На правах рукописи

Горланова Людмила Аркадьевна

ДЕНДРОКЛИМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МОЖЖЕВЕЛЬНИКА СИБИРСКОГО (*JUNIPERUS SIBIRICA* BURGSD.) НА ПОЛЯРНОМ УРАЛЕ

03.00.16 – экология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Екатеринбург – 2009

Работа выполнена в Учреждении РАН

Институте экологии растений и животных Уральского отделения РАН

Научный руководитель	кандидат биологических наук **Хантемиров Рашит Мигатович**
Официальные оппоненты:	доктор биологических наук **Таршис Людмила Григорьевна** кандидат биологических наук **Кучеров Сергей Евгеньевич**
Ведущая организация:	**Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН**

Защита состоится « 8 » декабря 2009 г. в 13 часов на заседании диссертационного совета Д 004.005.01 при Институте экологии растений и животных УрО РАН по адресу:

620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202

Факс: 8 (343) 260-82-56, E-mail: dissovet@ipae.uran.ru

URL: http://ipae.uran.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института экологии растений и животных УрО РАН.

Автореферат разослан « 6 » ноября 2009 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат биологических наук Золотарева Н.В. Золотарева

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Проблема возможного изменения климата, в частности потепления поверхности Земли является важнейшей среди глобальных экологических проблем, возникших в последнее время. Очень важно знать детальную историю климата районов, расположенных в высоких широтах Евроазиатского континента: именно здесь наблюдается наиболее высокая изменчивость температуры по сравнению с районами, расположенными в средних и низких широтах, а экосистемы очень чувствительно реагирует на эти изменения (ACIA, 2005).

Информацию об изменении климата можно получить разными способами. Инструментальные наблюдения на метеорологических станциях дают наиболее надежную информацию о погоде изучаемого района, но эта информация обычно охватывает короткий промежуток времени (как правило, менее 100 лет), а сеть существующих метеостанций редка, особенно в горных районах. Одним из наиболее перспективных методов изучения динамики отдельных климатических факторов и частоты климатических экстремумов в прошлом за пределами периода инструментальных наблюдений является дендрохронологический метод.

Очень хорошо изучена связь между шириной годичного кольца и климатическими факторами. На основе полученной информации проводятся количественные реконструкции летней температуры в северных районах и на верхней границе леса. При этом получаемая климатическая информация является наиболее надежной и точно привязанной к календарному времени. Ширина годичного кольца представляет собой интегральную величину, поэтому она может успешно использоваться для реконструкции средней температуры вегетационного сезона в северных районах. Но этот показатель не может дать надежной информации о более кратковременных погодных и климатических экстремумах, наблюдающихся в течение периода вегетации.

Одним из мощных факторов, влияющих на устойчивость и функционирование различных уровней организации жизни, являются катастрофические климатические экстремумы, приводящие иногда к существенным изменениям биоты экосистем (IPCC, 2005). Знание частоты повторяемости и интенсивности различных экстремальных климатических явлений в прошлом необходимо для точной оценки изменений климата и их влияния на организмы и экосистемы в настоящем, а также для успешного прогноза климатических изменений. В этой связи актуальным становится изучение нарушений анатомической структуры годичного кольца и ее изменений под воздействием различных экстремальных

климатических и неклиматических факторов, а также использование выявленных связей для реконструкции экстремумов.

Изучение изменений анатомической структуры слоев прироста у древесных растений под воздействием таких экстремальных факторов как заморозки и резкие похолодания в течение периода вегетации в последнее время начато в северных и высокогорных территориях некоторых стран мира (Tree-ring based..., 1997; Spatial responce to major..., 2001; Wang et al., 2000). В Субарктических районах Сибири необходимость таких исследований стоит очень остро, так как исследования частоты, интенсивности, пространственной локализации экстремальных климатических явлений по клеточной структуре годичного кольца в этом обширном регионе только начаты (Гурская, 2000, 2002).

В дендроклиматических исследованиях, проводимых в различных районах Субарктики, в основном используются древесные растения – различные виды лиственниц, елей, сосна обыкновенная, кедр сибирский. В районах, где нет древесной растительности, становятся актуальными исследования широко здесь распространенных крупных и мелких кустарников (различных видов ив, берез, можжевельников, ольхи), поэтому дендроклиматические исследования можжевельника сибирского на Полярном Урале являются очень актуальными.

Цель и задачи исследования. Целью работы является оценка дендроклиматического потенциала можжевельника сибирского *Juniperus sibirica* Burgsd. и исследование его возможностей для реконструкций изменения климата на региональном уровне.

Исходя из этой цели, были поставлены следующие задачи исследования:

1. Разработать методику измерения ширины годичных колец на поперечных срезах стелющихся ветвей можжевельника сибирского;

2. Построить древесно-кольцевую хронологию по ширине годичных колец, используя живую и полуископаемую древесину можжевельника сибирского, и дать статистическую оценку полученной хронологии;

3. Сравнить хронологию по ширине годичных колец можжевельника сибирского с имеющимися для Полярного Урала хронологиями по лиственнице сибирской и ели сибирской;

4. Изучить влияние климатических факторов на ширину годичных колец можжевельника и провести реконструкцию климатических параметров;

5. Провести анализ патологических структур в анатомическом строении древесины можжевельника сибирского и выявить факторы, являющиеся причиной их образования;

6. Построить хронологию патологических структур и провести реконструкцию климатических экстремумов на Полярном Урале.

Защищаемые положения

1. В древесно-кольцевой хронологии по можжевельнику сибирскому, произрастающему в экстремальных климатических условиях, содержится климатический сигнал за более длительный интервал летнего сезона, по сравнению с хронологиями, полученными по древесным видам.

2. Дендроклиматические реконструкции могут осуществляться как на основе использования обобщенной хронологии только по можжевельнику сибирскому, так и с использованием хронологий по нескольким видам.

3. Патологические структуры в анатомическом строении ксилемы можжевельника сибирского (морозобойные, светлые и ложные кольца) являются маркерами экстремально холодных температур в течение летних сезонов на Полярном Урале.

Научная новизна и теоретическая значимость. Впервые проведено исследование годичных колец можжевельника сибирского. Построена хронология по ширине годичных колец с 641 по 1999 г. н. э., которая длительностью не уступает хронологиям по хвойным видам древесных растений из этого района. В ней содержится климатический сигнал за более длительный интервал летнего сезона (с мая по июль), по сравнению с хронологиями, полученными по древесным видам.

Впервые выполнена реконструкция климатических экстремумов на основе изучения патологических структур в годичных кольцах можжевельника сибирского. Эта реконструкция отражает как глобальные климатические аномалии, связанные с крупными извержениями вулканов, так и региональные аномалии, обусловленные специфическим ходом циркуляции атмосферы над обширными районами Урала и Западной Сибири.

Практическая значимость. Разработана методика измерения ширины годичных колец можжевельника сибирского.

Поскольку каждое патологическое кольцо указывает на конкретное экстремальное событие в прошлом, то эти данные могут быть использованы при абсолютных древесно-кольцевых датировках исторических, археологических и этнографических памятников.

Реконструированные данные колебания летних температур с погодичным разрешением представляют интерес для специалистов, занимающихся изучением

динамики природных условий и экосистем, а также историей хозяйственной деятельности человека в условиях Крайнего Севера.

Материалы диссертационной работы используются при чтении курса «Дендрохронология» на биологическом факультете УрГУ (Горланова и др., 2005).

Личный вклад соискателя. Исследование проведено на материале, собранном С.Г. Шиятовым. Обработка спилов, измерение ширины годичных колец, датировка, выявление патологических колец, анализ и обобщение полученных результатов проведены лично или при непосредственном участии автора.

Апробация работы. Результаты исследований были представлены и обсуждались на 10 международных конференциях: «Строение, свойства и качество древесины – 2000» (Петрозаводск, 2000); «Tree rings and People» (Davos, 2001); «High Latitude Paleoenvironments» (Moscow, 2002); «Экстремальные криосферные явления: фундаментальные и прикладные аспекты» (Пущино, 2002); «Экологические проблемы горных территорий» (Екатеринбург, 2002); «Экологическая ботаника: наука, образование, прикладные аспекты» (Сыктывкар, 2002); «II Международная конференция по анатомии и морфологии растений» (Санкт-Петербург, 2002); «Всемирная конференция по изменению климата» (Москва, 2003); «Строение, свойства и качество древесины – 2004» (Санкт-Петербург, 2004); «Climate changes and their impact on boreal and temperate forests» (Ekaterinburg, 2006) и 4 всероссийских и региональных конференциях: «Ботанические исследования на Урале» (Свердловск, 1986); «Реакция растений на глобальные и региональные изменения природной среды» (Иркутск, 2000); «Дендрохронология: достижения и перспективы» (Красноярск, 2003); «Новые методы в дендроэкологии» (Иркутск, 2007)

Публикации. По теме диссертации опубликовано 22 работы, из них 4 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа изложена на 117 страницах, состоит из введения, шести глав, выводов, списка литературы (175 источников, из них 74 на иностранных языках); иллюстрирована 20 рисунками и содержит 2 таблицы.

Благодарности. Автор благодарит доктора биологических наук, профессора С.Г. Шиятова за идею о возможности использования кустарниковых видов древесных растений для климатических реконструкций и материал, предоставленный для исследования; профессора Ф.Х. Швайнгрубера за микрофотографии патологических структур.

Глава 1. ГОДИЧНЫЕ КОЛЬЦА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ КАК ИНДИКАТОРЫ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

В разделах 1.1, 1.2 рассматриваются анатомо-морфологические аспекты образования древесины хвойных, обзор литературы по патологическим структурам в анатомическом строении годичных слоев.

В древесине хвойных наиболее часто встречаются такие патологические структуры как морозобойные, светлые и ложные кольца. Морозобойные кольца представляют собой искаженную структуру ксилемной ткани поврежденную заморозком в сезон роста, когда формируются клетки ксилемы и прерывают нормально залегающую последовательность радиальных рядов трахеид. Под термином "ложное кольцо" (флуктуация плотности древесины) понимают один или несколько слоев клеток в пределах годичного кольца, которые выделяются из соседних слоев по форме и размеру клеток, а также по толщине клеточной стенки. Светлые кольца характеризуются светлой окраской зоны поздней древесины.

Отдельные разделы посвящены дендроклиматическим исследованиям на Полярном Урале (1.3) и исследованиям кустарников в Субарктике (1.4).

Глава 2. ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились на территории Ямало-Ненецкого автономного округа, на восточном макросклоне Полярного Урала в бассейне реки Соби (66°46′–66°55′ с.ш., 65°22′–65°49′ в.д.). В разделах 2.1-2.6 приведены сведения по геологии, гидрографии, почвам, климату и растительности района исследования.

Глава 3. МОЖЖЕВЕЛЬНИК СИБИРСКИЙ (*JUNIPERUS SIBIRICA* BURGSD.)

Можжевельник сибирский относится к семейству кипарисовых – *Cupressacea* Bartl., подсемейство кипарисовых – *Cupressoideae*, триба можжевеловые – *Junipereae*, род можжевельник – *Juniperus* (Козубов, Муратова, 1986).

В разделе 3.1 приводится морфологическое и анатомическое описание можжевельника сибирского, ареал его распространения. Раздел 3.2 посвящен можжевельнику сибирскому на Полярном Урале.

Глава 4. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для проведения дендроклиматического анализа в 1997-2000 годах на восточном макросклоне Полярного Урала (массив Рай-Из, гора Черная) в районе

верхней границы распространения лиственничных редколесий (200-280 м над ур. м.) С.Г. Шиятовым были отобраны самые старые кусты можжевельника, растущие более или менее изолированно. В каждом кусте выбиралась наиболее развитая ветвь и с ее нижней части брался поперечный спил. Кроме того, было сделано несколько спилов с усохших ветвей, найденных поблизости от живых кустов.

В конечном итоге было исследовано 96 спилов - 57 с живых и 39 с мертвых кустов можжевельника, у которых проанализировано 28 711 годичных колец.

Для сравнительного анализа были привлечены данные по деревьям из этого же района. Было исследовано 432 образца лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) - 148 образцов с живых и 284 с мертвых деревьев, у которых проанализировано 54 044 годичных кольца, а также 14 образцов с живых деревьев ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.), содержащих 3755 годичных колец.

При работе со стланиками на спиле невозможно выявить максимальный и минимальный радиус, проведя прямую линию от сердцевины к коре. Направление максимального прироста, наблюдаемое на поперечных спилах из разных частей ствола, периодически изменяется, так как максимальный радиальный прирост у лежащей на земле ветви наблюдается в верхней её части по направлению от поверхности почвы, в то время как в нижней части годичные кольца могут не образоваться совсем. В течение жизни куста этот процесс скручивания для отдельных ветвей повторяется многократно. На поперечном спиле можно наблюдать как максимальный прирост ширины годичного кольца резко изменяет свое направление в течение одного или нескольких лет. Ширина годичных колец у стланикового можжевельника очень мала и границы между кольцами можно четко различить лишь в направлении максимального прироста (Глазырин, Горланова, 2005). Измерение ширины годичных колец проводили вдоль извилистой линии, совпадающей с направлением максимального прироста с помощью полуавтоматического измерительного комплекса LINTAB с точностью 0,01 мм (Rinn, 1996).

Абсолютная датировка годичных колец как живых, так и отмерших можжевельников проводилась с использованием компьютерных программ (Holmes, 1983, 1994) и затем на основе визуального сравнения индивидуальных рядов. При перекрестной датировке были выявлены годы-маркеры, обнаруженные у большинства образцов. Это годичные кольца с аномалиями в анатомическом строении древесины. При датировке образцов, когда их ширина менялась от года к году незначительно, годы-маркеры играют важную роль.

Результаты перекрестной датировки показали, что самая старая живая ветвь можжевельника содержит 840 колец, а усохшие ветви и кусты отмерли от 900 до 100 лет назад. 96 индивидуальных хронологий, использованных для построения обобщенного ряда, содержали от 61 до 840 годичных колец. Длительность полученной хронологии по можжевельнику составляет 1 359 лет, с 641 по 1999 годы. Интервал с 641 по 945 годы представлен лишь одним-двумя образцами, а с 1000 года по 1999 – не менее чем девятью для каждого года.

Длительность хронологии по лиственнице составила 1357 лет (с 643 по 1999 гг.), а по ели 339 лет (с 1658 по 1996).

Расчет индексов ширины годичных колец производили при помощи метода коридора (Шиятов, 1986).

Для построения обобщенной хронологии и оценки связей радиального прироста с климатическими параметрами использовали пакет программ для исследования дендрохронологических рядов (Holmes, 1994).

Патологические структуры древесины выявляли на спилах по всей окружности годичного кольца, отмечая выраженность и расположение в пределах кольца трех типов структур: морозобойных, светлых и ложных колец.

Чтобы оценить связь индексов прироста с климатическими параметрами, были привлечены средние месячные данные 117-летних наблюдений (1883-1999 гг.) на метеостанции г. Салехард, расположенной в 60 км к востоку от района исследований. Для выявления причин, вызывающих аномалии в анатомическом строении ксилемы можжевельника, использовали данные по максимальной, минимальной и средней суточной температуре воздуха за отдельные годы на той же метеостанции.

Глава 5. РЕКОНСТРУКЦИЯ ЛЕТНЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ПО ШИРИНЕ ГОДИЧНЫХ КОЛЕЦ

Основные характеристики обобщенной хронологии по ширине годичных колец можжевельника приведены в табл. 1. В ней также для сравнения приведены данные по лиственнице и ели.

Средняя чувствительность и стандартное отклонение для хронологии по можжевельнику ниже, чем для хронологий по деревьям. Но эти величины, тем не менее, выше принятого в дендроклиматологии уровня 0,2 (Ваганов и др., 1996).

Корреляция между хронологией по можжевельнику с хронологиями по ели и лиственнице довольно слабая (табл. 2), что говорит о том, что в хронологиях по кустарнику и деревьям содержится разный климатический сигнал.

Таблица 1 – Статистические характеристики хронологий по ширине годичных колец кустарника и деревьев на Полярном Урале

Вид	Средняя ширина годичных колец, мм	Средняя корреляция между индивидуальными рядами (в скобках – общий интервал)	Средняя чувствительность	Стандартное отклонение	Коэффициенты автокорреляции	
					1 порядка	2 порядка
Juniperus sibirica	0.22	0.37 (1845-1996)	0.25	0.22	0.56	0.24
Picea obovata	0.34	0.49 (1771-1996)	0.32	0.28	0.46	0.22
Larix sibirica	0.50	0.66 (1723-1990)	0.43	0.35	0.38	0.22

Таблица 2 – Коэффициенты корреляции и синхронности между хронологиями по кустарнику и деревьям

Вид	*Juniperus sibirica*	*Larix sibirica*
Picea obovata	0.33 / 62%	0.58 / 74%
Larix sibirica	0.25 / 60%	

Чтобы оценить содержащийся в хронологиях климатический сигнал был проведен анализ функций отклика (рис. 1). В индексах ширины годичных колец можжевельника содержится информация о температуре не только летних месяцев (июнь и июль), но и весеннего (май) месяца (Хантемиров и др., 1999)

Исследование стабильности связей с климатом на основе анализа связи с климатическими параметрами отдельно в первой и второй половине периода инструментальных наблюдений (которые отличаются как средними температурами летних месяцев, так и количеством зимних осадков) показало, что вклад температуры отдельных месяцев в изменчивость прироста можжевельника в эти периоды различается. Во второй половине произошло увеличение вклада июньских и снижение вклада июльских температур. У хронологий по ели и лиственнице во второй половине произошло снижение вклада июньских температур.

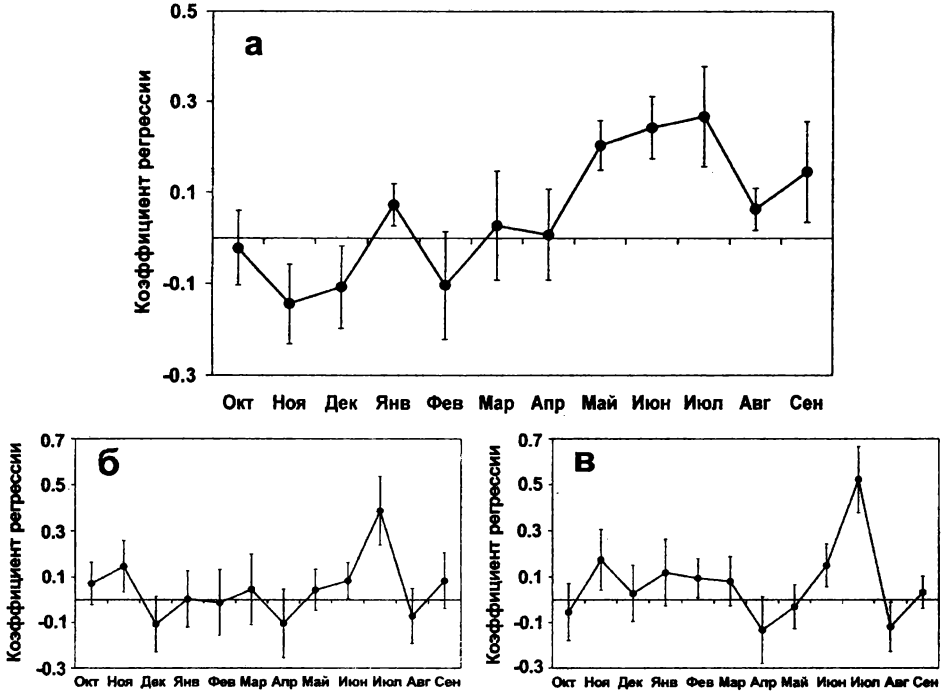
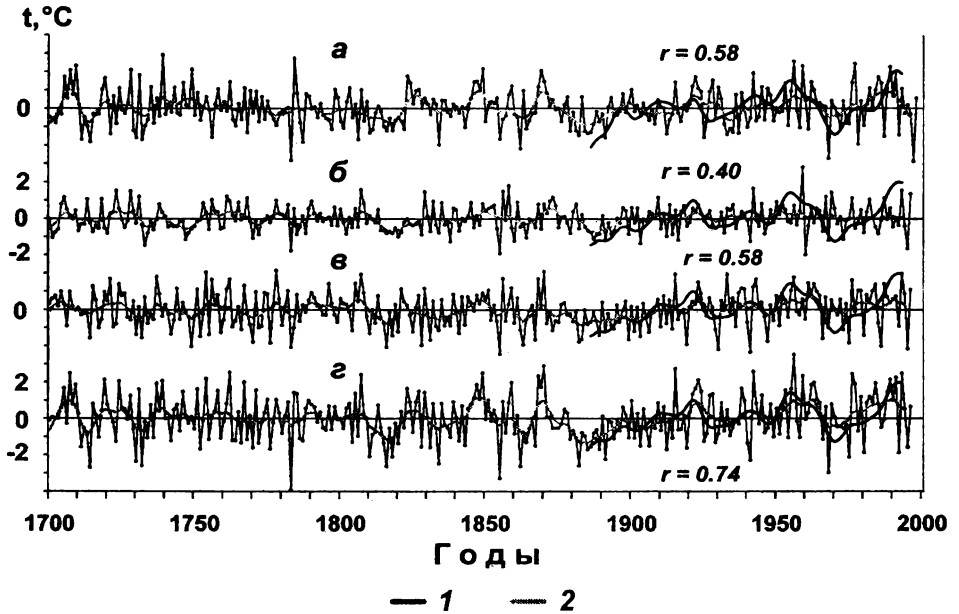


Рисунок 1 – Климатические функции отклика для обобщенной хронологии по можжевельнику (а). Для сравнения приведены соответствующие данные для ели (б) и лиственницы (в).

На рис. 2 приведено сравнение отклонений реконструированных и фактических температур воздуха от средней нормы за май-июль на основе использования хронологии по можжевельнику (а) и за июнь-июль на основе использования хронологий по ели (б) и лиственнице (в) в течение интервала времени общего для всех видов. Погодичные и многолетние изменения реконструированных и фактических летних температур достаточно синхронны несмотря на то, что объекты изучения располагаются на значительном удалении от метеостанции Салехард и в пределах другой физико-географической провинции. При этом реконструкции, произведенные на основе хронологий по можжевельнику и лиственнице более близки к ходу фактических температур по сравнению с реконструкцией, осуществленной на основе хронологии по ели.

Поскольку, прирост можжевельника стабильно реагирует в основном на температуру июня, а прирост лиственницы – на температуру июля, возникла идея

получить более надежную реконструкцию температур июня-июля при использовании данных по обоим видам. Такая реконструкция осуществлена на основе оценки параметров множественной линейной регрессии, отражающей связи между обобщенными хронологиями ширины годичных колец двух видов и средними температурами июня-июля.



1 – сглаженная фактическая температура воздуха по данным метеостанции Салехард, 2 – сглаженная реконструированная температура воздуха за соответствующие месяцы.

Рисунок 2 – Отклонение реконструированных и фактических температур воздуха от средней нормы за май-июль на основе использования хронологии по можжевельнику (а) и, для сравнения, за июнь-июль на основе использования хронологий по ели (б) и лиственнице (в). г – комбинированная реконструкция по можжевельнику и лиственнице.

Полученная реконструкция (рис. 2*г*) действительно имеет более высокие показатели сходства с инструментальными наблюдениями по сравнению с реконструкциями, полученными отдельно по можжевельнику и лиственнице. Коэффициент корреляции между фактическими и реконструированными температурами июня-июля за 1883-1995 гг. по хронологиям можжевельника с

лиственницей равен 0.74, а коэффициент синхронности равен 80%, в то время как эти показатели для реконструкции по одному можжевельнику составляют 0.58 и 70%, а по лиственнице 0.58 и 76% соответственно. Таким образом, построение комбинированной дендроклиматической реконструкции по этим видам значительно повышает ее надежность и качество.

В конечном итоге для проведения дендроклиматической реконструкции был использован последний 1000-летний отрезок хронологии, обеспеченный достаточным количеством образцов (рис. 3). На рисунке 3б показаны фактические и реконструированные изменения летних температур, полученные на основе использования обобщенных хронологий ширины годичных колец двух видов, сглаженные при помощи 20-летней средней скользящей. Как видно из рисунка, эти кривые хорошо совпадают (Шиятов и др., 2002).

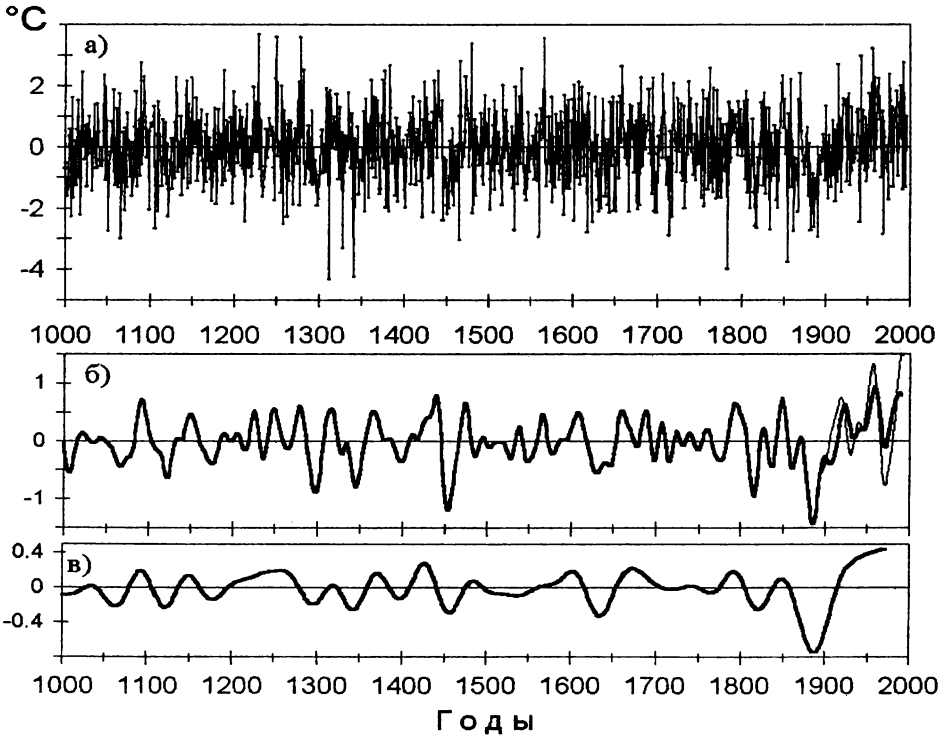


Рисунок 3 – Древесно-кольцевая реконструкция средних температур воздуха июня-июля (в отклонениях от средней для всего периода реконструкции) на Полярном Урале: а) погодичные данные; б) внутривековые колебания (тонкой линией показаны фактические изменения температуры); в) вековые колебания.

Особый интерес представляет выявление экстремально холодных летних сезонов, поскольку они оказывают исключительно большое влияние на функционирование различных компонентов северных экосистем. Самые холодные за последние 1000 лет на Полярном Урале были следующие годы: 1312 (отклонение от среднего составило -4,3°), 1328 (-3,3°), 1342 (-4,2°), 1466 (-3,0°), 1783 (-4,0°) и 1855 (-3,8°). Наиболее часто холодные летние сезоны наблюдались в XIX и XIV веках, а наиболее редко – в XII, XIII и XV веках.

Анализируя внутривековые колебания реконструированной температуры, можно отметить два исключительно холодных периода, которые наблюдались в конце XIX и середине XIV веков. Кроме того, холодные летние сезоны были в конце XIII - начале XIV веков, середине XIV и в начале XIX веков (рис. 3б). Как правило, понижение летних температур воздуха в эти периоды происходило постепенно, за исключением середины XV века, когда похолодание произошло практически мгновенно: в 1445 году средняя температура лета была выше нормы на 1,5°С, а 1446 – ниже нормы на 2,4°С и затем в течение многих лет не поднималась выше нормы (рис. 3а). Среди теплых внутривековых периодов можно отметить такие, как конец XI - начало XII веков, первая половина XV, конец XVIII и два периода в XX веке (середина и конец столетия).

Из вековых изменений климата исключительно холодный период был во второй половине XIX века, самый холодный за последние 1000 лет. Это похолодание сменилось резким повышением летних температур воздуха, которое продолжалось до конца XX века. Следует отметить, что потепление климата в XX веке на Полярном Урале было наиболее интенсивным по сравнению с другими секторами Сибирской Субарктики (Ваганов и др., 1996).

Глава 6. РЕКОНСТРУКЦИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ ПО ПАТОЛОГИЧЕСКИМ СТРУКТУРАМ

Для каждого типа патологий древесины годичных колец была разработана классификация, которая учитывала степень выраженности структуры и ее местоположение в пределах годичного кольца (Хантемиров и др., 2000).

Для **морозобойных колец** в древесине можжевельника выделено 3 градации:

слабое повреждение - проявляется только в изменении направления роста одного и более рядов трахеид;

среднее - имеется зона смятых, поврежденных клеток, за которой следует зона восстанавливающих свою форму и размеры трахеид;

сильное - когда имеются все три зоны, характерные для морозобойного кольца: зона деформированных, искривленных трахеид, зона аморфного вещества, состоящего из разрушенных клеток, и следующая за ними зона восстановления, состоящая из ненормальных по форме и величине трахеид (рис. 4).

Морозобойное повреждение можно обнаружить в любой зоне годичного кольца, причем, если повреждение произошло в самом конце вегетационного сезона и восстановительный процесс не успел закончиться, он может продолжиться весной следующего года (рис. 4). В этом случае легко ошибиться в датировке времени начала повреждения, что было ранее отмечено для хвойных деревьев (Glerum et al., 1966).

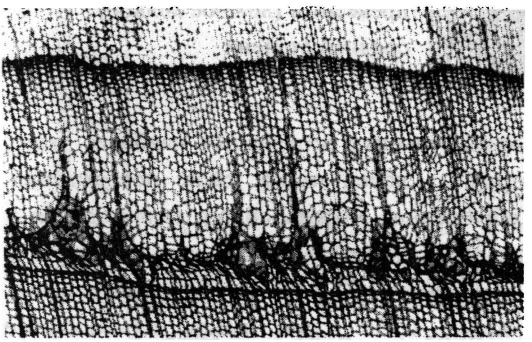


Рисунок 4 – Морозобойное повреждение сильной степени в узком годичном слое, процесс восстановления продолжился в следующем годичном кольце

Степень выраженности **светлого кольца** у можжевельника сибирского имеет всего одну градацию, когда клетки поздней древесины имеют тонкие стенки (рис. 5). Следует отметить, что у можжевельника сибирского поздняя древесина вообще выражена слабо (не более 15-20% от общей ширины годичного кольца).

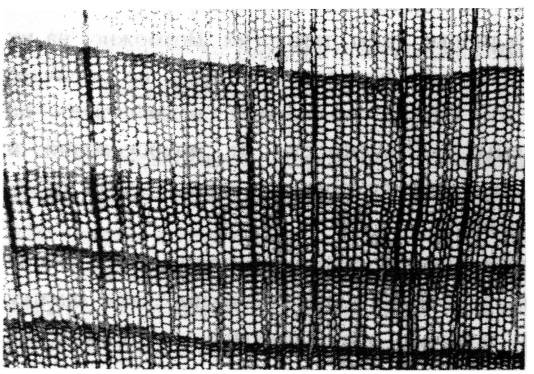


Рисунок 5 – Светлое кольцо

Флуктуация плотности древесины (ложное кольцо) может быть **слабой** - когда граница ложного кольца размыта (плавный переход от толстостенных клеток к тонкостенным) и **средней**, когда этот переход более резкий (рис. 6).

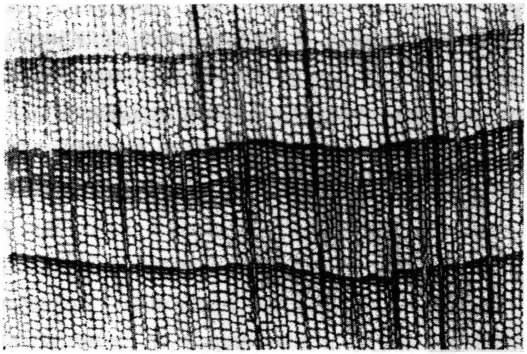


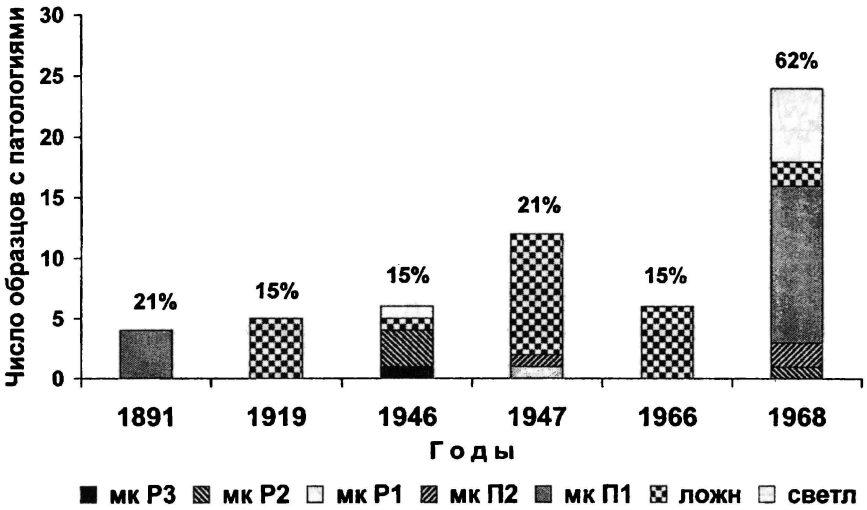
Рисунок 6 – Флуктуация плотности древесины (ложное кольцо): средней степени

Морозобойные повреждения у можжевельника встречаются наиболее часто, 2,23% от всего количества просмотренных колец имели такие повреждения. Следует отметить, что вероятность образования морозобойного повреждения у можжевельника не зависит от биологического возраста кольца, в то время как у деревьев морозобойные повреждения образуются главным образом в центральных кольцах. Поэтому у лиственницы только 0,8% колец имели морозобойные повреждения. Светлыми были 0,21% колец можжевельника, а ложными – 1, 06%.

Для выявления причин, вызывающих появление патологических структур, был проанализирован отрезок хронологии этих структур за годы, для которых имеются метеорологические данные. На рис. 7 показано, в какие годы и какие из патологических структур образовывались в летние сезоны в течение этого периода. Обращает на себя внимание тот факт, что в один и тот же год у разных особей можжевельника могут образовываться разные типы патологий. Возможно, на их образование повлияло воздействие различных внешних факторов, но логичнее предположить, что один и тот же фактор по-разному воздействует на дифференцирующиеся клетки ксилемы в зависимости от микроусловий и индивидуальных особенностей растения, таких как толщина коры, густота куста, активность камбия в данный момент времени.

Анализ данных о средних и минимальных суточных температурах воздуха на метеостанции Салехард на примере этих шести лет позволил дать оценку конкретных погодных условий, при которых образовывались патологические структуры в годичных кольцах можжевельника.

На основании этого анализа можно сделать заключение, что у можжевельника сибирского на Полярном Урале наличие морозобойных колец в ранней древесине свидетельствует о заморозках в конце июня и, вероятно, в первых числах июля, а морозобойные повреждения в поздней древесине – о заморозках в первой половине июля. Степень выраженности данной патологии зависит как от интенсивности снижения температуры, так и от фазы сезонного радиального прироста древесины у отдельных кустов во время наступления заморозка.



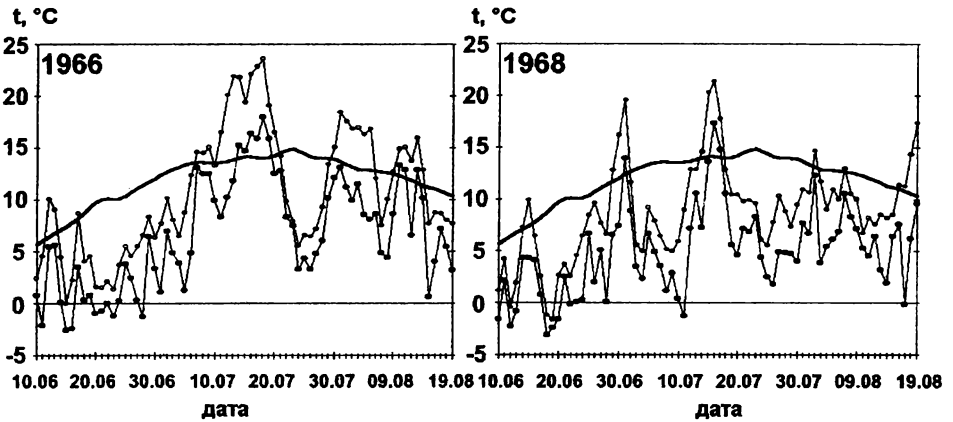
"Р" - патология в ранней древесине, "П" - патология в поздней древесине кольца, "3, 2, 1" - степень выраженности патологии от сильной до слабой. Цифры над столбиками указывают долю образцов с патологиями в соответствующем году.

Рисунок 7 – Виды патологических образований в годичных кольцах можжевельника сибирского в годы инструментальных наблюдений.

За образование флуктуаций плотности древесины в годичных кольцах ответственна последовательность «очень теплые дни – значительное и многодневное похолодание – очень теплые дни» во второй половине июля.

Светлые кольца, вероятно, являются отражением очень низкой температуры воздуха в течение всего периода вегетации. Так например, лето 1968 г. действительно было одним из самых холодных за все время инструментальных наблюдений.

На рис. 8 для примера показан ход изменений средней и минимальной суточных температур в годы, когда образовывались ложные (1966) и морозобойные (1968) кольца.



•—• - средняя суточная температура воздуха;

o—o - минимальная суточная температура воздуха;

— - многолетняя норма (за 1939-1995 гг.) средней суточной температуры воздуха.

Рисунок 8 – Ход суточных температур воздуха на метеостанции Салехард

Основываясь на этих связях, мы можем интерпретировать наличие патологических структур в годичных кольцах в терминах сильных температурных аномалий за последние тысячу лет (рис. 9). Самые суровые заморозки в первой половине июля на Полярном Урале имели место в 1109, 1259, 1278, 1328, 1453, 1466, 1481, 1601, 1783, 1857, 1882 и 1968 годах; выраженные падения температуры воздуха в середине июля были в 1555, 1610, 1621, 1919, 1947 годах.

Полученные данные по можжевельнику мы сравнили с данными по лиственнице. Годы с наибольшим количеством патологий у можжевельника и у лиственницы совпадают, но при этом основной патологией у лиственницы являются светлые кольца (9,8% от всех колец).

В некоторых работах, посвященных изучению частоты появления морозобойных и светлых колец (LaMarche, Hirschboeck, 1984; Filion et al., 1986) большое внимание уделялось выявлению связей между формированием этих патологий и глобальными понижениями температуры воздуха, наблюдавшимися после извержений вулканов. При сопоставлении результатов по образованию патологических структур у исследованных нами на Полярном Урале

можжевельников с подобными данными из других районов Северного полушария были выявлены глобальные климатические аномалии, хорошо совпадающие с похолоданиями после крупных вулканических извержений: 1109 (Гекла), 1259, 1278 (Эль Чичон), 1466 (Кюве), 1601 (Уайнапутина), 1783 (Лаки).

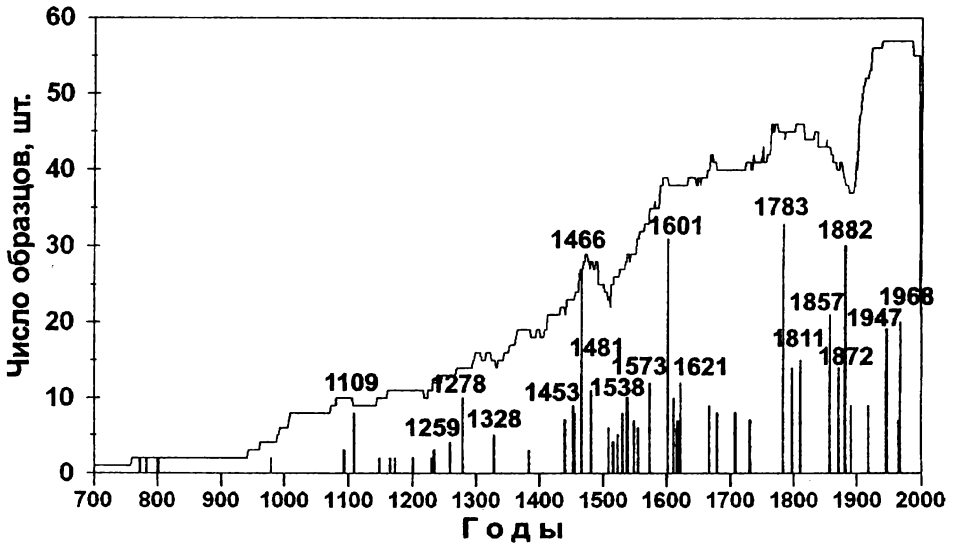


Рисунок 9 – Годы формирования патологических структур в годичных кольцах можжевельника сибирского. Ломаная линия показывает число проанализированных образцов, столбики - число образцов, у которых в данном году образовался один из типов патологий. Цифры над столбиками указывают годы с наибольшим числом образцов с патологиями (не менее трети).

ВЫВОДЫ

1. Хронологии по ширине годичных колец можжевельника сибирского, произрастающего в экстремальных климатических условиях, вполне пригодны для проведения надежных дендроклиматических реконструкций длительностью более 1000 лет.

2. В хронологиях по ширине годичных колец можжевельника содержится климатический сигнал за более длительный интервал летнего сезона (май-июль), по сравнению с хронологиями, полученными по древесным видам.

3. Комбинированная реконструкция средней температуры июня-июля на основе хронологий по ширине годичных колец можжевельника и лиственницы

имеет больше сходства с инструментальными данными, чем реконструкции по отдельным видам.

4. Причиной образования морозобойных колец у можжевельника являются заморозки в конце июня – июле; причиной образования ложных колец является резкое снижение температуры воздуха, длящееся несколько дней с последующим восстановлением благоприятных для роста условий.

5. Экстремальные климатические события на Полярном Урале, реконструированные на основе анализа патологических структур в анатомическом строении ксилемы можжевельника сибирского и лиственницы сибирской, отражают как глобальные климатические аномалии, вероятнее всего связанные с наиболее крупными извержениями вулканов (летние сезоны 1109, 1259, 1278, 1466, 1601 и 1783 гг.), так и региональные аномалии, обусловленные специфическим ходом циркуляции атмосферы над обширными районами Урала и Западной Сибири.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

- в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Хантемиров Р.М. Дендроклиматический потенциал можжевельника сибирского / Р.М. Хантемиров, С.Г. Шиятов, Л.А. **Горланова** // Лесоведение. 1999. № 6. С. 33-38.
2. Хантемиров Р.М. Патологические структуры в годичных кольцах можжевельника сибирского (Juniperus sibirica Burgsd.) и их использование для реконструкции экстремальных климатических событий / Р.М. Хантемиров, Л.А. **Горланова**, С.Г. Шиятов // Экология. 2000. № 3. С. 185-192.
3. Шиятов С.Г. Тысячелетняя реконструкция температуры лета на Полярном Урале: данные древесных колец можжевельника сибирского и лиственницы сибирской / С.Г. Шиятов, Р.М. Хантемиров, Л.А. **Горланова** // Археология, этнография и антропология Евразии. 2002. № 1(9). С. 2-5.
4. Hantemirov R.M. Extreme temperature events in summer in northwest Siberia since AD 742 inferred from tree rings / R.M. Hantemirov, L.A. **Gorlanova**, S.G. Shiyatov // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2004. Vol. 209, issues 1/4. P. 155-164.

- в прочих изданиях:

5. **Горланова** Л.А. Патологические структуры в древесине можжевельника сибирского / Горланова Л.А., Хантемиров Р.М.// Строение, свойства и качество

древесины-2000: материалы III Междунар. симп., 11-14 сент. 2000 г. Петрозаводск, 2000. С. 40-43.

6. **Gorlanova** L.A. Dendroclimatic potential of Juniperus sibirica / L.A. Gorlanova, S.G. Shiyatov, Hantemirov R.M.// Tree rings and People: Intern. Conf. on the Future of Dendrochronology, Davos, 22-26 sept., 2001: Abstr. Birmensdorf, 2001. P. 81.
7. **Горланова** Л.А. Патологические структуры в древесине хвойных как инструмент для реконструкции экстремальных климатических событий на севере Западной Сибири / Горланова Л.А., Хантемиров Р.М., Шиятов С.Г. // Труды II Международной конференции по анатомии и морфологии растений. С.-Петербург, 14-18 окт., 2002 г. СПб., 2002. С. 270-271.
8. **Горланова** Л.А. Экстремальные климатические события на Полярном Урале: тысячелетняя летопись годичных колец / Горланова Л.А. // Экологические проблемы горных территорий: материалы Междунар. экол. конф., 18-20 июня 2002 г. Екатеринбург, 2002. С. 46-49
9. Тысячелетняя летопись температуры воздуха на севере Западной Сибири по данным годичных колец можжевельника сибирского и лиственницы сибирской / Л.А. **Горланова,** Р.М. Хантемиров, С.Г. Шиятов, F.H. Schweingruber // Дендрохронология: достижения и перспективы: материалы Всерос. совещ., 27-30 окт. 2003 г. Красноярск, 2003. С. 12-13.
10. **Горланова** Л.А. Дендрохронологический мониторинг / Л.А. Горланова, В.С. Мазепа, Р.М. Хантемиров // Методы экологического мониторинга: большой спец. практикум: учеб. пособие для вузов / Урал. гос. ун-т им. А.М. Горького, Екатеринбург, 2005. С. 90-106.
11. Глазырин Г.Е. Опыт дендроклиматического исследования стланиковых можжевельников на Западном Тянь-Шане / Г.Е. Глазырин, Л.А. **Горланова** // Тр. НИГМИ. 2005. Вып. 5(250). С. 24-42.
12. **Gorlanova** L.A. Dendroclinatic investigations of Juniperus sibirica (Burgsd.) in the Polar Urals / L.A. Gorlanova, R.M. Hantemirov, S.G. Shiyatov // Climate changes and their impact on boreal and temperate forest : Intern. Conf. (june 5-7, 2006, Ekaterinburg, Russia). Ekaterinburg, 2006.P. 30-31.

Подписано в печать 27.10.2009. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 1,0
Тираж 120 экз. Заказ № 209

Отпечатано в типографии Института экономики УрО РАН
620014, г. Екатеринбург, ул. Московская, 29
Тел.: (343) 371-16-12