

УДК 57.045

Построение и анализ 1104-летней древесно-кольцевой хронологии *Taruz* для Алтае-Саянского региона (Юго-Восточная Тыва)

О.Ч. Ойдупаа^{а*}, В.В. Баринов^б,
В.Н. Сердобов^а, В.С. Мыглан^б

^а Тувинский государственный университет,
Россия 667000, Кызыл, ул. Ленина, 36

^б Сибирский федеральный университет,
Россия 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79 ¹

Received 2.12.2011, received in revised form 9.12.2011, accepted 16.12.2011

Представлена и проанализирована новая 1104-летняя древесно-кольцевая хронология Taruz для Юго-Восточной Тывы (нагорье Сангилен). Материалом для построения хронологии послужила древесина с живых деревьев и остатки стволов лиственницы сибирской (Larix sibirica Ldb.) на верхней границе леса (2200–2300 м над ур. м.). Анализ коэффициентов корреляции индексов прироста деревьев с данными метеостанций свидетельствует о преобладающем влиянии июнь-июльской температуры на изменчивость радиального прироста, что позволило выполнить реконструкцию изменений раннелетней температуры для Юго-Восточной Тывы за последние 800 лет.

Ключевые слова: верхняя граница леса, древесно-кольцевые хронологии, реконструкция летних температур, Юго-Восточная Тыва.

Введение

Текущие расчеты изменений климата планеты основываются на рядах инструментальных метеорологических данных и косвенных источниках климатической информации (IPCC, 2001, 2007). Для средних широт (бореальная зона Сибири) прошлые

длительные изменения климата можно отследить по древесно-кольцевым хронологиям верхней границы распространения древесной растительности, где изменчивость прироста до 65 % определяется изменчивостью летней температуры (Шиятов, 1986; Овчинников и др., 2002; Ойдупаа и др., 2004;

* Corresponding author E-mail address: nalro@yandex.ru

¹ © Siberian Federal University. All rights reserved

др.). В то же время, в отличие от Субарктики, для которой выполнено значительное количество длительных палеоклиматических реконструкций (Ваганов и др., 1996; Hantemirov et al., 2002; Сидорова, Наурзбаев, 2002), для Алтае-Саянского региона их количество явно недостаточно. Созданы лишь единичные непрерывные древесно-кольцевые ряды протяженностью более тысячи лет: древесно-кольцевая хронология по лиственнице сибирской (*Larix sibirica* Ldb) протяженностью 1093 и 1772 года для территории Горного Алтая (Овчинников и др., 2002; Мыглан и др., 2009), 1929-летняя древесно-кольцевая хронология по Западной Тыве (Мыглан и др., 2008) и хронология по сосне сибирской (*Pinus sibirica* Tourg) длительностью 1738 лет для территории Северной Монголии (D'Arrigo et al., 2001). В этой связи представляло интерес получить длительную древесно-кольцевую хронологию по Юго-Восточной Тыве, исследовать климатические функции отклика прироста деревьев, оценить возможность использования древесно-кольцевой хронологии

для реконструкции региональных изменений климата.

Материалы и методы

Район сбора дендрохронологического материала расположен на юго-востоке Республики Тыва, на нагорье Сангилен (рис. 1). Резко континентальный климат, удаленность от крупных городов и промышленных центров, наличие остатков деревьев на верхней границе леса делают этот регион весьма перспективным для проведения дендрохронологических исследований. Основным материалом для исследования послужила древесина лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ldb), обладающая высокими индикационными свойствами (высокой чувствительностью прироста к изменению условий окружающей среды).

В ходе экспедиционных работ 2007 г. на верхней границе леса (на высоте 2000–2200 м над ур. м.) были заложены пробные участки (рис. 2). С живых деревьев брали керны, с сохранившихся выше по склону остатков стволов деревьев – спилы. По данным рас-



Рис. 1. Карта-схема района исследований. Звездочками показаны места сбора материала для хронологий Mongun, Khalzan Khamar (КК) и Tarys



Рис. 2. Лиственница сибирская на верхней границе леса (слева) и вид на участок сбора образцов древесины (справа)

положенной рядом метеостанции Кунгуртуг (50°35' N, 97°31' E, 1340 м над ур. м.), среднегодовая температура составляет минус 5 °С, продолжительность безморозного периода – 45 дней. Количество выпадающих осадков составляет в среднем 328 мм в год, при этом на холодный период приходится минимум, а на летний – максимум осадков (около 65 %) (Справочник..., 1969; Севастьянов, 1998). На развитие растительного покрова наибольшее влияние оказывает горный рельеф, для этого района характерен высотный антициклонический тип пояности (Поликарпов и др., 1986). Древесная растительность высокогорного пояса представлена редколесьем, образованным лиственницей сибирской, формирующей верхнюю границу леса на высоте 2200–2300 м. Сомкнутость древостоев не превышает 0,2, высота деревьев 5–8 м. В древостоях на верхней границе леса в качестве примеси встречается *Pinus sibirica* (Седелников, 1985; Маскаев и др., 1986).

Измерение ширины годичных колец было выполнено на полуавтоматической установке «LINTAB» (с точностью 0,01 мм). Датировка измеренных серий была выпол-

нена посредством сочетания графической перекрестной датировки (Douglass, 1919) и кросс-корреляционного анализа (в пакете специализированных программ для дендрохронологических исследований – DPL (Holms, 1983) и “TSAP V3.5” (Rinn, 1996)). С целью максимального сохранения в индексируемых рядах длительных климатических изменений возрастной тренд был удален классическим способом (Fritts, 1976) на основе использования негативной экспоненты и линейной регрессии в программе ARSTAN (Cook, Krusic, 2008). Оценка качества построенной хронологии выполнялась на основе применения традиционных дендрохронологических показателей – стандартного отклонения (характеризует амплитуду погодичной изменчивости прироста), EPS и RBAR. EPS характеризует чувствительность древесно-кольцевой хронологии к изменению внешних факторов (зависит от количества анализируемых образцов и дает оценку того, как конкретная ограниченная выборка отражает сигнал целой выборки (целой популяции или генеральной совокупности)), RBAR – среднее значение коэффициента корреляции между отдельными

древесно-кольцевыми сериями (Wigley et al., 1984; Cook, Kairiukstis, 1990).

Для сопоставления индексов прироста с климатическими данными были привлечены ряды среднемесячных наблюдений за приземной температурой воздуха и осадками с наиболее близко расположенных к району исследования метеорологических станций: «Актру» (50°04' N, 87°46' E, 2150 м над ур. м., период наблюдений с 1957 по 1994 гг.), «Мугур-Аксы» (50°23' N, 90°26' E, 1850 м над ур. м., период наблюдений с 1963 по 2004 гг.), «Эрзин» (50°16' N, 95°07' E, 1100 м над ур. м., период наблюдений с 1949 по 2006 гг.), данные взяты с сайта www.meteo.ru. Произведено сравнение изменчивости прироста полученной нами хронологии с хронологиями для лиственницы сибирской Mongun (Западная Тыва, Мыглан и др., 2008) и Khalzan Khamar (Северная Монголия, Jacoby, et al., 2008; аббревиатура этой хронологии здесь и далее – КК).

Результаты и обсуждение

Общее число датированных индивидуальных серий прироста составило 68 шт.,

в том числе 14 шт. по живым деревьям, что позволило построить древесно-кольцевую хронологию по лиственнице Tagus длительностью 1104 года (с 904 по 2007 гг., рис. 3).

На рисунке хорошо видно, что снижение прироста приходится на следующие периоды: с начала XI до середины XII в. (по причине недостаточной обеспеченности образцами период до 1200 г. мало репрезентативен), с первого десятилетия до 20-х гг. XIV в., 80–90-е гг. XIV в., 40–50-е гг. XV в., с 80-х гг. XVI в. до первого десятилетия XVII в., с 40-х гг. XVII в. до первого десятилетия XVIII в., 50-е гг. XVIII в., затем следует сильное и длительное снижение прироста кедра с 90-х гг. XVIII в. до 90-х гг. XIX в. В XX в. снижение прироста наблюдается в 30-е и 70-е гг., но оно превышало среднюю многолетнюю норму. В абсолютном значении наиболее сильное снижение прироста происходило с 80-х гг. XVI в. до первого десятилетия XVII в. и с 90-х гг. XVIII в. до 90-х гг. XIX в., т.е. на начало и конец Малого ледникового периода. Данный вывод хорошо согласуется с динамикой гибели деревьев (рис. 4 С). Повышение прироста происходило

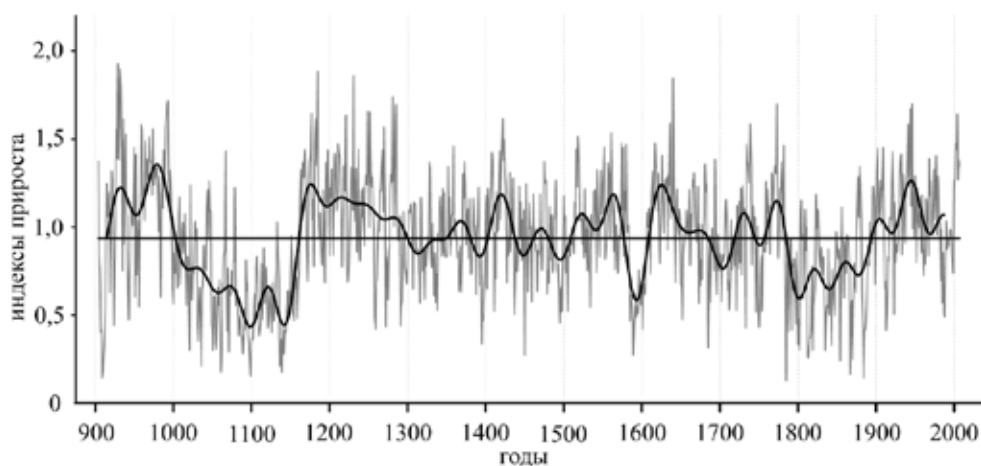


Рис. 3. Древесно-кольцевая хронология Tagus, стандартизированная негативной экспонентой (серая кривая – погодичные колебания индексов прироста, черная – сглаженные 42-летним низкочастотным фильтром, горизонтальная линия – арифметическая средняя)

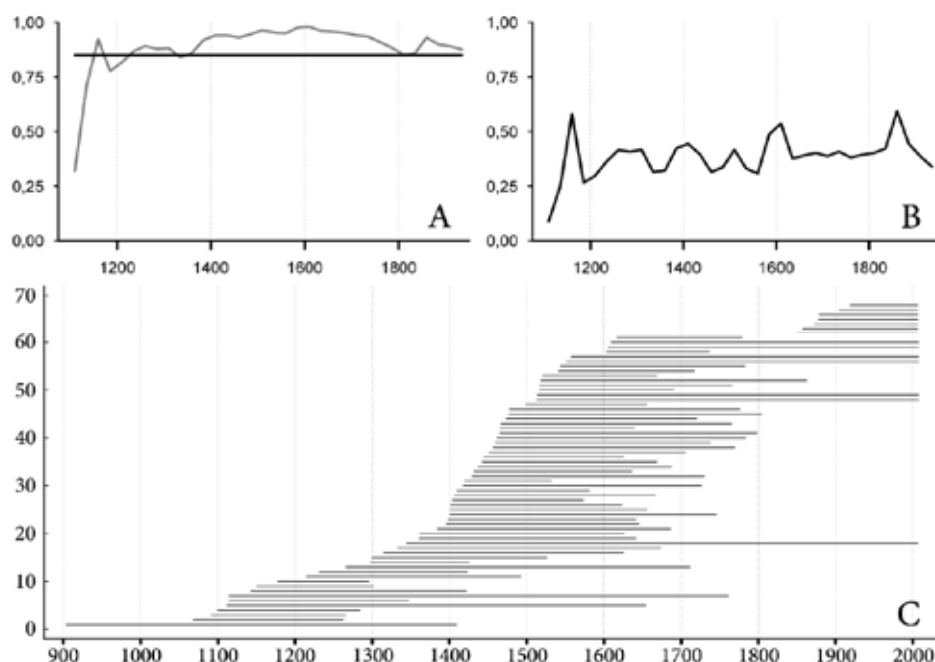


Рис. 4. Значения показателей RBAR (A) и EPS (B), сглаженные 25-летним шагом с окном в 50 лет, и наполненность (C) древесно-кольцевой хронологии Tarys

с 70-х гг. XII в. до 90-х гг. XIII в., в 60–70-е гг. XIV в., 20-е гг. XV в., 60–70-е гг. XV в., 10–20-е гг. XVI в., 60–70-е гг. XVI в., 10–30-е гг. XVII в., 20–30-е гг. XVIII в., 70-е гг. XVIII в., в начале XX в., 30–50-е гг. XX в., с 80-х гг. XX в. по настоящее время.

Сравнение построенной нами хронологии Tarys с длительными древесно-кольцевыми хронологиями Mongun (Западная Тыва) и КК (Северная Монголия) показало, что преобладают синхронные многолетние изменения индексов прироста, хотя в отдельные периоды наблюдались и асинхронные изменения (рис. 5, табл. 1). Одновременное снижение сглаженных индексов прироста наблюдалось в 80–90-х гг. XIV в., в первом десятилетии XV в., 40–60-х гг. XV в., 80–90-х гг. XVI в., 50-х гг. XVII в., с 90-х гг. XVIII в. по 90-е гг. XIX в. Общие периоды увеличения прироста наблюдались в 10–30-е гг. XV в., 50–60-е гг. XVI в., 10–30-е гг. XVII в., 60–70-е гг. XVIII в.

Однако в отдельные периоды изменения индексов прироста лиственницы были противоположными. Например, если в хронологиях Mongun и Tarys снижение прироста происходило в конце XV – начале XVI и в начале XVII в., то у хронологии КК в эти периоды наблюдался повышенный прирост. В 20–30-х гг. XVIII в. хронологии Mongun и Tarys показывают повышенный прирост, а в хронологии КК – пониженный. Другими словами, расхождения в основном наблюдаются с хронологией КК, что, вероятно, связано с тем, что она получена для более южного района.

Результаты анализа показали хорошую погодичную связь между древесно-кольцевыми хронологиями Tarys и Mongun (находящейся на удалении 572 км), которая возрастает при анализе длительных климатической флуктуации. Между древесно-кольцевыми хронологиями Tarys и КК, расположенными на удалении на 467 км, также

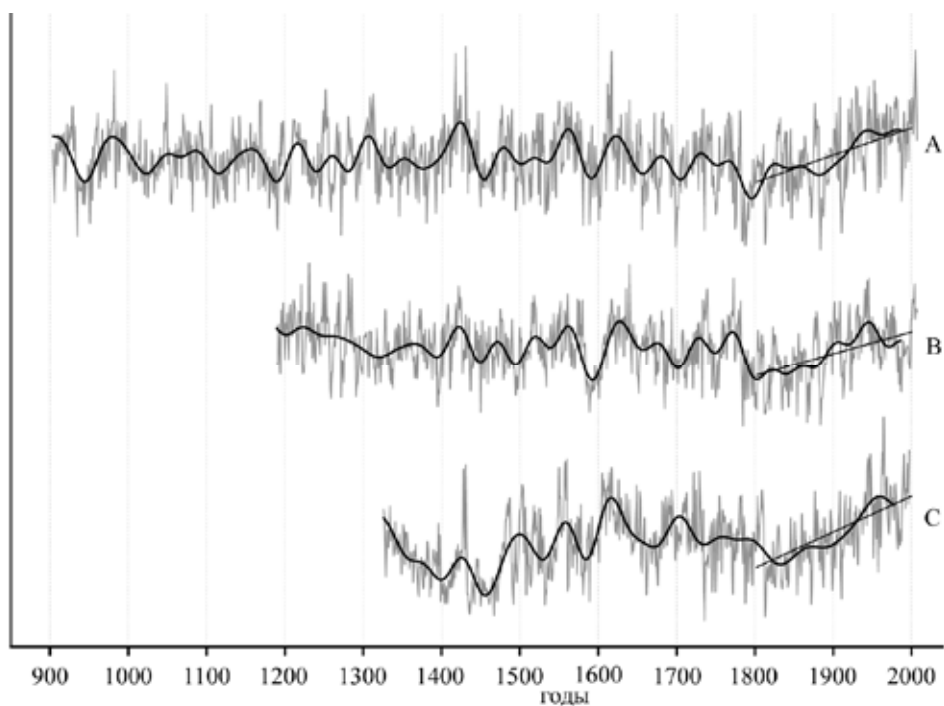


Рис. 5. Изменчивость индексов радиального прироста деревьев по древесно-кольцевым хронологиям А – Mongun, В – Tarys, С – КК. Серая кривая – годовичные колебания индексов прироста, черная кривая – сглаженные 42-летним низкочастотным фильтром, наклонная прямая – линия тренда за период с 1800 по 2000 гг.

Таблица 1. Годовичные и сглаженные 42-летним низкочастотным фильтром взаимные коэффициенты корреляции индексов прироста древесно-кольцевых хронологий Tarus, КК и Mongun

	Tarys	КК	Mongun	Tarys	КК	Mongun
	Погодичные			Сглаженные		
Tarys	1,00			1,00		
КК	0,30	1,00		0,34	1,00	
Mongun	0,59	0,48	1,00	0,75	0,39	1,00

Примечание: объем выборки – 673 года.

имеется значимая связь между индексами годовичного прироста, которая снижается при анализе низкочастотной составляющей. Тем не менее, полученные коэффициенты корреляции между древесно-кольцевыми хронологиями для Юго-Восточной Тывы, Западной Тывы и Северной Монголии, несмотря на значительную удаленность друг от друга, свидетельствуют о том, что хронологии содержат

общий климатический сигнал регионального масштаба.

Особо стоит отметить общий для всех рассматриваемых хронологий тренд – увеличение радиального прироста за два последних столетия. Это хорошо согласуется с тем, что большинство метеорологических станций, имеющих длительные ряды наблюдений в средних широтах Азии, также пока-

Таблица 2. Связь среднемесячных летних температур метеостанций «Актру», «Мугур-Аксы» и «Эрзин» с индексами прироста древесно-кольцевой хронологии Tarus

ДКХ	Месяцы						N
	V	VI	VII	VIII	IX	VI-VII	
Актру							
Taruss std	0,34	0,59	0,06	0,00	0,00	0,54	27
Taruss res	0,37	0,42	0,05	0,05	0,04	0,38	
Мугур-Аксы							
Taruss std	0,17	0,60	0,35	0,11	0,09	0,56	41
Taruss res	0,20	0,44	0,27	0,14	0,00	0,41	
Эрзин							
Taruss std	-0,02	0,62	0,44	0,22	0,11	0,64	57
Taruss res	0,13	0,47	0,31	0,20	0,17	0,47	

Примечание: ДКХ – древесно-кольцевая хронология, N – объем выборки, Taruss std и Taruss res – стандартизированная хронология с помощью негативной экспоненты (std) и исключенной автокорреляционной составляющей (res) в программе ARSTAN.

зывают устойчивый положительный тренд средних годовых температур (Высоцкая и др., 2002). При этом если у хронологий Tarus и Mongun угол наклона линии тренда одинаков, то у хронологии КК этот тренд значительно более крутой, особенно в последние десятилетия.

Для оценки климатического отклика между приростом годовых колец деревьев и температурами летних месяцев были использованы ежемесячные данные наблюдений ближайших метеорологических станций (табл. 2). Исходя из показателей EPS и RBAR (рис. 4, А, В), древесно-кольцевая хронология Tarus пригодна для проведения климатических реконструкций с 1200 по 2007 гг. (величина EPS выше критерия значимости – 0,85) что в первую очередь связано с её хорошей наполненностью образцами после 1200 г. (рис. 4, С). Данные табл. 2 свидетельствуют, что наибольшее влияние на прирост годовых колец оказывает изменчивость температуры июня и июля (с преобладающим влиянием июньской). Вероятно, как и в северных широтах, продукция клеток древесины и ши-

рина годового кольца в основном определяются климатическими условиями первой половины сезона роста, влияние температуры во второй половине июля на продукцию новых клеток годового кольца практически незначимо (Ваганов, Шашкин, 2000). Полученные результаты хорошо согласуются с ранее полученными данными других исследователей по Алтае-Саянскому региону (D'Arrigo et al., 2001; Овчинников и др., 2002).

Путем вычисления регрессионной зависимости между хронологией Tarus с температурой июня и июля метеостанции «Эрзин» была выполнена реконструкция температуры этих месяцев за период с 1200 по 2007 гг. (рис. 6, А). С целью верификации полученной реконструкции хода этих температур они были сопоставлены с данными инструментальных наблюдений на метеостанции «Кош-Агач» (рис. 6, В). Коэффициент корреляции между инструментальными и реконструированными рядами температур составил 0,65 ($p > 0,95$, объем выборки 58 значений). Это свидетельствует о том, что полученная реконструкция изменчивости раннелетней темпе-

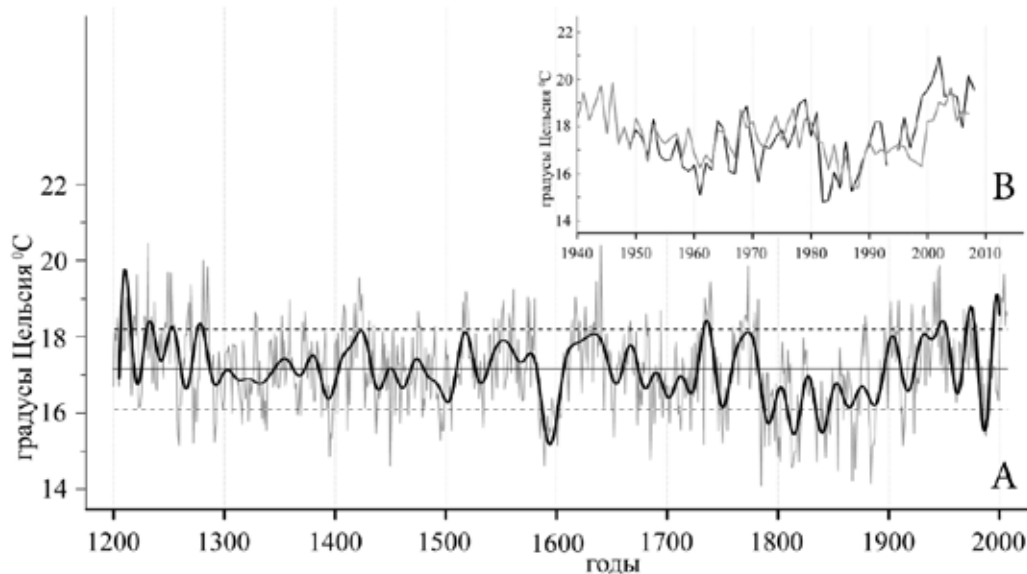


Рис. 6. А – реконструированная температура воздуха за июнь–июль за последние 800 лет по данным метеостанции Эрзин. Серой линией показаны погодичные изменения температуры, черной кривой – сглаженный 40-летним фильтром ход температуры, пунктирными линиями – стандартное отклонение. В – изменчивость температуры воздуха (июня и июля) по данным инструментальных наблюдений на метеостанции «Кош-Агач» за 1940–2008 гг. (черная линия) и реконструированная температура по древесно-кольцевой хронологии Tagus (серая линия)

ратуры сходна с данными инструментальных наблюдений в исследуемом районе.

Заключение

Итогом проведенной работы стало построение новой тысячелетней высокогорной хронологии Tagus по лиственнице сибирской, пополнившей сеть дендрохронологических станций по Алтае-Саянскому региону и вносящей вклад в исследование климата циркумполярной области Северного полушария. Анализ коэффициентов корреляции индексов прироста деревьев с данными метеостанций свидетельствует о преобладающем влиянии

температуры июня и июля на изменчивость радиального прироста, что позволило выполнить реконструкцию изменений раннелетней температуры для Юго-Восточной Тывы за последние 800 лет. Сравнение построенной хронологии Tagus с другими длительными древесно-кольцевыми хронологиями по Алтае-Саянскому региону свидетельствует о том, что изменчивость прироста годичных колец отражает климатические изменения не только регионального масштаба, но и глобального (Малый ледниковый период, современное потепление), происходившие в Северном полушарии.

Работа выполнена при поддержке АВЦП № 2.1.1/6131 и Гранта президента РФ № МК-1675.2011.6.

Список литературы

Ваганов Е.А., Шашкин А.В. (2000) Рост и структура роста годовых колец хвойных. Новосибирск: Наука, 232 с.

Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазепа В.С. (1996) Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. Новосибирск: Наука, 244 с.

Высоцкая Е.С., Дмитриев А.И., Ноженкова Л.Ф., Шишов В.В. (2002) Пространственное распределение трендов климатических параметров (XX век). В: Основные закономерности глобальных и региональных изменений климата и природной среды в позднем кайнозое Сибири. Новосибирск: Наука, Вып. 1: 83–86.

Маскаев Ю.М., Намзалов Б.Б., Седельников В.П. (1985) Геоботаническое районирование. В: Растительный покров и естественные кормовые угодья Тувинской АССР. Новосибирск: Наука, 68–107.

Мыглан В.С., Овчинников Д.В., Ваганов Е.А., Быков Н.И., Герасимова О.В., Сидорова О.В., Силкин П.П. (2009) Построение 1772-летней древесно-кольцевой хронологии для территории республики Алтай. Известия РАН, Серия географическая 6: 70–77.

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: 25–32.

Овчинников Д.В., Панюшкина И.П., Адаменко М.Ф. (2002) Тысячелетняя древесно-кольцевая хронология лиственницы Горного Алтая и ее использование для реконструкции летней температуры. География и природные ресурсы 1: 102–108.

Ойдупаа О.Ч., Ваганов Е.А., Наурзбаев М.М. (2004) Длительные изменения летней температуры и радиальный прирост лиственницы на верхней границе леса в Алтае-Саянской горной стране. Лесоведение 6: 14–24.

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

Севастьянов В.В. (1998) Климат высокогорных районов Алтая и Саян. Томск: Из-во ТПУ, 202 с.

Седельников В.П. (1985) Растительность высокогорий. В: Растительный покров и естественные кормовые угодья Тувинской АССР. Новосибирск: Наука, 68–107.

Сидорова О.В., Наурзбаев М.М. (2002) Реакция на климатические изменения лиственницы Каяндера на верхней границе леса и в долине реки Индигирка. Лесоведение 2: 73–75.

Температура воздуха и почвы. (1969) Справочник по климату СССР 21. Л.: Гидрометеиздат, 380 с.

Шиятов С.Г. (1986) Дендрохронология верхней границы леса на Урале. М.: Наука, 136 с.

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

D'Arrigo R., Jacoby G., Pederson N., Cook E., Buckley B., Nachin B., Mijiddorj R., Dugarjav C. (2001) 1728 year of Mongolian temperature variability inferred from a tree ring width chronology of Siberian pine. *Geoph. Res. Lett.* 28: 543–546.

Douglass A.E. (1919) Climatic cycles and tree-growth. A study of the annual rings of trees in relation to climate and solar activity. Washington: Carnegie Inst. Vol. 1, 127 p.

- Fritts H.C. (1976) *Tree-rings and climate*. London: Academic Press, 567 p.
- Hantemirov R.M., Shiyatov S.G. (2002) A continuous multi millennial ring width chronology from Yamal, northwestern Siberia. *Holocene* 12: 717–726.
- Holmes R.L. (1983) Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-ring Bulletin* 44: 69–75.
- Jacoby G.C., D'Arrigo R., Pederson N. Khalzan Khamar (2008) MONG009, Mongolia. 2008: (Electronic resource). <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/treering.html>.
- IPCC 2001 *Climate Change 2001*. (2001) *The Scientific Basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 944 p.
- IPCC 2007 *Climate Change 2007*. (2007) *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 996 p.
- Rinn F. (1996) *TSAP V 3.6 Reference manual: computer program for tree-ring analysis and presentation*. Heidelberg, 263 p.
- Wigley T.M.L., Briffa K.R., Jones P.D. (1984) On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 23: 201–213.

Construction and Analysis of 1104-year Tree-ring Chronology Tarys the Altai-Sayan Region (South-eastern Tuva)

**O.Ch. Oydupaa^a, V.V. Barinov^b,
V.N. Serdobov^a and Vladimir S. Myglan^b**
^a *Tuvan State University*
36 Lenin st., Kyzyl, 667000 Russia
^b *Siberian Federal University*
79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041 Russia

*We present a new 1104-year tree-ring chronology for south-eastern Tuva. The chronology was built based on larch samples (*Larix sibirica* Ldb.) of living trees and rests of the trunks from the upper timberline (2200–2300 m). Correlation coefficient analyses between tree-ring indices and weather station data revealed prevailing influence of June-July air temperature on tree growth variability. This allow to obtained summer temperature reconstruction for south-eastern Tuva during the last 800 years.*

Keywords: South-eastern Tuva, tree-ring chronologies, summer temperatures reconstruction.
