	4690 ± 180	2476
ИГАН 3695	4025 ± 375	2466
ИГАН 3882	3320 ± 170	2458
ИГАН 3887	3310 ± 170	2476

Примечание: датировки СОАН опубликованы ранее в монографии (Галахов и др., 2008).

Таблица 3. Датировки, полученные с предполюев ледника Менсу

№ датировки	Календарный возраст от 1950 г., лет	Абсолютная высота, м
СОАН 6925	6570 ± 180	2149
СОАН 6926	6490 ± 190	2137
СОАН 6927	6295 ± 125	2137
СОАН 6930	6350 ± 150	1970
СОАН 6931	2575 ± 215	1970
СОАН 7386	5460 ± 150	1986
ИГАН 3876	2675 ± 205	1993
ИГАН 3877	5385 ± 105	2147
ИГАН 3883	1410 ± 120	1993
ИГАН 3884	2525 ± 225	1993

Примечание: датировки СОАН опубликованы ранее в монографии (Галахов и др., 2008).

вязки решался при помощи радиоуглеродного метода, но с использованием высокоточного датирования длинных серий годовичных колец и процедуры “wiggle-matching” (Slusarenko et al., 2000, 2001; Kuzmin et al., 2004). Примечательно, что полученный таким образом возраст хронологий скифских курганов (III – VI вв. до н.э.) пересекается с хронологией Монгун-Тайги.

Недостающее звено в серии непрерывных ДКХ между поздним голоценом и началом нашей эры в недавнее время было восполнено (Слюсаренко, Мыглан, 2010), продлив

хронологию лиственницы сибирской до 2700 л.н., что явилось настоящим прорывом в определении абсолютного возраста памятников скифской культуры. К сожалению, попытка абсолютной привязки хронологии Менсу, ближайшей к этому интервалу времени, оказалась неудачной по причине как низкой ежегодной синхронности прироста кедров и лиственницы, так и низкого качества самих палеохронологий кедров.

Для оценки потенциала возможной палеоклиматической информации «плавающих» дендрошкал был проведён корреляционный

Таблица 4. Коэффициенты корреляции между среднемесячными показателями температуры и их суммой и годовым приростом кедр *Pinus sibirica*

Месяц_станция	Актру std	Актру res	Аккем std	Аккем res	Арыджан std	Арыджан res	Маашей std	Маашей res
VI_Akk	0,22	0,35	-0,19	0,19	-0,22	-0,03	-0,29	-0,13
VII_Akk	0,31	0,26	0,01	-0,06	0,24	0,09	0,27	0,13
VIII_Akk	0,23	0,36	0,41	0,36	0,40	0,37	0,34	0,32
V-VII_Akk	0,47	0,53	-0,11	0,12	0,05	0,16	0,01	0,04
VI-VII_Akk	0,36	0,42	-0,13	0,10	0,00	0,04	-0,03	0,00
VI_Kara-t	0,13	0,21	-0,04	0,03	0,01	0,04	-0,08	-0,15
VII_Kara-t	0,26	0,27	0,21	0,13	0,21	0,08	0,30	0,17
VIII_Kara-t	0,03	0,12	0,23	0,14	0,23	0,19	0,24	0,13
V-VII_Kara-t	0,26	0,28	-0,04	-0,01	0,08	0,04	0,03	-0,11
VI-VII_Kara-t	0,25	0,31	0,12	0,11	0,15	0,08	0,14	0,01
VI_Akt	0,17	0,25	-0,25	0,18	-0,30	-0,18	-0,35	-0,21
VII_Akt	0,31	0,21	-0,15	-0,13	0,11	-0,01	0,16	0,04
VIII_Akt	0,19	0,26	0,24	0,25	0,23	0,24	0,19	0,19
V-VII_Akt	0,50	0,32	-0,25	0,12	-0,08	-0,04	-0,09	-0,07
VI-VII_Akt	0,31	0,32	-0,28	0,08	-0,19	-0,16	-0,19	-0,16

Примечание: Akk – метеостанция Аккем (длина выборки 35 лет); Kara-t – метеостанция Кара-Тюрек (длина выборки 66 лет); Akt – метеостанция Актру (длина выборки 37 лет); std – хронологии индексированные по негативной экспоненте без снятия автокорреляции; res – индексированные хронологии со снятой автокорреляцией. Жирным шрифтом выделены коэффициенты выше или ниже 0,30.

анализ современных хронологий кедр и среднемесячных температур различных высокогорных метеостанций (табл. 4), который продемонстрировал почти полное отсутствие связи, исключая долину Актру, где кедр произрастает на максимально возможных высотах.

Сравнение хронологий кедр между собой (табл. 5) на общем для них промежутке 300 лет убедительно свидетельствует об однородной реакции на климат и о синхронности прироста годовых колец даже в значительно удалённых друг от друга районах (расстояние Аккем – Маашей равно 80 км,

Аккем – Арыджан – 116 км). Корреляционный анализ хронологий кедр и лиственницы (хронология Монгун-Тайга, табл. 5) показывает наличие лишь слабой связи, тем не менее, многочисленные попытки датирования кедр из долин Северо-Чуйского хребта: Шавла, Маашей, Корумду, Актру, по лиственнице подножия массива Монгун-Тайга, расстояние 150–180 км (Мыглан и др., 2008), в 40 % случаев оказываются удачными, принимая во внимание образцы, которые вообще пригодны для датирования, что ещё раз подтверждает однородность района в климатическом отношении.

Таблица 5. Коэффициенты корреляции хронологий кедров между собой и с хронологией Монгун-Тайги (Мыглан и др., 2008)

	Актру std	Актру res	Аккем std	Аккем res	Арыджан std	Арыджан res	Маашей std	Маашей res
Актру std	1,00		0,53	0,43	0,40	0,32	0,46	0,33
Актру res		1,00	0,44	0,70	0,46	0,58	0,50	0,60
Аккем std			1,00		0,54	0,46	0,60	0,52
Аккем res				1,00	0,40	0,57	0,52	0,70
Арыджан std					1,00		0,63	0,53
Арыджан res						1,00	0,57	0,71
Монгун-Тайга_std	0,44	0,41	0,26	0,25	0,18	0,16	0,13	0,15
Монгун-Тайга_res	0,31	0,49	0,16	0,26	0,18	0,23	0,14	0,21

Примечание: обозначения std и res аналогичны таковым в табл. 4. Жирным шрифтом выделены коэффициенты выше 0,40.

Графическое сопоставление индексов прироста хронологии Монгун-Тайги и Актру показывает согласованность их хода на обозримом промежутке времени и качественно фиксирует важнейшие климатические события прошедшего тысячелетия: периоды похолодания во второй половине XV в., в начале XVIII в., первой половине XIX в. (рис. 11). Это подтверждает высокую климаточувствительность кедров и его пригодность для палеотемпературных реконструкций, по крайней мере средне- и низкочастотного диапазонов климатического сигнала, несмотря на отсутствие погодичной синхронности прироста кедровых листовиц.

В связи с тем, что абсолютная привязка «плавающих» хронологий пока невозможна, необходимо, во-первых, улучшить и продлить среднеголоценовые хронологии и, во-вторых, преодолеть вероятные разрывы ДКХ на промежутке поздний – средний голоцен (2300–2800 л.н.) и на промежутке 4000–5000 л.н. (предполагаемое время Аккемской стадии на Алтае).

Немаловажный интерес представляет анализ древесины из различных местообитаний для выделения влияния ледников на микроклимат в «чистом» виде, а также поиск зависимостей между оптической плотностью кедров, осадками, температурой и составляющими баланса массы ледников подобно тому, как это показано в работах исследователей (Юрина и др., 2006; Долгова, Соломина, 2010). Создание сверхдлительной ДКХ по кедровке увеличит вероятность датирования событий, удалённых в прошлое более чем на несколько тысячелетий, и даст исследователям новый инструмент в изучении процессов экзогенного рельефообразования и климата Центрального Алтая.

Заключение

Многочисленные находки ископаемой древесины, выносимые подледниковыми реками, указывают на чередование в прошлом тёплых и холодных периодов, определяемых повсеместным развитием леса в приледниковье и его погребением под развивающимися ледниками. Факт принадлежности древесных

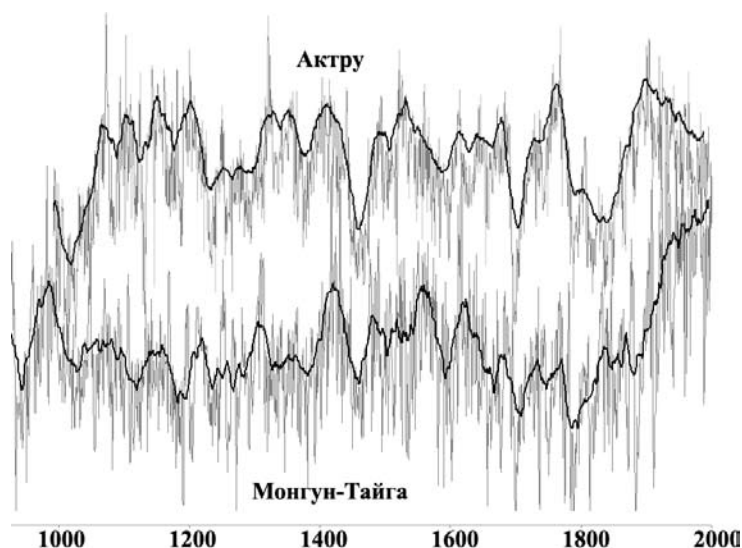


Рис. 11. Сопоставление индексов прироста кедр (хронология Актру) и лиственницы сибирской (хронология Монгун-Тайга). Серая линия – ежегодные значения, тёмная – сглаженные 23-летние значения

остатков единым лесным массивам горно-ледниковых долин доказывает как близким радиоуглеродным возрастом, так и возможностью перекрёстного датирования образцов с объединением их в хронологии.

Реакция кедр на изменение условий среды на территории региона имеет однородный характер. Слабая связь ежегодного прироста кедр со среднемесячными температурами периода вегетации, не позволяет использовать его для погодичных реконструкций. Тем не менее, в средне- и низкочастотном диапазонах изменения ширины годичного

кольца кедр испытывает колебания синхронно с лиственницей сибирской, прирост которой определяется июнь–июльской температурой.

Наличие нескольких длительных «плавающих» хронологий среднего голоцена, как и абсолютных ДКХ по лиственнице сибирской и кедр, убедительно свидетельствует о большом потенциале региона для проведения дендрохронологических исследований и возможности построения на их основе высокоточных палеоклиматических и палеогеоморфологических реконструкций.

Работа выполнена при поддержке АВЦП № 2.1.1/6131, грант Президента РФ № МК-1675.2011.6.

Список литературы

Адаменко М.Ф., Сюбаев А.А. (1977) Динамика климата на территории Горного Алтая в XV – XX веках по данным дендрохронологии. В: Вопросы горной гляциологии. Томск, Издательство ТГУ, с. 196–202.

Адаменко М.Ф. (1978) Динамика прироста лиственницы как индикатор термического режима летних сезонов в Горном Алтае. В: Региональные географические исследования в Западной Сибири. Новосибирск, Наука, с. 20–23.

Адаменко М.Ф. (1985) Реконструкция динамики термического режима летних месяцев и оледенения на территории Горного Алтая в XIV–XX веках. Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. Новосибирск, 16 с.

Бочаров А.Ю. (2009) Структура кедровых древостоев в высокогорьях Центрального Алтая. Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. Красноярск, 23 с.

Быков Н.И., Быкова В.А. (2004) Дендрохронологическая и геодезическо-астрономическая оценка последовательности сооружения курганов в могильниках пазырыкской культуры Алтая. В: Комплексные исследования древних и традиционных обществ Евразии. Барнаул, Издательство АГУ, с. 258–264.

Быков Н.И. (2002) Дендргеоморфология Алтая. В: Геоморфология гор и предгорий. Барнаул, Издательство АГУ, с. 41–48.

Воробьёв В.Н., Савчук Д.А. (2002) Радиальный прирост и заложение женских шишек кедрового в условиях субальпийского пояса Центрального Алтая. В: Проблемы реконструкции климата и природной среды голоцена и плейстоцена Сибири, вып. 1. Новосибирск, Издательство ИАиЭ СО РАН, с. 79–82.

Воробьёв В.Н., Бочаров А.Ю., Хуторной О.В., Нарожный Ю.К. (2002) Дендроклиматический анализ радиального прироста кедрового (*Pinus sibirica*) в горно-ледниковом бассейне Актру (Центральный Алтай). В: Основные закономерности глобальных и региональных изменений климата и природной среды в позднем кайнозое Сибири, вып. 1. Новосибирск, Издательство ИАиЭ СО РАН, с. 71–78.

Галахов В.П., Назаров А.Н., Харламова Н.Ф. (2005) Колебания ледников и изменения климата в позднем голоцене по материалам исследований ледников и ледниковых отложений бассейна Актру (Центральный Алтай, Северо-Чуйский хребет). Барнаул: Издательство Алтайского университета, 132 с.

Галахов В.П., Назаров А.Н. (2006) Колебания ледников и климатические изменения второй половины голоцена на Центральном Алтае, вып. 101, МГИ, с. 90–95.

Галахов В.П., Назаров А.Н., Ловцкая О.В., Агатова А.Р. (2008) Хронология тёплого периода второй половины голоцена Юго-Восточного Алтая (по датированию ледниковых отложений). Барнаул: Азбука, 58 с.

Долгова Е.А., Соломина О.Н. (2010) Первая количественная реконструкция температуры воздуха тёплого периода на Кавказ по дендрохронологическим данным. ДАН. 431 (2): 1–5.

Душкин М.А. (1965) Многолетние колебания ледников Актру и условия развития молодых морен. В: Гляциология Алтая, вып. 4. Томск, Издательство ТГУ, с. 83–101.

Зайферт М., Слюсаренко И.Ю. (2000) Дендрохронологический анализ пазырыкских памятников. В: Феномен алтайских мумий. Новосибирск, Наука, с. 258–264

Королёва Т.В. (1993) Оценка снежности и лавинной опасности Алтая в среднем масштабе. Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. Москва, 23 с.

Кравцова В.И. (1971) Особенности режима лавинной деятельности на Алтае по данным дендрохронологических наблюдений. В: Фитоиндикационные методы в гляциологии. М., с. 103–123.

Мыглан В.С., Ойдупаа О.Ч., Кирдянов А.В., Ваганов Е.А. (2008) 1929-летняя древесно-кольцевая хронология для Алтае-Саянского региона (Западная Тува). Археология, этнография и антропология Евразии 4 (36): 25–31.

Нарожный Ю.К., Осипов А.В. (1999) Ороклиматические условия оледенения Центрального Алтая. Известия РГО 131(3): 49–57.

Наурзбаев М.М., Сидорова О.В., Ваганов Е.А. (2001) История климата позднего голоцена на востоке Таймыра по данным сверхдлительной древесно-кольцевой хронологии. Археология, этнография и антропология Евразии 3 (7): 17–25.

Овчинников Д.В. (2002а) Реконструкция изменений климата гор Алтая дендрохронологическими методами. Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. Иркутск, 18 с.

Овчинников Д.В. (2002б) Реконструкция летней температуры воздуха и абляции ледника Малый Актру. Известия РАН, Сер. географическая 5: 91–96.

Панюшкина И.П., Адаменко М.Ф., Овчинников Д.В. (2002) Дендроклиматическая сеть Горного Алтая как основа количественной палеогеографической реконструкции климата с высоким временным разрешением. В: Проблемы реконструкции климата и природной среды голоцена и плейстоцена Сибири, вып. 2. Новосибирск, Издательство ИАиЭ СО РАН, с. 413–419.

Ревякин В.С., Кравцова В.И. (1977) Снежный покров и лавины Алтая. Томск: Издательство Томского университета, 216 с.

Рельеф Алтае-Саянской горной области (1988) Чернов Г.А., Вдовин В.В., Окишев П.А., Петкевич М.В., Мистрюков А.А., Зятькова Л.К., Миляева Л.С., ред. Новосибирск: Наука, 207 с.

Слюсаренко И.Ю. (1997) Начало дендрохронологических исследований в Институте археологии и этнографии СО РАН. В: Проблемы археологии, этнографии и антропологии Сибири и сопредельных территорий. Новосибирск, Издательство Института археологии СО РАН, с. 276–280.

Слюсаренко И.Ю. (2000) Дендрохронологический анализ дерева из памятников пазырыкской культуры Горного Алтая. Археология, этнография и антропология Евразии 4: 122–130.

Слюсаренко И.Ю., Мыглан В.С. (2010) Календарная хронология пазырыкских памятников Южного Алтая по данным древесно-кольцевого анализа. В: История и культура народов Юго-Западной Сибири и сопредельных регионов (Казахстан, Монголия, Китай). Горно-Алтайск, Россия, с. 49.

Сурнаков И.В. (1985) Некоторые результаты фитоиндикации нивально-гляциальных процессов на Алтае. В: Роль нивально-гляциальных образований в динамике горных экосистем. Барнаул, с. 35–36.

Тронов М.В., Лупина Н.Х., Тронова Л.Б. (1974) О совместных исследованиях снеговой линии и границы леса в горно-ледниковых бассейнах. Томск, Издательство ТГУ, с. 3–21.

Хантемиров Р.М. (2009) Динамика древесной растительности и изменения климата на севере западной Сибири в голоцене. Автореф. дисс. ... д-ра. биол. наук. М., 43 с.

Юрина Ю.О., Соломина О.Н., Михаленко В.Н., Кунахович М.Г. (2006) Возможности и ограничения реконструкции колебаний климата и баланса массы ледников на Тянь-Шане по дендрохронологическим данным. МГИ 101: 69–76.

Becker B. (1993) An 11000-year German oak and pine dendrochronology for radiocarbon calibration. Radiocarbon 35: 201–213.

Bronk Ramsey C. (2005). OxCal Program v 3.10. Oxford: University of Oxford Radiocarbon Unit. [Electronic resource]. Access code: www.rlaha.ox.ac.uk/oxcal/oxcal.htm

Cook E.R., Kairiukstis L. (1990) Methods of Dendrochronology: applications in environmental sciences. Dordrecht, Boston: Kluwer Acad. Publ., 394 p.

Cook E.R., Krusic P.J. (2008) A tree-ring standardization program based on detrending and autoregressive time series modeling, with interactive graphics (ARSTAN). [Electronic resource]. Access code: www.ldeo.columbia.edu/res/fac/trl/public/publicSoftware.html

Douglass A.E. (1940) Tree-ring dates from the Forestdale valley, East-Central Arizona. *Tree-Ring Bulletin* 7 (1): 8–17.

Ferguson C.W. (1969) A 7104-year annual tree-ring chronology for Bristlecone pine (*Pinus aristata*) from the White Mountains. *Tree-Ring Bulletin*. 29(3-4): 3–29.

Friedrich M., Remmele S., Kromer B., Hofmann J., Spurk M., Kaiser F., Orzel C., Küppers M. (2004). The 12,460-year hohenheim oak and pine tree-ring chronology from Central Europe a unique annual record for radiocarbon calibration and paleoenvironment reconstructions. *Radiocarbon* 46 (3): 1111–1122.

Holmes R.L. (1983) Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin* 44: 69–75.

Holzhauser H., Magny M.J., Zumbühl H.J. (2005). Glacier and lake-level variations in west-central Europe over the last 3500 years. *Holocene* 15 (6): 789–801.

Kuzmin Y.V., Slusarenko I.Y., Hajdas I., Bonani G., Christen A. (2004) The comparison of ¹⁴C wiggle-matching results for the ‘floating’ tree-ring chronology of the Ulandryk-4 burial ground (Altai Mountains, Siberia). *Radiocarbon* 46: 943–948.

Pilcher J.R., Baillie M.G.L, Schmidt B., Becker B. (1984) A 7272-year tree-ring chronology for Western Europe. *Nature* 312: 150–152.

Rinn F. (1996) TSAP V3.5. Computer program for tree-ring analysis and presentation. Heidelberg, Frank Rinn Distribution, p. 264.

Slyusarenko I.Yu., Kristen Dzh., Orlova L.A., Kuzmin Ya.V., Burr Dzh. (2000) ¹⁴C wiggle matching of the floating tree-ring chronology from the Altai mountains, Southwestern Siberia, the Ulandryk-4. *Radiocarbon*, Jerusalem, p. 177.

Villalba R. (1994) Tree-ring and glacial evidence for the Medieval Warm Epoch and the Little Ice Age in southern South America. *Climatic Change* 26: 183–197.

Wigley T., Briffa K., Jones P. (1984) On the average value of correlated time series, with application in dendroclimatology and hydrometeorology. *J. Clim.* 23 p. 201–213.

Wiles G., D'Arrigo R., Villalba R., Calkin P. (2004) Solar forcing of century-scale mountain glaciations over the past millennium in Alaska. *Geophys.Res.Lett.* 31: 2–5.

The Possibility of Construction of the 6000-Year Chronology for Siberian Pine in the Central Altai

Andrey N. Nazarov and Vladimir S. Myglan
*Siberian Federal University,
79 Svobodny av., Krasnoyarsk, 660041 Russia*

This work represents the data on age and location of relict wood of Siberian pine on the Central Altai. We analyze features of forest distribution on the territory near the glaciers and give interpretation and indicative features of relict wood. We represent the results of building floating chronologies from three large Altai mountain-glacial valleys. We estimate the potential of the paleoclimatic information using response function analysis of the modern Siberian pine chronologies and analyze possibility of an absolute binding of the paleo-chronologies based on existing super-long Siberian larch chronologies.

Keywords: Central Altai, Holocene, glaciers, Siberian pine, relict wood, dendrochronology, paleogeography.
