

## ТЫСЯЧЕЛЕТНЯЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ЛЕТА НА ПОЛЯРНОМ УРАЛЕ: ДАННЫЕ ДРЕВЕСНЫХ КОЛЕЦ МОЖЖЕВЕЛЬНИКА СИБИРСКОГО И ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ\*

### Введение

Дендроклиматические исследования на Полярном Урале имеют достаточно длительную историю. Здесь встречается большое количество остатков деревьев, которые отмерли много столетий назад, что позволяет продлевать древесно-кольцевые хронологии за пределы возраста наиболее старых лиственниц и елей, доживающих здесь до 400 - 500 лет. В частности, большое количество сухостоя и валежа имеется в пределах подгольцового пояса и выше верхней границы леса у подножий горы Черной и массива Рай-Из. В этом районе в годичных кольцах деревьев фиксируется сильный климатический сигнал. По древесине ныне живущих и отмерших деревьев лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) впервые для условий Субарктики была получена тысячелетняя древесно-кольцевая хронология [Шиятов, 1986], и на ее основе произведена количественная реконструкция средней температуры июня - июля [Graybill, Shiyatov, 1992; Shiyatov, 1995]. Построенная позднее хронология на базе измерений максимальной плотности древесины в каждом годичном слое позволила произвести реконструкцию средней температуры воздуха за более длительный период года (с мая по сентябрь) [Briffa et al., 1995]. К настоящему времени древесно-кольцевая хронология по ширине годичных колец продлена до 645 г. н.э., т.е. длительность ее составляет 1 350 лет.

Считается [Хантемиров и др., 1999], что одним из перспективных путей получения более надежных дендроклиматических реконструкций является построение хронологий по другим видам деревьев и кустарников, существенно отличающимся по биологическим и экологическим особенностям от наиболее часто используемых для этих целей видов. В связи с этим нами проводилась работа по поиску новых видов деревьев и кустарников, которые доживают до большого возраста, а их годичные кольца хорошо отражают изменчивость климатических условий. Особое внимание было обращено на мелкий вечнозеленый кустарник - можжевельник сибирский (*Juniperus sibirica* Burgsd.), достигающий высоты 1,0 - 1,5 м и диаметра в основании наиболее развитой ветви 15 - 18 см. Этот аркто-альпийский вид широко распространен на Полярном Урале. Он произрастает как под пологом елово-лиственничных редин и редколесий, так и выше верхней границы леса, в полосе горных кустарниковых тундр. Оказалось, что можжевельник сибирский достигает исключительно большого возраста. Самому старому живому кусту, обнаруженному нами в этом районе в настоящее время, 850 лет, а экземпляры 500 - 600-летние встречаются довольно часто. Другими словами, по максимальному возрасту можжевельник сибирский в 2 раза превосходит произрастающие здесь крупные деревья (лиственницы сибирской и ели сибирской), и его можно считать наиболее долгоживущим деревянистым видом на Урале.

Ранее нами для Полярного Урала по ширине годичных колец можжевельника сибирского была построена 636-летняя хронология, и на ее основе осу-

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 99-04-48984 и 01-04-49584).

шествлена реконструкция изменений летних температур за последние 450 лет [Там же]. В этой работе показано, что годовые кольца можжевельника фиксируют сильный климатический сигнал, отражающий среднюю температуру мая, июня и июля текущего года роста кустарника, в то время как лиственница сибирская и ель сибирская из этого района дают информацию о средней температуре лишь июня и июля. Кроме того, были обнаружены различия в величине показателей связи и синхронности с температурными условиями отдельных месяцев между хронологиями, полученными по можжевельнику и другим древесным видам. В частности, годовые кольца лиственницы в основном дают информацию о температурных условиях июля и в меньшей степени июня, а можжевельника, наоборот, преимущественно июня. Это навело нас на мысль объединить хронологии, полученные по лиственнице и можжевельнику, и проанализировать содержащийся в них климатический сигнал. Было показано, что комбинированная хронология значительно повышает надежность и качество дендроклиматической реконструкции.

В связи с этим нами на Полярном Урале в течение последних двух лет проводились интенсивные поиски как старых экземпляров можжевельника, так и остатков давно усохших кустов и ветвей с целью продления хронологии дальше в глубь веков. В результате она была доведена до 641 г. н.э. и по длительности сравнялась с хронологией, полученной ранее по лиственнице сибирской.

Задачей данной работы является рассмотрение вопросов построения и продления в глубь веков древесно-кольцевой хронологии по можжевельнику сибирскому, получение длительной комбинированной хронологии по можжевельнику и лиственнице, анализ содержащейся в ней климатической информации и реконструкция климатических условий за последние 1 000 лет.

### **Объекты и методика**

Для построения хронологии по можжевельнику сибирскому были использованы спилы с 45 наиболее старых живых кустов, произрастающих более или менее изолированно на восточном макросклоне Полярного Урала (гора Черная, массив Рай-Из) вблизи верхней границы распространения лиственничных редколесий (200 - 280 м над ур. м.). В каждом кусте отбиралась наиболее развитая ветвь, и с ее нижней части брался поперечный спил. Кроме того, были сделаны спилы с 39 усохших ветвей и кустов.

У наклоненных и распростертых у поверхности земли ветвей годовые кольца очень эксцентричны, так как нарастание слоев древесины происходит в основном в сторону, противоположную от поверхно-

сти земли. Поэтому измерение ширины годовых колец, особенно у старых экземпляров, можно производить лишь по одному направлению, где радиальный прирост наибольший. Замеры часто приходилось делать вдоль извилистой линии, поскольку ветвь в течение своей жизни неоднократно меняет пространственную ориентацию и направление максимального прироста.

Перекрестная датировка и определение календарных дат формирования колец производились при помощи компьютерных программ COFESHA и TSAP, а также глазомерного сопоставления кривых роста на экране монитора и графиках. Результаты показали, что самая старая живая ветвь содержала 840 колец, а усохшие ветви и кусты отмерли от 900 (наиболее древняя ветвь имела кольца, сформированные с 641 по 1105 г.) до 100 л.н.

Расчет индексов ширины годовых колец производился при помощи метода коридора [Шиятов, 1986]. Было выявлено, что прирост текущего года у можжевельника в сильной степени зависит от прироста предыдущих двух лет. Для того чтобы провести сравнительный анализ более "чистого" климатического сигнала, зафиксированного в древесно-кольцевых хронологиях, была выполнена так называемая процедура "выбеливания", т.е. во всех индивидуальных хронологиях было устранено влияние прироста предыдущих лет на прирост текущего года.

Для построения обобщенного ряда по можжевельнику нами использованы 84 индивидуальные хронологии. Использованные образцы имели от 61 до 840 годовых колец. Длительность полученной хронологии составляет 1 359 лет (с 641 по 1999 г.). Интервал с 641 по 945 г. представлен лишь одним-двумя образцами, а с 1000 по 1999 г. - не менее чем девятью для каждого года. Для проведения дендроклиматической реконструкции был взят последний 1000-летний отрезок, обеспеченный достаточным числом образцов. Для построения комбинированной можжевельно-лиственничной хронологии был использован ранее полученный отрезок хронологии по лиственнице сибирской длительностью 997 лет (с 1000 по 1996 г.) [Shiyatov, 1995; Ваганов и др., 1998]. Оценка связи индексов прироста с климатическими параметрами производилась на основе 117-летних рядов метеорологических наблюдений в г. Салехарде (1883 - 1999 гг.), который расположен в 50 км к востоку от района исследований. Для выявления долговременных колебаний климата применялся метод линейной фильтрации [Мазепа, 1986].

### **Результаты и обсуждение**

Реконструкции летних температур, полученные на основе использования обобщенных хронологий по можжевельнику и лиственнице, существенно отлича-

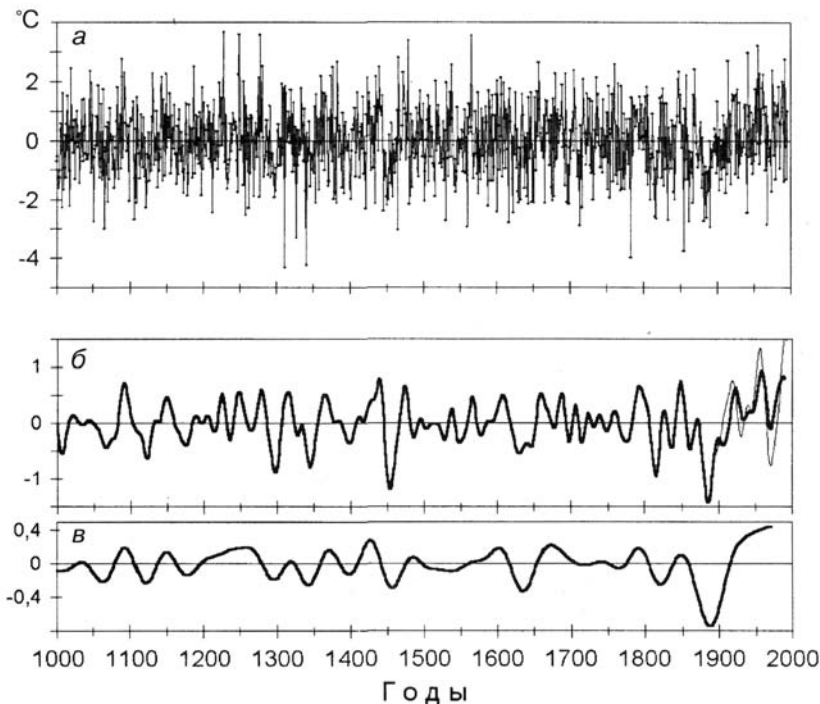


Рис. 1. Дендроклиматическая реконструкция средних температур воздуха июня - июля

(в отклонениях от средней нормы для всего периода реконструкции).

*a* - погодичные данные; *б* - внутривековые колебания (тонкой линией показаны данные инструментальных наблюдений по Салехарду); *в* - вековые колебания.

ются друг от друга: коэффициент корреляции между ними на всем отрезке реконструкции довольно низкий (0,32). Отличия обусловлены тем, что в этих хронологиях содержится различный климатический сигнал. Как уже упоминалось выше, в плане прироста можжевельник больше реагирует на изменчивость температуры раннего лета, а лиственница - середины лета. Это в определенной мере подтверждается данными инструментальных наблюдений. Как правило, чем выше разница в конкретном году между средними температурами июля и мая - июня, тем больше расхождение в том же году между двумя рассматриваемыми реконструкциями.

Комбинированная хронология была построена на основе оценивания параметров множественной регрессии между индексами прироста обобщенных хронологий по можжевельнику и лиственнице и средними температурами июня - июля. Полученная по ней реконструкция летних температур имеет более высокие показатели сходства с инструментальными наблюдениями, чем те, которые основаны на хронологиях, построенных отдельно по можжевельнику и лиственнице. Коэффициент корреляции между фактическими и реконструированными по комбинированной хронологии температурами июня - июля за 1883 - 1996 гг. оказался равным 0,73, а коэффициент синхронности - 76%, в то время как эти показатели по можжевеловой

и лиственничной хронологиям составили соответственно 0,61 и 71%, 0,60 и 73%. Важно отметить, что в течение сравниваемого периода связь климата с индексами ширины годовых колец оставалась неизменно высокой (коэффициент корреляции для периода 1883 - 1941 гг. 0,73, 1942 - 1996 гг. - 0,71). На рис. 1, *б* показаны фактические и реконструированные на основе использования комбинированной хронологии изменения летних температур, сглаженные при помощи 20-летней средней скользящей. Как видно, эти кривые совпадают.

На рис. 1, *а* представлены реконструированные погодичные колебания летних температур за последние 1 000 лет. Обращает на себя внимание их большой диапазон, достигающий 8 °C. Учитывая, что диапазон реконструированных по древесно-кольцевым хронологиям температур воздуха, как правило, ниже фактических температур, то можно утверждать, что он составлял не менее 10 °C. При этом эта изменчивость неодинакова

в различные периоды (рис. 2), в теплые летние сезоны она была выше. Особый интерес представляет выявление экстремально холодных летних сезонов, поскольку они оказывают исключительно большое влияние на функционирование различных компонентов северных экосистем и хозяйственную деятельность населения. Самые холодные за последние 1 000 лет на Полярном Урале были в 1312 г. (отклонение от средней нормы составило - 4,3°), 1328 (-3,3°), 1342 (-4,2°), 1466 (-3,0°), 1783 (-4,0°) и 1855 г. (-3,8°). Наиболее часто холодные летние периоды наблюдались в XIX и XIV вв., а наиболее редко - в XII, XIII и XV вв. (см. рис. 1, *а*).

Дендроклиматический метод позволяет выявлять не только погодичные, но также внутривековые (от 2 - 3 до 60 лет) и вековые (свыше 60 лет) колебания. На рис. 1 приведены внутривековые (*б*) и вековые (*в*) изменения летних температур на Полярном Урале. Хотя диапазон этих колебаний меньше, чем погодичных (4,3 и 1,5 °C соответственно), однако и здесь мы видим, что естественные внутривековые и вековые изменения температуры летнего периода были характерны для всего рассматриваемого промежутка времени.

Анализируя внутривековые колебания, можно отметить два исключительно холодных периода, которые наблюдались в конце XIX и середине XV в. Кро-

ме того, холодные летние сезоны были в конце XIII - начале XIV в., середине XIV и в начале XIX в. (см. рис. 1, б). Как правило, понижение летних температур в эти периоды происходило постепенно. За исключением середины XV в., когда похолодание произошло практически мгновенно: в 1445 г. средняя температура лета была выше нормы на 1,5 °С, а в 1446 г. - ниже нормы на 2,4 °С и затем в течение многих лет не поднималась выше нормы. Среди теплых внутривековых периодов можно отметить такие, как конец XI - начало XII в., первая половина XV, конец XVIII и два периода в XX в. (середина и конец столетия).

Из вековых изменений климата бросается в глаза исключительно холодный период во второй половине XIX - начале XX в., самый холодный за последние 1 000 лет. Это похолодание сменилось резким повышением летних температур, которое продолжается в настоящее время. Следует отметить, что потепление климата в XX в. на Полярном Урале было наиболее интенсивным по сравнению с другими секторами Сибирской Субарктики [Ваганов и др., 1998]. Длительное и интенсивное потепление климата наблюдалось в XIII в. В этот период лесная растительность поднималась выше всего в горы [Shiyatov, 1995]. В целом холодным был XIV в.

### Заключение

Тысячелетняя реконструкция колебаний летних температур с погодичным разрешением представляет интерес для понимания естественной и антропогенно обусловленной изменчивости климата, а также истории освоения этого края. Такие колебания оказывают влияние как на отдельные виды растений и животных, так и на образуемые ими наземные и водные экосистемы, а также на хозяйственную деятельность человека, живущего в экстремальных климатических условиях. Выводы и заключения об изменчивости климата, полученные на основе анализа годовичного прироста деревьев и кустарников на Полярном Урале, можно распространить на большую часть севера Западной Сибири, так как в условиях Крайнего Севера однородные температурные поля занимают огромные территории (до 500 - 800 км в поперечнике) [Ваганов и др., 1996]. Кроме того, длительные древесно-кольцевые хронологии имеют важное значение для абсолютного датирования исторических, археологических и этнографических памятников [Шиятов и др., 2000].

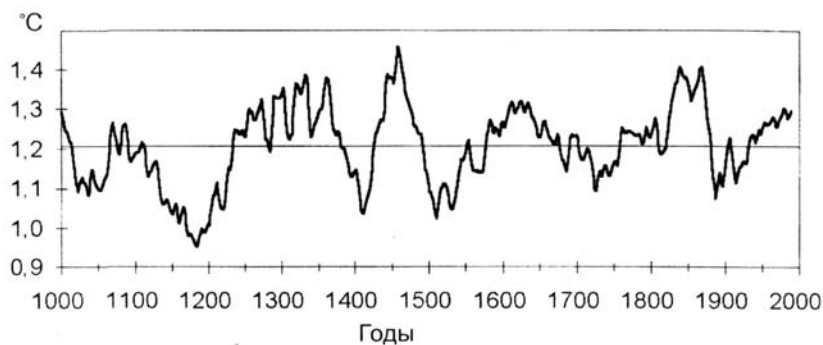


Рис. 2. Динамика погодичной изменчивости реконструированных температур воздуха, выраженная в изменениях стандартного отклонения за 50-летние периоды.

### Список литературы

- Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазепа В.С.** Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. - Новосибирск: Наука, 1996. - 246 с.
- Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Хантемиров Р.М., Нарзбаев М.М.** Изменчивость летней температуры воздуха в высоких широтах Северного полушария за последние 1,5 тыс. лет: сравнительный анализ данных годовичных колец деревьев и ледовых кернов // Докл. Акад. наук. - 1998. - Т. 358, № 5. - С. 681 - 684.
- Мазепа В.С.** Использование спектрального представления и линейной фильтрации стационарных последовательностей при анализе цикличности в дендрохронологических рядах // Дендрохронология и дендроклиматология. - Новосибирск: Наука, 1986. - С. 49 - 68.
- Хантемиров Р.М., Шиятов С.Г., Горланова Л.А.** Дендроклиматический потенциал можжевельника сибирского // Лесоведение. - 1999. - № 6. - С. 33 - 38.
- Шиятов С.Г.** Дендрохронология верхней границы леса на Урале. - М: Наука, 1986. - 136 с.
- Шиятов С.Г., Мазепа В.С., Хантемиров Р.М., Горячев В.М.** Итоги и перспективы использования дендрохронологического метода для датировки археологических, исторических и этнографических памятников на территории ЯНАО // Научн. вестн. - Салехард, 2000. - Вып. 3: Археология и этнология. - С. 49 - 56.
- Briffa K.R., Jones P.D., Schweingruber F.H., Shiyatov S.G., Cook E.R.** Unusual twentieth-century summer warmth in a 1000-year temperature record from Siberia // Nature. - 1995. - Vol. 376, N 6536. - P. 156 - 159.
- Graybill D.A., Shiyatov S.G.** Dendroclimatic evidence from the northern Soviet Union // Climate since A.D. 1500 / Eds. R.S. Bradley, P.D. Jones. - L.; N.Y.: Routledge, 1992. - P. 393 - 414.
- Shiyatov S.G.** Reconstruction of climate and the upper timberline dynamics since AD 745 by tree-ring data in the Polar Ural Mountains // International Conference on Past, Present and Future Climate (Proceedings of the SILMU conference held in Helsinki, Finland, 22 - 25 August 1995) / Ed. P. Heikinheimo. - Painatuskeskus, 1995. - P. 144 - 147. - (Publication of the Academy of Finland; 6/95).