

*На правах рукописи*

Хантемиров Рашит Мигатович

**ДИНАМИКА ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ  
И ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА  
НА СЕВЕРЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В ГОЛОЦЕНЕ**

**03.00.16 – экология**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени  
доктора биологических наук**

**Екатеринбург – 2009**

Работа выполнена в Институте экологии растений и животных  
Уральского отделения РАН

Научный консультант: доктор биологических наук, профессор  
**Шиятов Степан Григорьевич**

Официальные оппоненты: доктор биологических наук  
**Воронин Виктор Иванович**  
доктор биологических наук, профессор  
**Санников Станислав Николаевич**  
доктор биологических наук  
**Семериков Владимир Леонидович**

Ведущая организация: **Институт леса им. В.Н. Сукачева  
Сибирского отделения РАН**

Защита состоится « 13 » октября 2009 г. в 10 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; 260-65-00

E-mail: [dissovet@ipae.uran.ru](mailto:dissovet@ipae.uran.ru)

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

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2009 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат биологических наук

Н.В. Золотарева

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Современные изменения климата и связанные с ними преобразования экосистем вызывают озабоченность общественности и споры специалистов о том, являются ли эти изменения уникальными для периода существования человеческой цивилизации, чем вызваны эти перемены – природными факторами или человеческой деятельностью и, наконец, что же нас ожидает в будущем (IPCC, 2007). Нельзя ответить на эти вопросы не зная подробной истории развития природной среды за последние тысячелетия. Поэтому сейчас во всем мире интенсивно ведутся исследования изменений климата и динамики экосистем в течение голоцена, самого последнего геологического этапа в истории Земли, насчитывающего около 10-12 тысяч лет. Особый интерес исследователей вызывают субарктические регионы, в которых климатические изменения проявляются наиболее сильно, а экосистемы очень чувствительно реагируют на эти изменения (АСИА, 2005).

В последнее десятилетие появились обобщающие работы, в которых рассматриваются современные представления об основных этапах развития субарктических экосистем в голоцене (Climate change and the..., 2008; Holocene climate variability, 2004; Holocene treeline history..., 2000). Методы, используемые авторами большинства исследований, остаются традиционными, т.е. о существовании тех или иных видов на данной территории и климатических условиях в прошлом судят по остаткам пыльцы и спор, реже по “макроостаткам” (семенам, хвое, шишкам) и еще реже по единичным “мегаостаткам” - древесине стволов, корней и ветвей деревьев и кустарников. Определение времени существования того или иного комплекса видов проводится радиоуглеродным методом. Точность данного метода в последние годы значительно выросла, однако, он является весьма дорогостоящим, поэтому исследователям приходится обходиться минимальным количеством датировок, что сказывается на достоверности выводов.

Намного реже для датирования используется дендрохронологический метод. Он позволяет определять возраст древесины с сохранившейся структурой годовых колец, а также, соответственно, слоя отложения, в котором эта древесина была найдена. Дендрохронологический метод не только гораздо более точен, чем радиоуглеродный, но к тому же и недорогой. Поэтому с его помощью можно проводить массовые датировки. Кроме того, на основе данных годовых колец можно реконструировать климатические условия того года, когда формировалось древесное кольцо.

Дендрохронологические методы в основном используют для реконструкций климата и динамики экосистем за небольшие промежутки времени, поскольку длительность жизни деревьев, и, соответственно, древесно-кольцевых хронологий для большинства районов мира относительно невелика и составляет 200-500 лет (Ваганов и др, 1996; Briffa et al., 2002).

Продление древесно-кольцевых рядов в прошлое можно проводить на основе сохранившихся остатков давно погибших деревьев. Основное ограничение для построения длительных древесно-кольцевых реконструкций связано с относительно высокой скоростью разложения древесины после гибели дерева и, как следствие, отсутствием остатков деревьев, произраставших в далеком прошлом. Однако, в некоторых субарктических районах Евразии имеются хорошо сохранившиеся остатки деревьев, погибших тысячелетия назад. Массовые находки полуископаемых деревьев отмечены на севере Западной Сибири, в аллювиальных и торфяных отложениях южной части полуострова Ямал (Шиятов, Сурков, 1990). Это один из немногих районов, где может быть осуществлена подробнейшая древесно-кольцевая реконструкция широкого спектра природных изменений в течение почти всей эпохи голоцена.

**Цель и задачи работы.** Целью работы являлась количественная и качественная реконструкция истории климата и динамики древесной растительности, представленной лиственницей сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.), елью сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) и березой извилистой (*Betula tortuosa* Ledeb.), на Ямале в голоцене с использованием дендрохронологических методов.

В задачи работы входили:

- 1) построение абсолютной хронологии по ширине годичных колец лиственницы сибирской длительностью не менее 7200 лет;
- 2) реконструкция изменений средней температуры лета за последние 7200 лет на основе анализа ширины годичных колец лиственницы;
- 3) реконструкция экстремальных температурных событий за последние 4100 лет на основе анализа аномальных анатомических структур в годичных слоях лиственницы и ели;
- 4) реконструкция пространственно-временной динамики полярной границы леса за последние 7200 лет на основе массовых дендрохронологических датировок полуископаемых деревьев и анализа географического положения датированных деревьев;
- 5) реконструкция на основе массовых дендрохронологических датировок полуископаемой древесины динамики густоты древостоев за последние 7200 лет; динамики видового состава древесной расти-

тельности за последние 4600 лет; динамики возобновления и смертности лиственницы, а также возрастной структуры лиственничных древостоев за последние 7200 лет; динамики прироста стволового запаса древесины за 7000 лет;

- б) анализ климатических факторов, определяющих динамику древесной растительности на севере Западной Сибири.

***Защищаемые положения:***

- 1) Развитие древесной растительности в голоцене на севере Западной Сибири подразделяется на три основных этапа: ранний голоцен (10500 - 7400 лет назад), средний голоцен (7400-3700 лет назад) и поздний голоцен (последние 3700 лет);
- 2) В течение последних 7200 лет на севере Западной Сибири средняя температура лета, ее изменчивость, а также интенсивность и частота экстремальных температурных событий колебались в широких пределах; при этом выявлена тенденция ухудшения условий для роста деревьев с 5150 г. до н.э. по 1850 г. н.э., но в последние 150 лет назад началось потепление, имеющее беспрецедентный характер;
- 3) Значительная часть экстремальных температурных событий в течение вегетационного сезона на севере Западной Сибири была проявлением глобальных катаклизмов, которые были вызваны крупными вулканическими извержениями;
- 4) В течение голоцена происходило последовательное отступление полярной границы леса на юг. Динамика полярной границы леса определялась как климатическими факторами, так и мозаичностью среды и особенностями биологии и экологии хвойных видов деревьев;
- 5) В последние десятилетия наблюдается интенсивное формирование новых поколений лиственницы, рост густоты древостоев и продвижение на север границы лиственничных редколесий.

***Научная новизна и теоретическая значимость.*** Впервые для азиатской Субарктики выполнены климатические и палеоэкологические реконструкции большей части голоцена на основе древесно-кольцевого анализа, которые имеют гораздо более высокое разрешение по сравнению с реконструкциями, выполненными традиционными методами, абсолютную точность датировок и обеспечены высоким числом повторностей. Это стало возможным благодаря тому, что для территории России (а также для всей территории Азии) построена самая длительная древесно-кольцевая хронология, охватывающая период с 7313 г. до н.э. по 2005 г. н.э. На ее основе, используя данные по ширине древесных колец, для территории Азии впервые проведена реконструкция средней температуры лета длительностью более 7000 лет. Проведена самая дли-

тельная (4100 лет) для территории Евразии реконструкция экстремальных температурных событий на основе анализа аномальных анатомических структур в годичных кольцах деревьев.

Впервые для территории азиатской Субарктики выполнена пространственно-временная реконструкция полярной границы леса, густоты древостоев и других параметров древесной растительности на основе массовых и точных дендрохронологических датировок длительностью более 7000 лет

***Обоснованность и достоверность результатов исследования.***

Работа выполнена в лаборатории дендрохронологии ИЭРиЖ УрО РАН, известной своими давними традициями дендроклиматических исследований на севере Западной Сибири, заложенными с начала 1960-х годов ее руководителем С.Г.Шиятовым. За это время накоплен огромный опыт построения древесно-кольцевых хронологий и реконструкции на их основе климатических и экологических показателей, разработан ряд новых методов обработки индивидуальных дендрохронологических рядов и их анализа, созданы оригинальные программные продукты.

Выводы основаны на большом материале, включающем в себя сведения о более чем тысяче деревьев и характеристиках сотен тысяч древесных колец.

***Практическая значимость.*** Результаты реконструкции летней температуры воздуха и динамики древесной растительности на Ямале в течение последних тысячелетий использованы при анализе закономерностей изменений температуры в северном полушарии и оценке современных климатических тенденций для выработки рекомендаций полномочным органам (Briffa, 2000; ACIA, 2005).

7300-летняя хронология по ширине годичных колец для Ямала используется для датировки исторической и археологической древесины на территории севера Западной Сибири (Шиятов, Хантемиров, 2000, 2005; Итоги и перспективы..., 2000; Дендрохронологические датировки..., 2005).

Результаты исследований используются при чтении курса «Дендрохронология» на биологическом факультете УрГУ и лесохозяйственном факультете УГЛТУ (Методы дендрохронологии..., 2000; Горланова и др., 2005).

***Личный вклад соискателя.*** Представленная диссертационная работа является обобщением результатов многолетней (с 1991 г.) работы автора. Все выносимые на защиту результаты и положения получены либо соискателем, либо при его непосредственном участии. Автором определены задачи, подготовлена программа исследований, выполнена

работа по планированию, выбору и обоснованию методов. Сбор полевого материала проведен совместно с сотрудниками лаборатории дендрохронологии ИЭРиЖ УрО РАН. Обработка, датировка, анализ и обобщение полученных результатов проведены лично.

**Апробация работы.** Основные результаты и положения работы были представлены и обсуждались на 12 международных конференциях: “Tree-Rings, Environment and Humanity”, Tucson, Arizona, May 17-21, 1994; “Past, Present and Future Climate”, Helsinki, Finland, 22-25 August 1995; “Spatial-Temporal Dimensions of High-Latitude Ecosystem Change”, Krasnoyarsk, Russia, September 1-7, 1997; “Past Global Changes and their Significance for the Future” London, UK, April 20-23, 1998; French-Russian scientific seminar, Ekaterinburg, Russia, October 11-15, 2001; “Tree rings and People”, Davos, Switzerland, September 22-26, 2001; “High Latitude Paleoenvironments”, Moscow, Russia, May 16-17, 2002; Всемирная конференция по изменению климата, Москва, Россия, 29 сентября -3 октября 2003 г.; “Paleoclimate, Environmental Sustainability and our Future”, Beijing, China, August 10-12, 2005; “Climate changes and their impact on boreal and temperate forests” Ekaterinburg, Russia, June 5-7, 2006; “Holocene History of the Northern Treeline”, New York, USA, June 26-27, 2006; “Криогенные ресурсы полярных регионов”, Салехард, Россия, 17-21 июня, 2007; и на 5 всероссийских и региональных конференциях: “Проблемы общей и прикладной экологии”, Екатеринбург, 23-25 апреля 1996 г.; “Реакция растений на глобальные и региональные изменения природной среды” Иркутск, 25-29 сентября 2000 г.; “Фундаментальные исследования взаимодействия суши, океана и атмосферы”, Москва, 30 октября – 1 ноября 2002 г.; “Экстремальные криосферные явления: фундаментальные и прикладные аспекты”, Пущино, 13-15 мая 2002 г.; “Дендрохронология: достижения и перспективы”, Красноярск, 27-30 октября 2003.

**Публикации.** Основное содержание и защищаемые положения отражены в 46 работах, в том числе в 12 статьях в журналах, включенных в перечень научных изданий ВАК.

**Объем и структура диссертации.** Диссертационная работа изложена на 268 страницах, состоит из введения, семи глав, выводов, списка литературы (217 наименований, из них 124 на английском языке) и приложения; иллюстрирована 62 рисунками и содержит 8 таблиц.

**Благодарности.** Работа не могла быть выполнена без участия д.б.н., проф. С.Г.Шиятова, автора идеи о возможности использования полуископаемой древесины на Ямале для климатических и палеоэкологических реконструкций; А.Ю.Суркова, бессменного участника экспедиционных работ по сбору образцов с живых и

полуископаемых деревьев на Ямале с 1986 г., выполнившего также основную работу по измерению ширины годичных колец на собранных образцах; Л.А.Горлановой, проводившей анализ аномальных анатомических структур в древесных кольцах.

## **Глава 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ИЗУЧЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА И ДИНАМИКИ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ СУБАРКТИКИ В ГОЛОЦЕНЕ**

В главе приводится краткий обзор литературы по теме диссертации. Рассматриваются источники данных об изменениях климата и динамики растительности в голоцене (инструментальные данные, исторические документы, изотопные методы, анализ озерных отложений, споропыльцевой анализ, древесно-кольцевой метод). Проведен сравнительный анализ достоинств и недостатков различных методов, показана перспективность использования дендрохронологических методов. Особое внимание уделено реконструкциям условий среды в голоцене на севере Западной Сибири. Отдельный раздел посвящен обзору работ по построению сверхдлительных древесно-кольцевых хронологий и их использованию для климатических и палеоэкологических реконструкций. В заключение главы описана история построения свехдлительной древесно-кольцевой хронологии на Ямале.

## **Глава 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ**

В связи с суровыми климатическими условиями и краткостью вегетационного периода растительный покров Ямала представляет собой сочетание разных типов тундр, болот и лугов. Леса на большей территории Ямала отсутствуют. Лишь в южной части полуострова лесная растительность языками вклинивается в глубь тундры по долинам некоторых рек, которые текут с севера на юг. В среднем течении этих рек на надпойменных террасах распространены лиственничные и елово-лиственничные редколесья. Сомкнутые леса (лиственничники и ельники-лиственничники с березой извилистой) имеют островное распространение и приурочены к долинам нижнего течения рек Южного Ямала (Природа Ямала, 1995, Полуостров Ямал..., 2007). Наиболее северные массивы таежного типа расположены в долинах рек Танловы, Хадытаяхи и Ядаяходьяхи и их крупных притоков. Для лесных массивов характерно образование на молодом аллювии высокоплотных и продуктивных древостоев, не типичных для высоких широт. В речных долинах имеются наиболее благоприятные для роста деревьев микроклиматические и почвенно-грунтовые условия. Долинные местообитания наиболее защи-



щены от сильных ветров и в то же время в зимний период покрываются достаточно мощным снеговым покровом. В сочетании с обогревающим влиянием текущих вод и слабым развитием мохово-лишайникового покрова это приводит к тому, что в летнее время термический режим почвогрунтов в долинных местообитаниях, особенно в пойменных, наиболее благоприятен для произрастания древесной растительности.

Самое северное положение в долинах рек Южного Ямала среди деревьев занимает лиственница сибирская. На три десятка километров южнее, но только в долине р. Хадыта-яхи, произрастает ель сибирская. На других реках Южного Ямала ель встречается только в единичных экземплярах. Еще южнее в составе древесной растительности в долинах рек появляется береза извилистая.

Полуостров Ямал является одним из немногих районов мира, где в массовом количестве имеются хорошо сохранившиеся остатки полуископаемых деревьев. Пни и стволы погибших деревьев можно найти на дневной поверхности и в торфяных отложениях. Однако, самым важным источником полуископаемой древесины (часто даже в виде почти полностью сохранившихся стволов с корой, корнями и крупными ветвями) являются аллювиальные отложения. Остатки погибших деревьев встречаются не только в пределах современной границы леса, но и на десятки и сотни километров севернее. Обилие полуископаемой древесины в аллювиальных отложениях в южной части полуострова Ямал объясняется очень интенсивной боковой эрозией песчаных берегов рек. Живые деревья, растущие вдоль речных террас, подмываются и падают в потоки воды. Упавшие в реку деревья остаются на дне реки вблизи места своего произрастания. Через несколько лет эти деревья замываются песком и илом. Поскольку русло реки все время меняется, эти замытые деревья вскоре оказываются вдали от реки в слоях многолетней мерзлоты. Полуископаемая древесина лежит обычно на 5-6 метров ниже уровня поверхности и может быть обнажена рекой, возможно через много сотен или тысяч лет, когда русло реки вновь вернется на это место, но уже углубившись.

Систематический сбор образцов полуископаемой древесины начался в 1982 г. в бассейнах рек Хадыта, Яда-яходыяха, Порца-яха и Танлова на южном Ямале в районе, расположенном между  $67^{\circ}00'$  и  $67^{\circ}50'$  с.ш. и  $68^{\circ}30'$  и  $72^{\circ}00'$  в.д. (рис. 1). Эти реки текут с севера на юг, следовательно здесь не может происходить перенос древесины с южных районов на север. Кроме того, сбор образцов был также проведен в районах, находящихся в десятках километрах к северу от современной границы древесной растительности (до  $69^{\circ}$  с.ш.), в зоне южных тундр: в

бассейне р. Юрибей и его притоков, а также в низовьях рек Паюта и Ёркута и по берегам ближайших озер.

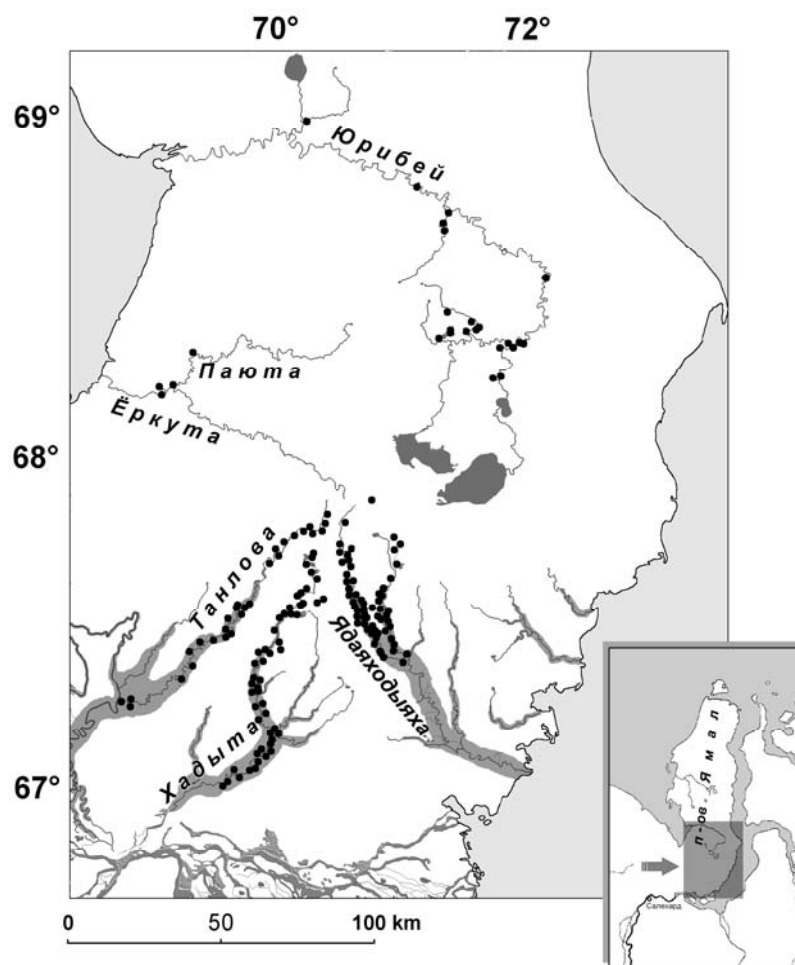


Рисунок 1 – Места сбора полуископаемой древесины. Серым цветом вдоль рек в южной части полуострова показана территория, занимаемая древесной растительностью.

Работы по сбору материала проводились в течение 17 полевых сезонов. К настоящему времени собраны поперечные спилы с 3458 деревьев: со стволов и, в редких случаях, корней полуископаемых лиственниц, елей и берез. Наибольшую долю этих образцов составляет лиственница сибирская (около 95%), гораздо меньше ели сибирской (около 4%) и березы извилистой (около 1%). Большинство образцов древесины содержали 60-120 колец, максимальное число колец, обнаруженных у одного образца, было равным 501, среднее число для всех образцов равно 125.

Для абсолютной датировки полуископаемых образцов и для продления древесно-кольцевых хронологий до современности при помощи возрастного бура были взяты образцы древесины с живых деревьев различного возраста. Всего керны древесины собраны со 120 стволов лиственниц. В долине р. Хадыты были также отобраны буровые образцы с 20 стволов елей, которые были использованы только для анализа аномальных анатомических структур в древесных кольцах.

Для анализа хода роста были взяты спилы с основания ствола и далее через метр с 13 живых лиственниц, а также с 13 наиболее сохранив-

шихся остатков полуископаемых стволов лиственниц. Эти образцы были использованы при реконструкции динамики прироста запаса древесины.

Измерение ширины годовых колец проводилось с помощью полуавтоматического комплекса LINTAB с точностью 0,01 мм.

Данные по ширине годовых колец были использованы для дендрохронологической датировки. Этот метод датирования основан на том, что в одном климатическом районе деревья, как правило, показывают достаточно синхронное изменение ширины годовых колец. Чередование узких и широких колец неповторимо во времени, поэтому совместить графики изменения ширины годовых колец у сравниваемых образцов можно лишь в пределах строго определенного участка дендрохронологической шкалы. Метод перекрестного датирования – это сравнение рисунка ширины колец у дерева неизвестного возраста с мастер-хронологией (древесно-кольцевой хронологией известного временного интервала) и выбор точного места, где соответствие между ними найдено.

На первом этапе датировались живые деревья. Хотя год формирования последнего кольца у этих деревьев известен, перекрестная датировка необходима для выявления выпавших и ложных колец. В качестве мастер-хронологии была использована хронология по живым деревьям, построенная ранее С.Г.Шиятовым (1984). На основе точно датированных индивидуальных рядов прироста была построена временная усредненная хронология по живым деревьям. Затем начался этап наложения ближайших по времени индивидуальных хронологий по отмершей (полуископаемой) древесине к хронологии по живым деревьям. Определить, какие из собранных образцов подойдут для этих целей, можно только на основе результатов перекрестной датировки всех индивидуальных хронологий неизвестного возраста с обобщенной хронологией по живым деревьям. Учитывая большое количество образцов, это можно было сделать только при помощи компьютерных программ. По мере того как выявлялись образцы, периферийная часть которых датировалась с хронологией по живым деревьям, строили обобщенную хронологию, совмещающую данные по живым деревьям и по отмершей древесине. Затем процедуру перекрестной датировки со всеми оставшимися образцами последовательно повторяли, каждый раз используя новую удлиненную хронологию. В процессе перекрестной датировки попутно происходило выявление выпадающих и ложных колец.

В результате этой работы была построена абсолютная древесно-кольцевая хронология по лиственнице длительностью 7319 лет. Ямальская древесно-кольцевая хронология является одной из самых длительных древесно-кольцевых хронологий мира. Работа над ее

продлением и повышением надежности продолжается, вполне вероятно, что в ближайшие годы ее длительность достигнет 9,5 тысяч лет.

Хронология является уникальным инструментом при выполнении различного рода реконструкций. Во-первых, она содержит очень сильный климатический сигнал, самый значительный среди всех хронологий в мире аналогичной длительности, с ее помощью можно с точностью до года реконструировать различные показатели температуры воздуха летних сезонов. Во-вторых, с ее помощью можно проводить массовые и очень точные датировки времени жизни деревьев, остатки которых сохранились в аллювиальных и торфяных отложениях и на поверхности. Такие датировки позволяют провести реконструкцию динамики различных параметров древесной растительности.

Следует особо оговорить, что в этой работе даты формирования древесных колец приведены в т.н. «дендро-годах». Эта система отличается от общепринятой системы летоисчисления тем, что для удобства обработки данных между 1 годом н.э. и 1 годом до н.э. имеется еще и нулевой год. Т.е. нулевой год в «дендро шкале» соответствует 1 г. до н.э. в григорианской системе счета времени, и далее все года до н.э. смещены на один год вперед.

Для климатической реконструкции на основе ширины годичных колец были использованы данные измерений 1103 деревьев: 120 индивидуальных рядов по живым лиственницам и 983 по полуископаемым, что составило более 148 тысяч колец по полуископаемым деревьям и более 16 тысяч колец по живым. Для сохранения однородности реконструкции в дендроклиматический анализ не были включены образцы, собранные севернее 68° с.ш. Распределение образцов во времени для этого типа анализа показано на рис. 2.

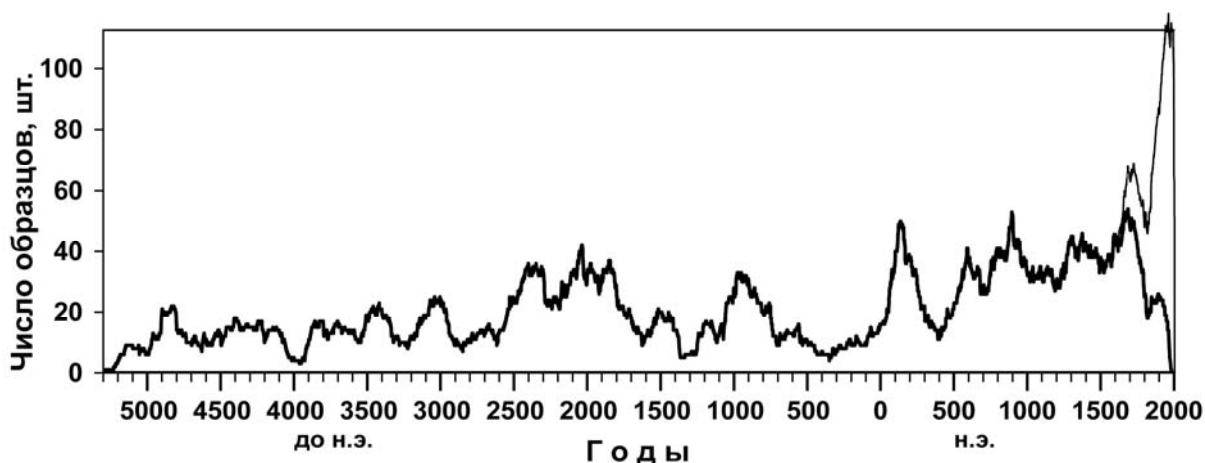


Рисунок 2 – Распределение числа образцов древесины, использованных для климатической реконструкции на основе ширины годичных колец (тонкой линией показана доля образцов с живых деревьев)

Для устранения возрастного тренда был использован метод региональных кривых (Briffa et al., 1992), который сохраняет различия между скоростью роста деревьев, которые существовали в различные климатические эпохи, т.е. позволяет выявлять длительные колебания прироста, превышающие время жизни отдельных деревьев.

Для реконструкции экстремальных температурных событий мы использовали три типа повреждений нормальной анатомической структуры годичных колец: морозобойные повреждения (морозобойные кольца), флуктуации плотности древесины (ложные кольца) и светлые кольца. Морозобойные кольца образуются при заморозках, т.е. снижении температуры воздуха до отрицательных значений в период активности камбия и роста клеток ксилемы. Ложное кольцо возникает при сравнительно долговременном (одна-две недели) понижении температуры воздуха в течение вегетационного сезона и последующей нормализации условий. Формирование светлых колец у лиственницы связано с низкой средней температурой июля-августа, т.е. второй половины вегетационного сезона. Кроме того, для выявления экстремальных летних сезонов использовались «выпадающие кольца», т.е. отсутствие прироста древесины на измеряемом спиле в какой-либо год, а также чрезвычайно узкие кольца.

Реконструкция экстремальных температурных событий выполнена для периода с 2100 г. до н.э. по 2000 г. н.э. Анализ аномальных структур проводился в основном по древесине лиственницы сибирской, а также, в незначительной степени, ели сибирской. Всего для анализа аномальных структур было использовано 568 образцов лиственницы (из них 506 полуископаемых) и 49 образцов ели (из них 29 полуископаемых), в которых просмотрено, соответственно, около 73 тысяч и 10 тысяч колец. Распределение образцов во времени для этого типа анализа показано на рис. 3.

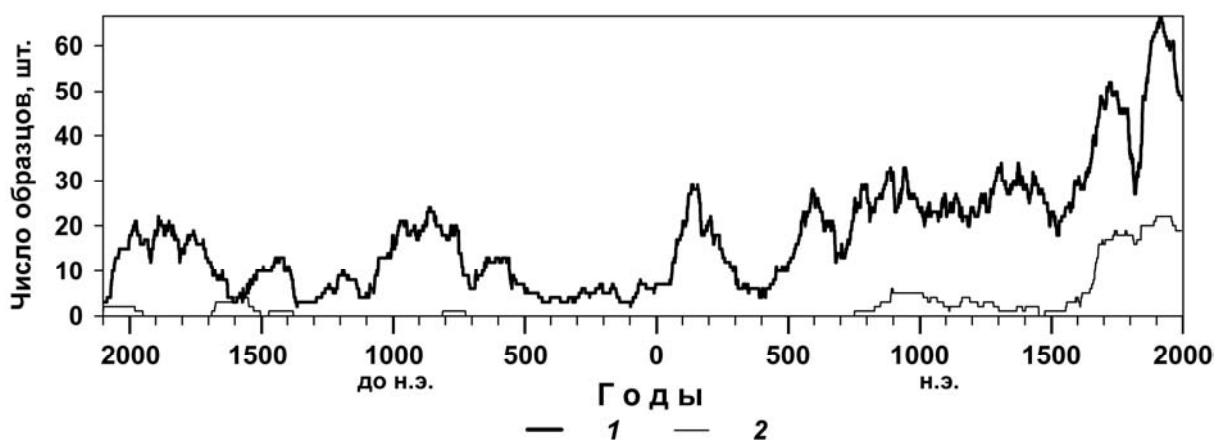


Рисунок 3 – Распределение числа образцов древесины, использованных для анализа аномальных структур в годичных кольцах двух видов деревьев. 1- лиственница, 2 – ель.

Реконструкция динамики различных характеристик древесной растительности, таких как положение северной границы распространения деревьев, видового состава, густоты древостоев и т.д., проведена на основе массовых дендрохронологических датировок остатков полуископаемых деревьев. С высокой точностью (дата гибели с точностью до года, дата появления с точностью до 5-10 лет) были определены интервалы жизни около полутора тысяч деревьев. Для реконструкции различных параметров древесной растительности использованы данные от 1300 до 1500 деревьев.

Благодаря тому, что географические координаты каждой находки полуископаемой древесины были зафиксированы, удалось представить интервалы жизни отдельных деревьев распределенных вдоль широтного градиента. Это распределение стало основой для реконструкции динамики полярной границы леса. На основе определения дат образования сердцевинных и периферийных колец на спилах, взятых с полуископаемых образцов лиственницы, выявлена динамика возобновления и смертности лиственницы.

При реконструкции динамики общего объемного прироста было принято, что число найденных нами деревьев в аллювиальных отложениях для различных периодов отражает степень густоты древостоев. Было также сделано допущение, что во всех случаях место взятия спила с полуископаемых остатков находится близко к основанию ствола. Далее для оценки закономерностей роста деревьев в высоту были использованы данные о ходе роста 13 живых и 13 полуископаемых модельных деревьев. Была выявлена очень высокая корреляция между приростом дерева по диаметру (на высоте 0,2 м) и по высоте (коэффициент корреляции = 0,97). При этом не было обнаружено различий в закономерностях хода роста современных деревьев и тех, что произрастали в прошлом.

Затем для каждого из датированных полуископаемых деревьев для каждого десятого года были рассчитаны диаметр на высоте 0.2 м, его высота и объемный прирост за предыдущее десятилетие. Объем рассчитывался исходя из упрощенного предположения, что ствол имеет форму конуса. Сумма объемного прироста всех деревьев за определенное десятилетие была принята мерой прироста запаса древесины в это десятилетие.

Для предварительной оценки распределения полуископаемых образцов во времени было выполнено 55 радиоуглеродных датировок 53 полуископаемых деревьев (51 лиственницы и 2 елей). Радиоуглеродный анализ и калибровка полученных данных были выполнены Н.Г.Ерохиным

в лаборатории популяционной и исторической экологии Института экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург (11 датировок) и под руководством проф. Н.Н.Loosli в радиоуглеродной лаборатории Физического института Бернского университета, Швейцария (44 датировки).

Исследования современной динамики лиственничных древостоев проводили в экотоне полярной границы леса в долине р. Ядаяходьяха. Пробные площади выбирали на первых надпойменных террасах высотой 4–6 м, что обеспечивало отсутствие влияния на динамику возобновления изучаемых древостоев такого фактора в долинах рек, как появление свежих речных наносов. Пробная площадь 1 была заложена в районе произрастания самых северных лиственниц, остальные располагались ниже по течению реки на различных расстояниях (до 22 км) от границы леса. На каждой из пробных площадей размером 25x25 м для определения даты появления дерева были взяты образцы древесины (керны) со всех живых деревьев диаметром на высоте груди не менее 4 см, что соответствует по высоте не менее 3 м. Образцы брали на высоте 10–20 см от поверхности земли. Кроме того, в пределах площадки со всех погибших деревьев диаметром не менее 4 см для определения интервалов жизни брали спилы со стволов на высоте 10 см. На 10 пробных площадях собраны образцы с 220 живых и 122 погибших деревьев.

Для калибровки данных по ширине годовых колец, анализа причин, вызывающих формирование аномальных анатомических структур, а также для анализа климатических факторов, определяющих формирование возрастных поколений лиственницы на Ямале в XX веке, были использованы суточные данные за 1882-2008 гг. по метеостанции Салехард, расположенной в 150 км на юго-запад от района исследований.

### **Глава 3. ОБЩАЯ СХЕМА РАЗВИТИЯ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ЯМАЛЕ В ГОЛОЦЕНЕ**

В данной главе представлены результаты реконструкции общих черт динамики древесной растительности на Ямале, проведенной на основе радиоуглеродных датировок полуископаемых остатков древесины (Хантемиров, Шиятов, 1999а, 1999б; Kremenetski et al., 1998; Hantemirov, Shiyatov, 2002). Кроме того, для анализа истории развития древесной растительности на Ямале привлечены литературные данные.

Абсолютный возраст самых старых наших находок полуископаемой древесины достигает 9200-9400 лет (здесь и далее приводятся откалиброванные даты). Радиоуглеродные датировки, полученные другими

авторами, свидетельствуют о том, что древесная растительность появилась на Ямале не позднее, чем 10500 лет назад (Васильчук и др., 1983). Имеются указания на существование деревьев на среднем Ямале 12-15 тысяч лет назад (Трофимова, Корона, 1996). Из наших данных следует, что лиственница появилась на Ямале не позднее, чем 9400 лет назад, а ель не позднее, чем 7500 лет назад. С тех пор лиственница и ель постоянно здесь произрастали, переживая холодные периоды в наиболее благоприятных микроклиматических и почвенно-грунтовых условиях (рефугиумах), какими, в частности, являются участки речных долин. Во все периоды голоцена лиственница сибирская преобладала в составе лесов и редколесий, особенно на плакорных местообитаниях.

Дальше всего на север древесная растительность продвигалась в начале голоцена (9400 - 7400 лет назад). При этом много остатков деревьев такого возраста было найдено вне речных долин. Эти остатки были извлечены из-под оснований реликтовых торфяников, которые формировались на наиболее возвышенных элементах рельефа (50-60 м над ур. м), т.е. на плакорных местообитаниях, которые менее благоприятны для произрастания древесной растительности по сравнению с долинными. Так, например, в настоящее время полярная граница распространения хвойных видов деревьев вне речных долин проходит на 50-70 км южнее положения самых северных деревьев, произрастающих в долинах рек.

Известные из литературы данные (Васильчук и др., 1983) также свидетельствуют о том, что самые северные (400 км к северу от современной границы редколесий) из датированных по радиоуглероду древесных остатков относятся к рассматриваемому периоду. Есть все основания сделать заключение о том, что этот период голоцена был самым благоприятным для произрастания древесной растительности на Ямале.

Затем полярная граница хвойных редколесий отступила к югу и в течение довольно длительного интервала времени (7400 - 3700 лет назад) смещалась незначительно. Однако, она располагалась в среднем на несколько десятков километров севернее по сравнению с ее современным положением. Наиболее северные из датированных радиоуглеродным методом древесных остатков этого периода обнаружены в верховьях р. Юрибей (примерно 68°20' с.ш.), в 50-70 км к северу от современной границы распространения древесной растительности (Васильчук и др., 1983).

В начале второго тысячелетия до н.э. произошел значительный сдвиг к югу полярной границы распространения хвойных видов деревьев. В течение последних 3700 лет полярная граница редколесий занимала



наиболее южное в течение всего голоцена положение. Лиственничные и елово-лиственничные редколесья произрастали в основном в долинных местообитаниях, расположенных в среднем и нижнем течении изученных рек.

Таким образом, имеющаяся в нашем распоряжении информация о местонахождении датированных по радиоуглероду остатков древесных растений на Ямале, характеризующая изменения широтного положения полярной границы распространения лесотундровых редколесий, свидетельствует в пользу расчленения голоцена на следующие три хронологических отрезка: ранний голоцен (10500 - 7400 лет назад), средний голоцен (7400-3700 лет назад) и поздний голоцен (последние 3700 лет).

Для суждения о благоприятности условий для произрастания древесной растительности и степени облесенности территории могут быть использованы данные о количестве датированных радиоуглеродным методом остатков деревьев в тот или другой интервал времени. Первый, самый древний пик приходится на период между 7200-6000 гг. до н.э. Этот временной интервал можно рассматривать как наиболее благоприятный для древесной растительности на Ямале, когда деревья произрастали не только в долинах рек, но и на плакорных местообитаниях. Это дает нам основание сделать заключение о том, что в это время облесенность рассматриваемой территории была наиболее высокой в пределах голоцена. Два других скопления радиоуглеродных дат, между 5200-4500 и 3900-1700 гг. до н.э., свидетельствуют о том, что эти периоды были самыми благоприятными (особенно второй) для произрастания древесных растений в среднем голоцене. В позднем голоцене, который характеризуется низким обилием деревьев, на основе анализа радиоуглеродных дат можно выделить следующие три относительно благоприятных для роста деревьев периода: 1200-900 гг. до н.э., 100 г. до н.э. - 200 г. н.э. и 800-1400 гг. н.э. Последний период хорошо совпадает по времени со средневековым потеплением климата, которое происходило в Европе и других районах земного шара. Неблагоприятными для произрастания древесной растительности на Ямале были 6000-5500, 4500-3900, 1600-1200, 800-200 гг. до н.э. и 200-700 гг. н.э.

#### **Глава 4. ИЗМЕНЕНИЯ СРЕДНЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЛЕТА**

Известно, что в высоких широтах ширина годичных колец хорошо коррелирует с температурой лета, главным образом первой его половины (Ваганов и др., 1996). Чтобы установить, температура какого именно периода в теплое время года влияет на прирост наибольшим образом, мы

сравнили данные по ширине годовых колец с данными наблюдений за температурой воздуха по пятидневкам с 1 июня по 30 августа на метеостанции Салехард (рис. 4).

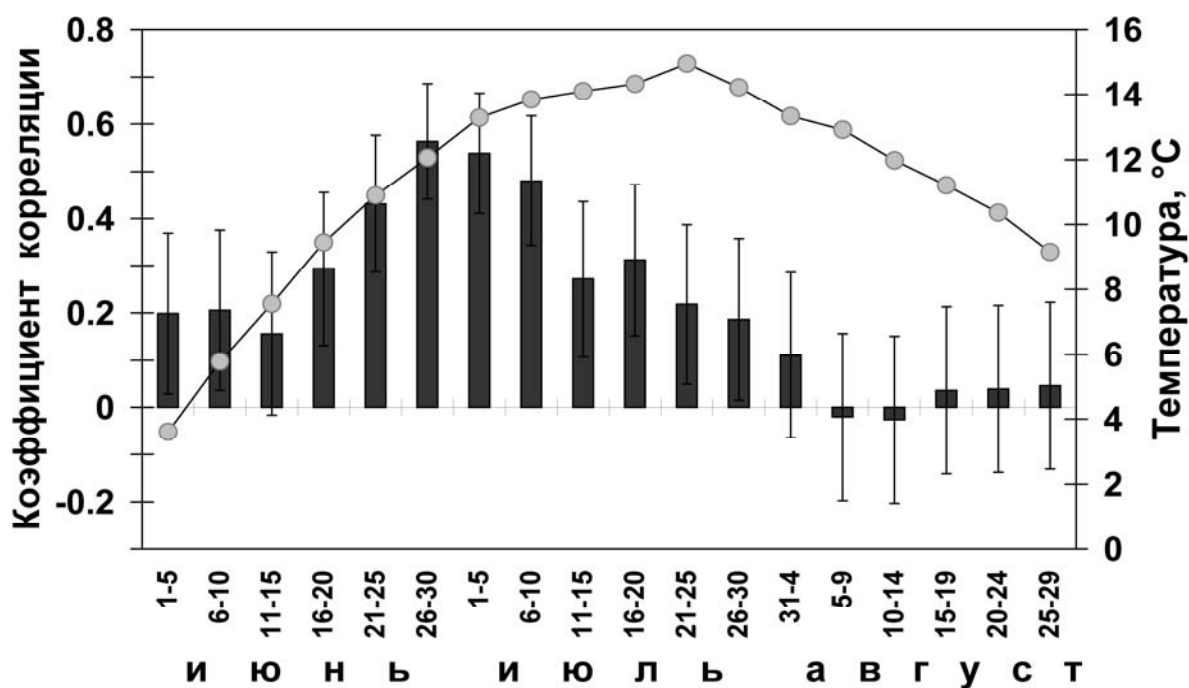


Рисунок 4 – Коэффициенты корреляции (столбики) индексов ширины годовых колец и средней температуры воздуха по пятидневкам на метеостанции Салехард. Линия с маркерами – ход температуры воздуха по пятидневкам

Наибольшее влияние на прирост годовых колец лиственницы оказывают температура воздуха в период с 16 июня по 30 июля. Коэффициент корреляции между индексами ширины годовых колец и средней температурой в указанный период равен 0,71, доля объяснимой дисперсии 58,1%. Поэтому в качестве предиктанта была использована средняя температура этого периода.

Древесно-кольцевая реконструкция средней летней температуры воздуха (сглаженные данные) для периода с 5150 г. до н.э. (данные за более ранние периоды обеспечены недостаточным числом образцов) по 2005 г. н.э. представлена на рис. 5. Данные приведены в виде отклонений от средней для всего периода реконструкции температуры.

В пересчете на район исследований средняя температура лета (с 16 июня по 30 июля) за последние 7 с лишним тысяч лет составила около 10°C. Реконструированные отклонения температуры от этой средней для отдельных лет меняются в пределах от -2,4° (в 1818 г. н.э.) до +4,2°C (в 427 г. до н.э.).

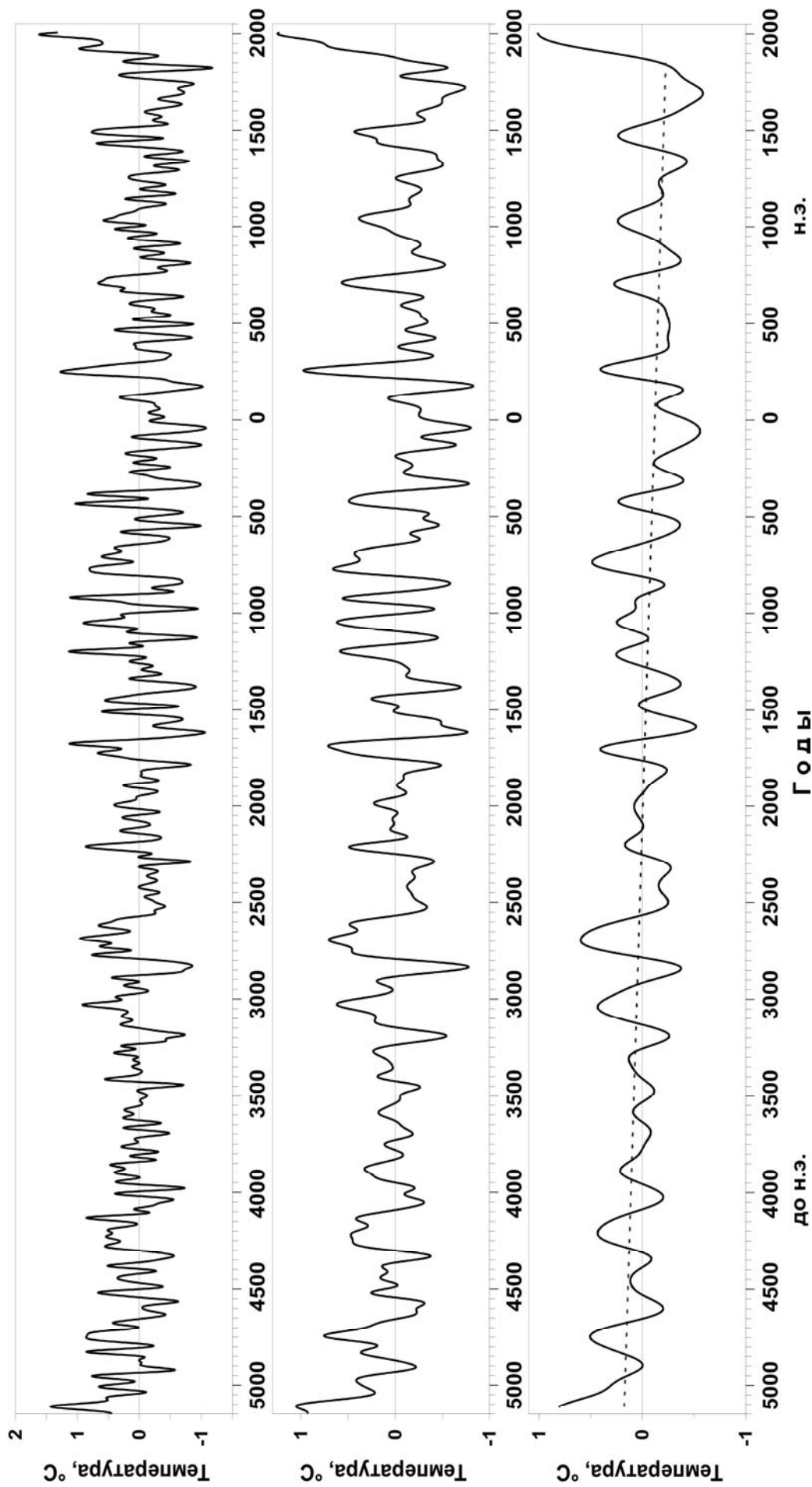


Рисунок 5 – Реконструкция температуры лета на Ямале. Данные представлены в виде отклонений от среднего значения после сглаживания 50-, 100- и 200-летним фильтрами. На нижнем графике пунктирной линией показан линейный тренд изменения температуры с 5150 г. до н.э. по 1850 г. н.э.

Климатическая реконструкция разрешением в один год позволяет выявить динамику не только средней температуры лета, но и ее межгодовой изменчивости. Она показана на рис. 6. В качестве меры изменчивости использовано значение стандартного отклонения за 100-летние интервалы времени.

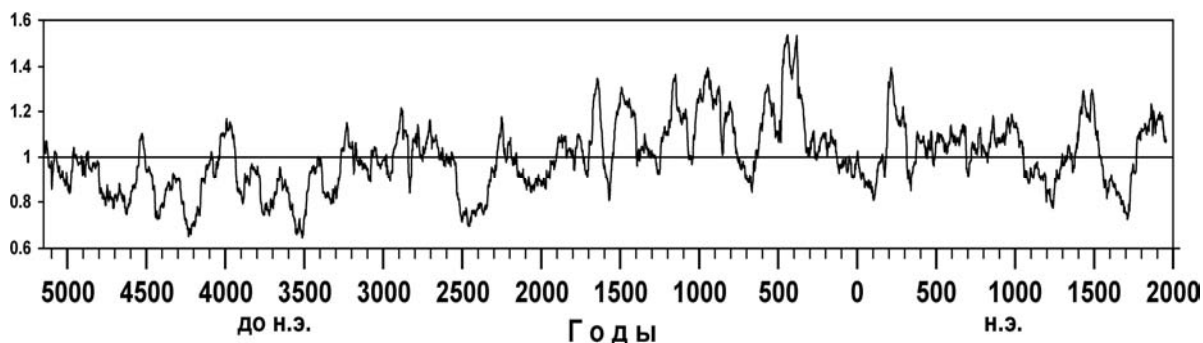


Рисунок 6 – Межгодовая изменчивость летних температур, выраженная в скользящих значениях стандартного отклонения за 100-летние интервалы

Очевидно, что периоды с низкой изменчивостью летних температур, т.е. с относительно стабильными условиями год от года, более благоприятны для развития древесной растительности, чем периоды с высокой изменчивостью при той же средней температуре лета. В этом отношении условия в первые 3500 лет рассматриваемого отрезка времени можно считать в среднем более мягкими, чем в последующие тысячелетия. Благоприятность периодов с низкой изменчивостью заключается в низком числе экстремально холодных летних сезонов. Частота таких экстремумов приведена на рис. 7.

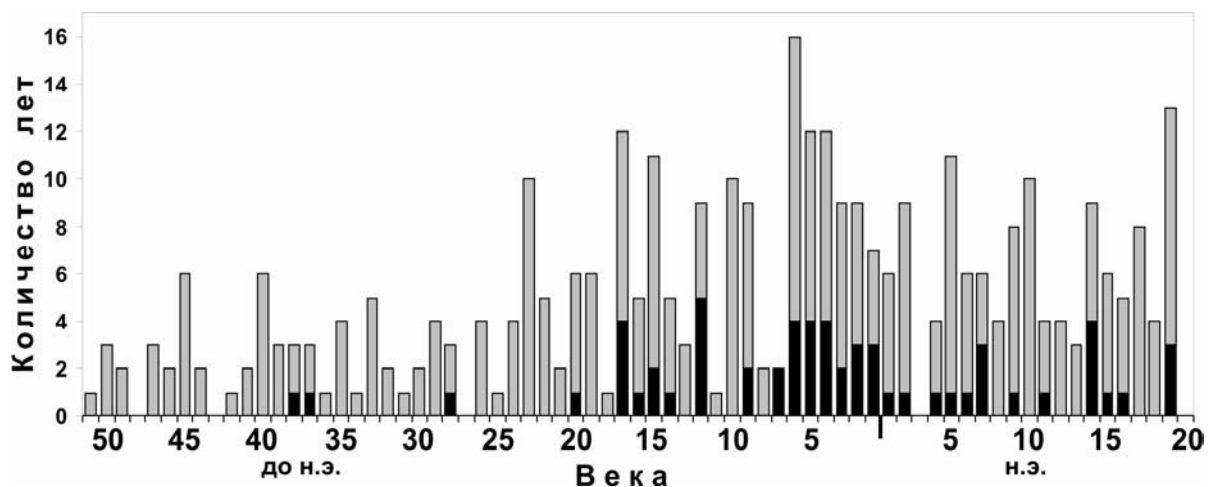


Рисунок 7 – Количество экстремально холодных летних сезонов (с температурой ниже среднего на более чем  $1.5^{\circ}\text{C}$ ) по столетиям. Темная часть – сезоны с температурой ниже среднего на более чем  $2^{\circ}\text{C}$ .

Хорошо видно, что подавляющая часть самых холодных летних сезонов пришлась на период с 17 в. до н.э. по 19 в. н.э. При анализе более коротких периодов обращают на себя внимание серии из нескольких холодных лет в короткие промежутки времени в 17 веке до н.э. (1626, 1625, 1624, 1617 гг. до н.э.), в 12 веке до н.э. (1128, 1127, 1124 и 1122 гг. до н.э.), в 7 веке н.э. (623, 637, 639, 640 гг.) и в начале 19 века н.э. (1816, 1818, 1819, 1820 гг.).

Подавляющее большинство (85%) наиболее экстремальных холодных периодов масштаба десятилетий (имеется в виду летняя температура) пришлись на вторую половину рассматриваемого периода в 7200 лет. Самым суровым было десятилетие в начале 19 века н.э. (с 1812 по 1821 гг.). Достоин упоминания также похолодание 1628-1619 гг. до н.э. Причем, в обоих случаях снижениям температуры сопутствовало еще одно экстремально холодное десятилетие, вскоре после (1828-1837 гг. н.э.) или незадолго до того (1653-1644 гг. до н.э.).

Самым холодным столетием был период с 1630 по 1531 гг. до н.э. Такая же средняя температура отмечена и для периода с 1661 по 1760 гг. н.э., который, по-видимому, является проявлением т.н. малого ледникового периода на севере Западной Сибири. Однако, изменчивость температур была выше в первый из этих периодов, что усиливает степень неблагоприятности климатических условий для северных экосистем.

Самые теплые летние сезоны были в 5 веке до н.э.: 432, 427 и 426 гг. до н.э. Очень высокая частота теплых сезонов наблюдалась в 27 в. до н.э. и 3 в. н.э. (рис. 8). Но самым уникальным по частоте особо теплых сезонов является последнее столетие, на которое выпало 17 из 100 самых теплых сезонов.

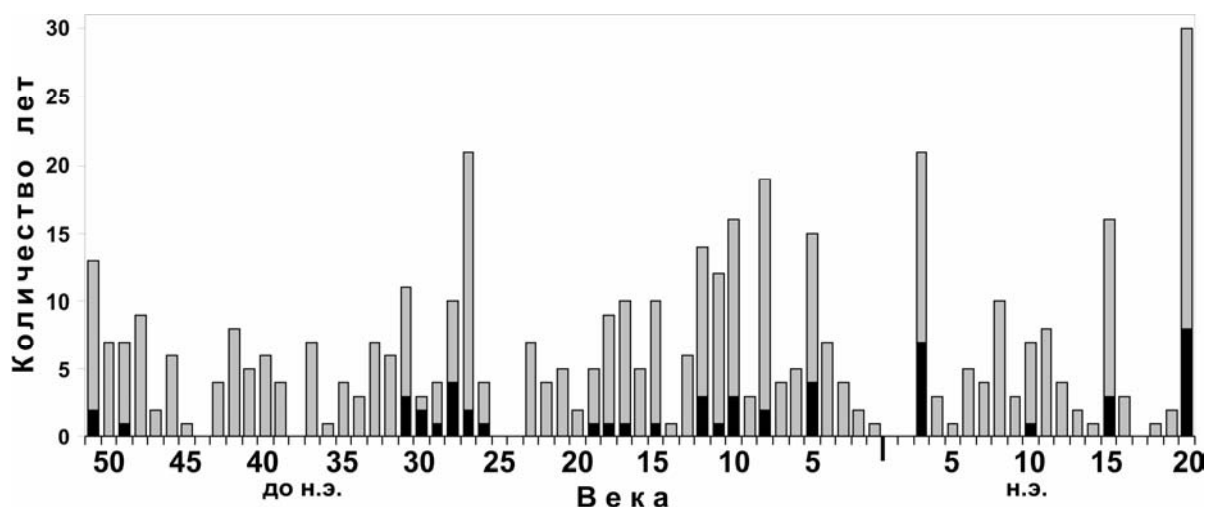


Рисунок 8 – Количество исключительно теплых летних сезонов (с температурой выше среднего на более чем 1.5°C) по столетиям. Темная часть – сезоны с температурой выше среднего на более чем 2°C.

Самый теплый период масштаба десятилетий отмечен в 434-425 гг. до н.э., а самое теплое столетие – 1906-2005 гг. За ним по степени теплообеспеченности следует первое столетие реконструкции (5150-5051 гг. до н.э.), степень благоприятности которого усиливается относительно невысокой изменчивостью температур год от года в этот столетний период.

В целом, как видно из нижнего графика на рис. 5, если исключить последние полтора столетия, когда существенную роль в изменениях климата могли играть антропогенные факторы, имеется линейный тренд к понижению температуры в период с 5150 г. до н.э. по 1850 г. н.э. примерно на  $0,4^{\circ}\text{C}$ . Многотысячелетний тренд снижения температуры, выявленный на основе древесно-кольцевой реконструкции, намного меньше, чем предполагалось на основе споро-пыльцевых данных для севера Западной Сибири. Возможно, выполненная нами реконструкция действительно содержит неполные данные о колебаниях тысячелетнего масштаба. Но возможно и обратное – другие источники данных об изменениях летней температуры завышают оценку термических условий летнего сезона в прошлом. Летняя температура воздуха традиционно реконструируется на основе анализа состава растительности, произраставшей в разные эпохи голоцена. Однако, благоприятность условий для роста растений может определяться, как указывалось выше, не только многолетней средней температурой лета, но и ее изменчивостью, а также повторяемостью экстремально холодных сезонов. Поэтому вполне можно допустить, что выявленные нами тенденции межгодовой изменчивости летних температур и повторяемости экстремальных лет могли вызвать такое изменение видового состава растительности, определяемого по споро-пыльцевым спектрам, которое равнозначно снижению средней температуры лета на 1-2 градуса.

На рис. 9 приведен пример приблизительной оценки благоприятности климатических условий летнего сезона для роста деревьев. Эта оценка включает в себя данные о средней температуре лета, ее межгодовой изменчивости и повторяемости экстремально холодных летних сезонов (параметра учтены с произвольно выбранными коэффициентами). Такую оценку можно назвать индексом благоприятности летних сезонов.

Из рисунка видно, что примерно до 1700 г. до н.э. условия для роста деревьев были сравнительно более благоприятны, чем это следует из одной только реконструкции средних температур лета, а в последующие тысячелетия, наоборот, менее благоприятны. Последовательное

ухудшение условий роста происходило до 1700-1600 гг. до н.э., после этого рубежа тысячелетних тенденций не наблюдалось.

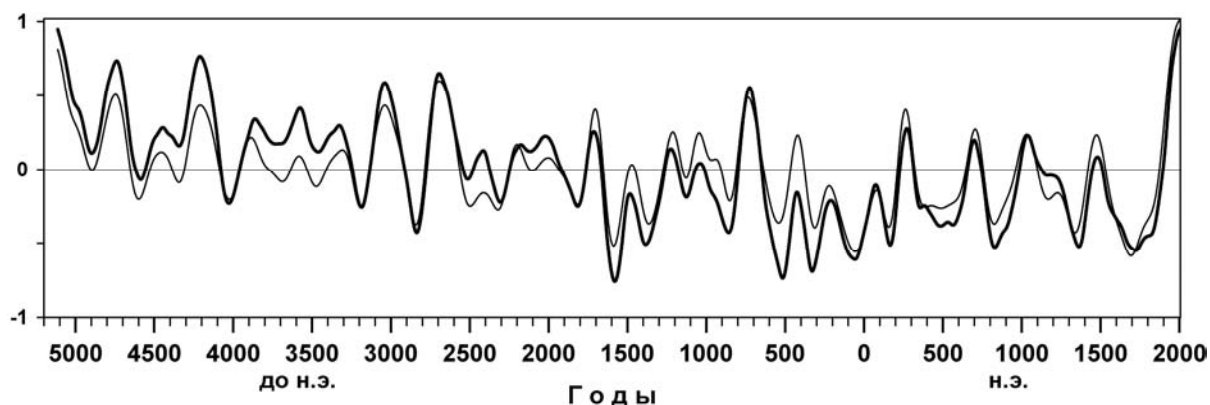


Рисунок 9 – Динамика «индекса благоприятности» летних сезонов на севере Западной Сибири. Тонкой линией для сравнения показаны изменения летней температуры, сглаженные 200-летним фильтром.

Итак, можно отметить следующие особенности изменения летних температур на севере Западной Сибири в течение последних 7200 лет:

- 1) снижение летней температуры в течение 7000 лет, с 5150 г. до н.э. по 1850 г. н.э. примерно на  $0,4^{\circ}\text{C}$ ;
- 2) относительно низкая изменчивость летних температур (от межгодовой до внутривековой) в период с 5150 до 1900-1700 гг. до н.э. и высокая в среднем изменчивость в последующие тысячелетия;
- 3) низкая частота экстремально холодных летних сезонов в период с 51 по 18 вв. до н.э. и высокая их повторяемость в последующие века;
- 4) два наиболее холодных периода за последние 7200 лет, первый – в начале 19 в. н.э., длительностью около 30 лет (примерно с 1810 по 1840 гг.) с минимумом в 1815-1820 гг.; второй, более длительный, – в 17-16 вв. до н.э. (примерно 1655-1530 гг. до н.э.) с минимумом в 1626-1624 гг. до н.э. и отягощенный высокой повторяемостью экстремально холодных летних сезонов;
- 5) небывалое потепление в последнее столетие.

Таким образом, реконструкция средней температуры лета на Ямале в течение последних 7200 лет, выполненная на основе ширины годичных колец лиственницы сибирской, позволяет в деталях проанализировать последние два этапа голоцена (Хантемиров, 1999, 2000; Nantemirov, Shiyatov, 2002; Изменения климата и..., 2007). В целом подтверждается предварительное заключение о характере климата в течение этих этапов. Однако, на основе древесно-кольцевой реконструкции можно сделать вывод, что благоприятность климатических условий на втором этапе (средний голоцен), по сравнению с поздним голоценом, определялась не

только более высокими средними температурами лета, но и меньшей изменчивостью этих температур год от года и, как следствие, низкой повторяемостью экстремально холодных лет. За начало позднего голоцена можно принять 1650 г. до н.э., год начала одного из самых холодных периодов векового масштаба, после которого климатические условия значительно изменились.

Пожалуй, можно также констатировать, что около ста лет назад на севере Западной Сибири начался новейший этап голоцена.

## **Глава 5. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ СОБЫТИЯ НА ЯМАЛЕ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 4100 ЛЕТ**

В табл. 1 представлены результаты реконструкции экстремальных летних сезонов. Степень экстремальности определялась по доле образцов, в которых имелись отклонения от нормальной структуры колец и по степени выраженности аномалий годовых колец деревьев.

Таблица 1 – Даты экстремальных событий на Ямале за последние 4100 лет

Год	И	Г	В	Год	И	Г	В	Год	И	Г	В	Год	И	Г	В
до н.э.				1557	*			989	*			550	*	+	+
2053	***			1553	***			982	**			489	*		
2035	*	+	+	1538	**			975	*			472	*		
1996	*	+	+	1523	*	+	+	965	*			464	*		
1973	*			1507	*			919	**			420	*	+	+
1972	*			1493	*			904	*			402	*		
1966	*			1492	*			898	*			358	*		
1947	*			1486	*			883	**			345	*		
1935	**			1465	*			866	*			339	*		
1920	*	+	+	1462	*			861	*			338	**		
1918	*			1443	*			828	*			321	*		
1812	*			1417	*	+	+	823	*			250	*		
1728	*			1410	**			809	*			242	*		
1726	*			1403	*			800	*			154	*		
1655	*			1401	**			792	*			78	*		
1650	*			1394	*			741	*			42	*	+	+
1647	***	+		1386	*			717	*			н.э.			
1634	*			1172	*			680	*			110	*		
1626	***	+	+	1169	*			658	*			134	*		
1622	*			1127	*			609	*			143	**		
1617	*			1122	*			593	*			155	*		
1569	*			1011	*			569	*			180	*	+	+



Год	И	Г	В	Год	И	Г	В	Год	И	Г	В	Год	И	Г	В
194	*			912	*			1278	*			1634	*	+	+
404	**			927	*			1288	*	+	+	1642	*	+	+
536	*	+	+	940	*	+	+	1300	*	+	+	1666	*		
537	*	+	+	963	*	+	+	1312	*			1677	*	+	+
543	**	+	+	972	*			1342	*	+	+	1679	*		
545	*	+	+	976	*	+	+	1347	*			1683	*	+	
570	*			985	*	+	+	1350	*	+		1694	*	+	+
596	*			1002	*			1352	*			1699	*	+	+
623	*			1003	*	+	+	1372	*			1714	*	+	
627	*	+	+	1004	*			1383	*	+	+	1717	*	+	+
637	*			1012	*			1391	*	+	+	1723	*	+	+
639	*			1025	*			1435	*			1730	*	+	+
640	*			1029	*	+	+	1440	**	+	+	1732	*	+	+
652	*			1040	*			1453	**	+	+	1745	*	+	
684	*	+	+	1051	*	+		1466	***	+	+	1757	*	+	+
738	*			1055	*	+	+	1481	**	+	+	1776	*		
754	*	+	+	1077	*	+		1509	*	+	+	1783	*	+	+
757	*	+	+	1099	*	+	+	1527	*			1816	*	+	+
779	*			1109	*	+	+	1529	*	+		1818	**	+	+
784	*			1122	*			1531	*	+		1820	*		
791	*			1133	*	+		1538	*	+		1862	*	+	+
800	*	+	+	1136	*	+		1548	*	+		1866	*	+	
801	*			1151	*	+	+	1560	*			1867	*	+	
814	*			1170	*	+	+	1569	*	+	+	1872	*	+	+
816	*	+	+	1172	*			1576	*	+		1879	*		
818	*	+	+	1201	*	+	+	1585	*	+	+	1884	*	+	+
857	*			1209	**			1601	***	+	+	1885	*		
878	*			1217	*	+		1609	*	+	+	1912	*	+	+
881	*			1234	*			1617	*	+	+	1958	*		
884	*	+		1236	*			1628	*			1970	*		
901	*			1259	*	+	+	1629	*	+		1978	*	+	+
903	*	+	+	1270	*			1631	*	+		1980	*		

Примечание – И – интенсивность экстремума, Г – совпадение с датами экстремальных событий в других регионах, В – совпадение с датами следов вулканических извержений в ледовых колонках

Всего выявлено 214 экстремальных лет. Самыми исключительными оказались 2053, 1647, 1626, 1553 гг. до н.э. и 1466, 1601 гг. н.э. Достойны упоминания также 1935, 1538, 1410, 1401, 982, 919, 883, 338 гг до н.э.,

143, 404, 543, 1209, 1440, 1453, 1481, 1818 гг. н.э. Из таблицы видно, что хотя большинство самых экстремальных лет пришлось на период до н.э., частота экстремумов была самой высокой в последние полторы тысячи лет.

Сравнение полученных нами результатов (Hantemirov et al., 2004) с данными по датам формирования аномальных годовичных колец в других регионах (Сидорова и др., 2005; Salzer, Hughes, 2007; Wang et al., 2000; и др.), показало, что почти в половине случаев экстремумы на Ямале совпадали с подобными экстремумами в отдаленных районах Земли, т.е. по всей вероятности имели глобальный масштаб. Наиболее значимые из них произошли в 420 г. до н.э., 536, 543, 627, 903, 940, 1151, 1259, 1300, 1453, 1466, 1585, 1601, 1609, 1642, 1699, 1783, 1818, 1867, 1872 гг. н.э., когда экстремумы наблюдались как в западном, так и в восточном полушариях. В большинстве случаев при совпадении дат экстремумов для различных регионов имеются также следы крупных вулканических извержений в ледовых колонках Гренландии и Антарктиды, датированные примерно тем же годом (A comparison of the volcanic..., 1997; A 4100-year record..., 2000; Zielinski, 1995). Таким образом, причиной выявленных экстремальных летних похолоданий глобального масштаба в большинстве случаев можно считать крупные вулканические извержения.

## **Глава 6. ДИНАМИКА ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ЯМАЛЕ В ГОЛОЦЕНЕ**

В результате перекрестной датировки индивидуальных рядов по ширине годовичных колец полуископаемых образцов с абсолютной хронологией было датировано около 1500 полуископаемых образцов, т.е. почти половина (рис. 10). Причины, по которым оставшаяся половина не была датирована, следующие. Во-первых, успешность датировки во многом зависит от числа колец в образце. Поэтому доля датированных образцов увеличивается в выборках с большим числом колец. Во-вторых, некоторая доля полуископаемых остатков не датировалась из-за того, что они произрастали в более далеком прошлом, ранее 5300 г. до н.э. На основе данных радиоуглеродных датировок их долю можно оценить в 20-25%. Еще одной причиной того, что часть образцов не датирована, может быть их низкая чувствительность как из-за оптимальных условий для роста деревьев в некоторые периоды, так и наоборот, сильного угнетения роста у отдельных деревьев в течение продолжительного времени из-за локальных условий произрастания. В некоторых случаях, когда продолжительность жизни деревьев была высока, их удавалось датировать несмотря на имевшиеся периоды угнетенного роста.

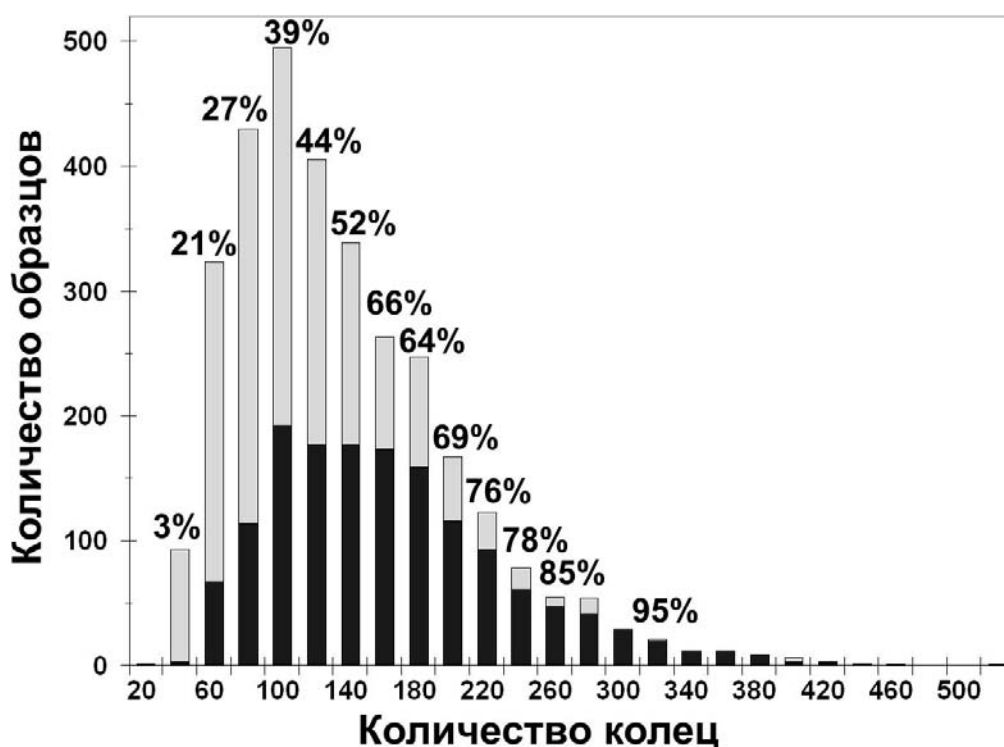


Рисунок 10 – Распределение числа колец в собранных образцах полуископаемой древесины и доля датированных образцов (темная часть столбиков)

**Реконструкция динамики полярной границы леса.** Под полярной границей леса в данном случае понимается широтное положение самой северной находки полуископаемой древесины на данный момент времени, за которой, южнее, следует более-менее постепенный рост плотности находок. Однако очевидно, что найденные нами образцы не являются остатками самых северных деревьев, а могут указывать лишь на степень продвижения на север редколесий, а возможно и сомкнутых лесов. Обеспеченность реконструкции смещений границы леса весьма неоднородна. Для территории Ямала, находящейся севернее  $68^{\circ}$  с.ш., мы собрали 175 образцов древесины, из которых лишь 33 были датированы дендрохронологическим методом. Поэтому для этих районов можно сделать лишь очень приблизительную оценку границы леса, скорее всего положение самых северных находок здесь может свидетельствовать о полярной границе сомкнутых лесов. Для более южных районов эта оценка будет более точной в связи с достаточно большим числом образцов. Здесь положение самых северных находок скорее всего указывает на границу распространения редколесий.

Из рис. 11 хорошо видно, что в последние 4500 лет полярная граница леса с разной скоростью но постоянно смещалась на юг, лишь в отдельные периоды ненамного, в пределах десятка километров, наступала на север. Общий сдвиг на юг за этот период составил около 120-130 км.

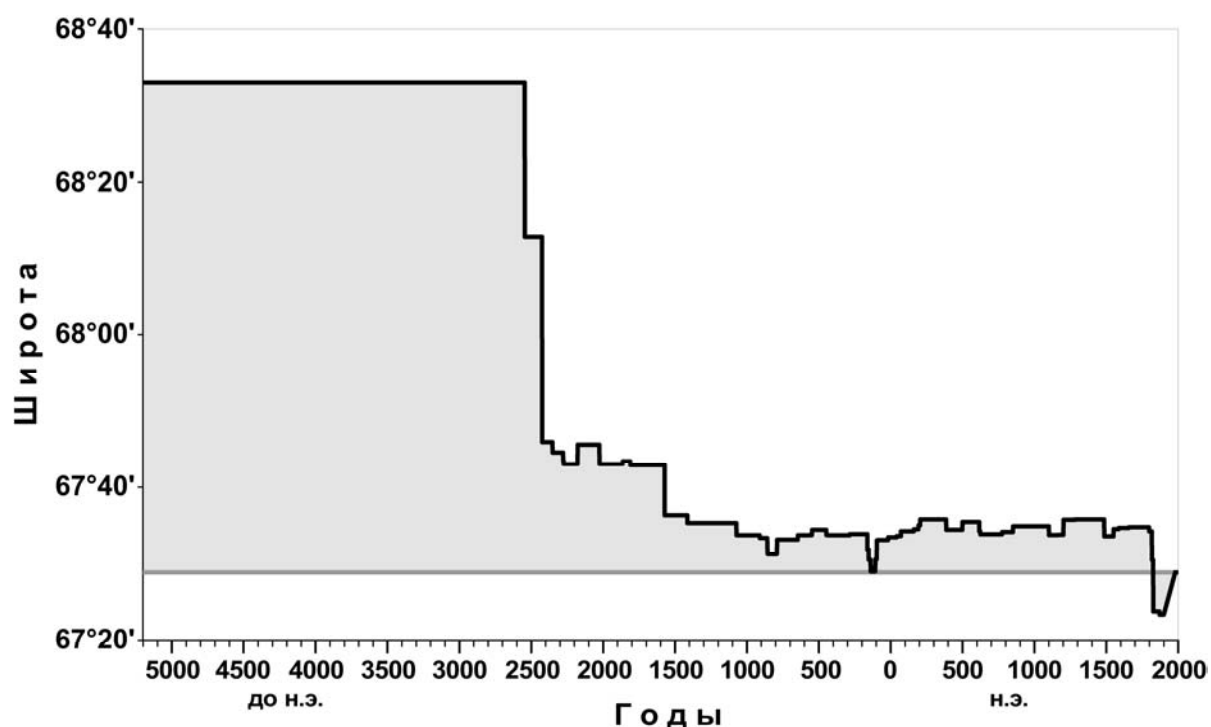


Рисунок 11 – Смещения полярной границы леса на Ямале с 5200 г. до н.э. относительно современной северной границы редколесий вдоль долин рек

Массовые дендрохронологические датировки указывают на то, что самое существенное смещение границы леса на юг произошло раньше, чем это предполагалось по данным радиоуглеродного датирования, около 2420 г. до н.э. Тем не менее, смещение границы на юг отмечено также и в XVI в. до н.э., т.е. примерно в то же время, которое мы считаем границей двух периодов голоцена. Затем в течение следующих примерно 700 лет граница леса постепенно сместилась на юг еще примерно на 10 км.

Сдвиги границы леса в течение последних 3500 лет были относительно небольшими и менее значительными, чем те, которые происходили ранее, их амплитуда составляла не более 10 км. Исключение составляет значительное отступление леса в начале XIX в. н.э. Тем не менее, данные по современным деревьям показывают, что в группе самых северных на сегодняшний день лиственниц в долине р. Ядаяходьяха произрастает дерево, появившееся в начале XIX в. н.э. Т.е. положение границы отдельных деревьев в тот период было намного севернее, чем это следует из положения остатков погибших деревьев.

На основе данных о видовой принадлежности остатков древесины, можно сделать вывод, что в течение последних 7200 лет полярную границу редколесий как правило формирует лиственница сибирская. Однако, ель сибирская также произрастала вблизи границы леса, возможно даже в отдельные периоды выходя совместно с лиственницей на северные рубежи.

Сравнение наших данных (Хантемиров, Сурков, 1996; Nantemirov, Shiyatov, 2002; Изменения климата и..., 2007) с данными о смещении верхней и полярной границы леса в других регионах (выполненных на основе радиоуглеродного датирования макроостатков деревьев) показывает, что даты основных сдвигов в других районах совпадают с данными по северу Западной Сибири – около 4500 лет назад произошло значительное смещение вниз верхней границы леса в Альпах (Tinner, Theurillat, 2003), а также в горах на севере Скандинавии (Kullman, Kjallgren, 2000), а примерно 3700 лет назад сместилась на юг полярная граница леса на Таймыре и в более восточных регионах Сибири (Kremenetski et al., 1998); к этому же времени относится второй значительный сдвиг в Альпах, выявленный на основе дендрохронологических датировок (Holocene tree-line variability..., 2005). Основные черты динамики границы леса на Ямале в последнюю тысячу лет совпадают с теми, что выявлены на основе массовых дендрохронологических датировок на Полярном Урале (Шиятов, Мазепа, 2007).

**Реконструкция густоты древостоев.** Показателем степени густоты древостоев вдоль долин рек является, на наш взгляд, распределение числа найденных остатков полуископаемых деревьев во времени (рис. 12). Но нельзя исключить, что вероятность захоронения древесных остатков в аллювиальных отложениях зависит также и от эрозионной активности рек, в долинах которых росли деревья. Однако косвенным свидетельством того, что распределение числа найденных деревьев отражает динамику густоты древостоев, является сходство динамики этого показателя на Ямале (Хантемиров, 1999; Nantemirov, Shiyatov, 2002) с данными по северу Фенноскандии за последние 7500 лет (Dendrochronologically dated..., 2004), где древесина собиралась не в речных отложениях, а также данными по густоте лиственничников на Полярном Урале (Мазера, 2005) за последние 1200 лет.

При анализе рис. 12 необходимо иметь в виду, что вероятность обнаружения деревьев из аллювиальных отложений со временем должна уменьшаться, поскольку чем древнее возраст древесных остатков, тем вероятнее, что они были переотложены, может быть и неоднократно. При этом часть остатков, экспонированных боковой эрозией рек, могла разрушиться до начала очередного захоронения.

Амплитуда изменений числа найденных деревьев во времени очень высокая, некоторые периоды отличаются по числу находок в десять раз. При этом можно отметить колебания масштабом в 200-300 лет и 1-2 тысячи лет.

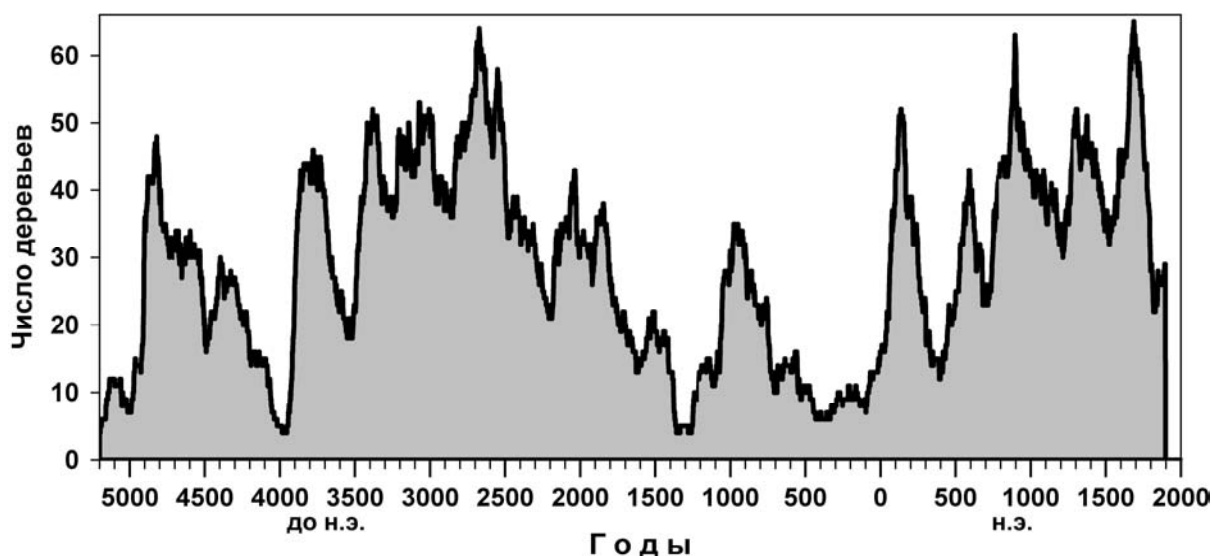


Рисунок 12 – Реконструкция динамики густоты древостоев в речных долинах (оценка на основе распределения во времени числа найденных деревьев) с 5200 г. до н.э. по 1900 г. н.э.

На основе данных, полученных на пробных площадях по современным деревьям, можно заключить, что в последнее столетие наблюдается рост густоты древостоев в долинах рек. Ее уровень сравним с тем, что был в XVII-XVIII вв. н.э.

Сравнение результатов численности деревьев с динамикой границы леса показывает, что примерно до 2500 г. до н.э. изменения густоты древостоев не приводили к смещениям положения границы леса. Но 4600 лет назад началось снижение численности деревьев, продолжавшееся почти полторы тысячи лет, вслед за которым полярная граница редколесий стала отодвигаться на юг. Далее синхронность изменений густоты древостоев и границы леса вновь нарушилась. Отсутствие полного совпадения динамики этих двух показателей связано, по нашему мнению, с большей инерционностью смещения полярной границы редколесий по сравнению с изменением густоты древостоев в существующих редколесьях. Запаздывание продвижения древесной растительности к северу и на плакоры при наступлении благоприятных климатических условий обусловлено отсутствием или недостаточной обеспеченностью тундровых территорий доброкачественными семенами лиственницы и ели. Запаздывание отступления границы древесной растительности на юг в неблагоприятные периоды может быть связано с тем, что некоторое количество деревьев могло сохраняться в рефугиумах.

**Реконструкция динамики видового состава деревьев.** К сожалению, отличить лиственницу от ели по анатомической структуре древесины иногда бывает довольно сложно. Поэтому и реконструкция пока проведена за меньший промежуток времени – за последние 4600 лет.

Для этого отрезка времени была определена видовая принадлежность 850 образцов древесины, из них 42 были определены как ель. Обнаружены также остатки 2 берез.

В настоящее время в районе сборов полуископаемой древесины встречаются все три вида найденных деревьев. Лиственница произрастает в долинах всех рек южной части Ямала, где имеется древесная растительность, ель – практически только в долине р. Хадыты; на р. Танлова и Ядаяходьяха встречены единичные экземпляры. Береза хорошо представлена в долине р. Хадыты, в меньшей степени на р. Танлова и практически не встречается в долине р. Ядаяходьяха.

Очень низкое число полуископаемых остатков березы в аллювиальных отложениях объясняется, очевидно, относительно быстрым перегниванием древесины этого вида. Возможно, доля ели среди найденных остатков древесины также занижена из-за меньшей устойчивости древесины этого вида к гниению по сравнению с древесиной лиственницы. Поэтому вероятно, что этот вид, несмотря на отсутствие находок для некоторых периодов, произрастал в районе исследований на протяжении всего изученного времени.

Из рис. 13 видно, что доля ели в течение рассматриваемого периода была в среднем невелика (около 5%), но менялась в относительно больших пределах – от 0 до 28%.

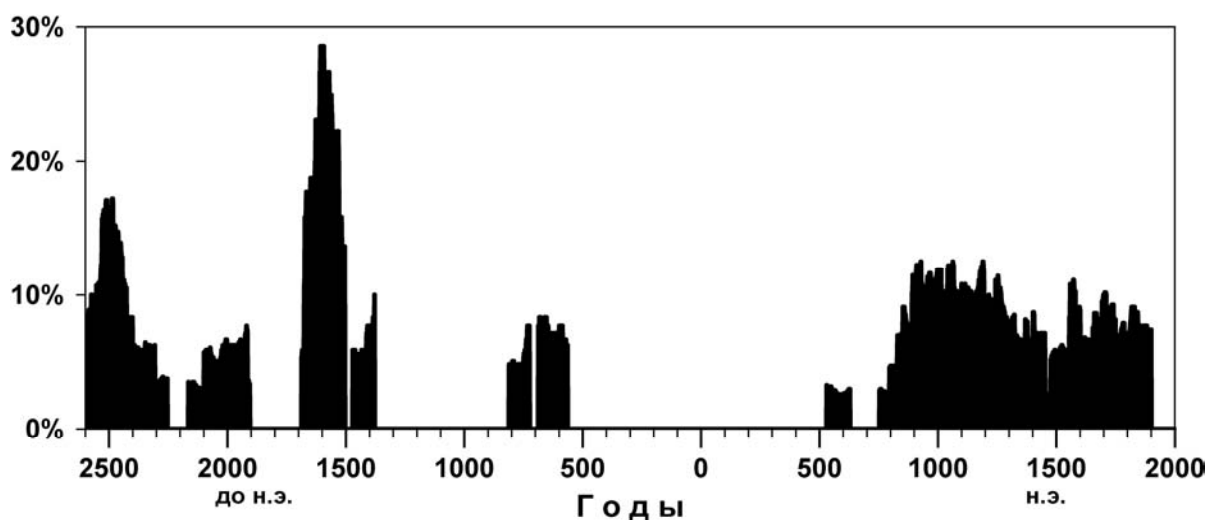


Рисунок 13 – Изменение доли ели сибирской в сборах полуископаемой древесины

В целом, доля ели, возможно, отражает общие тенденции усиления или ослабления континентальности климата на Ямале. Но в районе исследований рост лиственницы и ели определяется общим для обоих видов фактором – теплообеспеченностью летнего периода. Поэтому, изменения в соотношении видов вряд ли связаны с изменениями условий

для роста взрослых деревьев. По всей вероятности соотношение видов менялось из-за изменения условий, которые определяют возникновение новых поколений деревьев. Известно, что решающим фактором для появления новых поколений лиственницы на Ямале является температура июля в первые годы жизни подроста (гл. 7). Для появления новых поколений ели важными могут быть другие условия. К увеличению доли ели могло приводить как улучшение условий для появления новых поколений этого вида деревьев, так и ухудшение таких условий для лиственницы. Максимальная доля ели, зафиксированная для периода с 1700 по 1500 гг. до н.э. связана, вероятнее всего, со вторым вариантом.

Постоянное присутствие ели в относительно высокой доле в долинах всех рек отмечено с 800 г. н.э. Но к 1500 г. произошло снижение ее представительства. Примерно в это время ель исчезла из долин рек Танлова (1400 г.) и Ядаяходьяха (1600 г.).

**Реконструкция динамики возобновления, смертности и возрастной структуры лиственничных древостоев.** Динамика интенсивности появления лиственниц, которые впоследствии доросли до взрослого состояния, реконструированы с 5200 г. до н.э. по 1900 г. н.э. Для продления этой реконструкции до сегодняшнего дня были использованы данные изучения современных лиственничников на пробных площадях, где были выявлены два поколения лиственницы, сформированные в XX в.: первое – примерно с 1900 по 1935 г., второе – в 1950–1970 гг. (Хантемиров и др., 2008). Для ориентировочной калибровки данных по полуископаемым деревьям был использован период с 1850 по 1900 г., что позволило приблизительно оценить число вновь появляющихся деревьев, которые впоследствии достигают возраста в несколько десятков лет, на единицу площади (рис. 14).

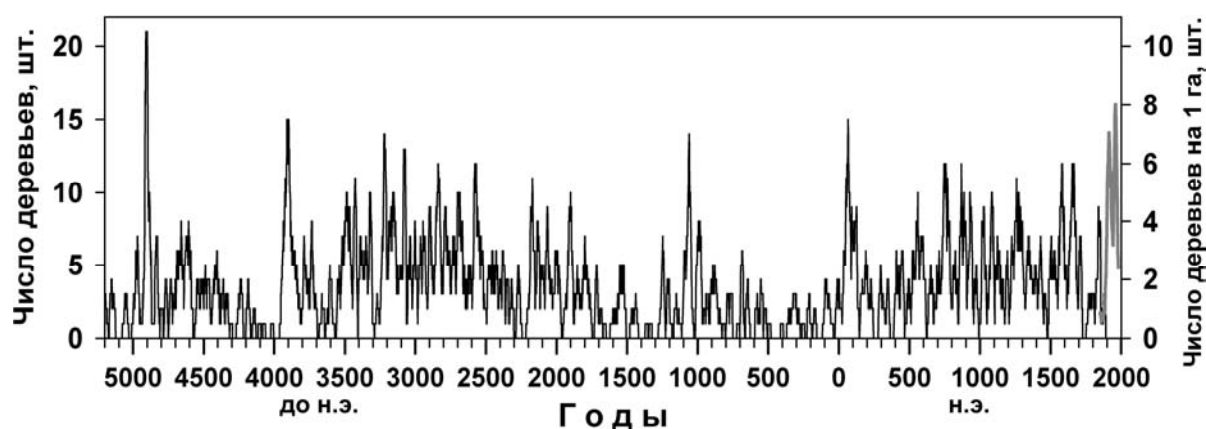


Рисунок 14 – Динамика интенсивности появления лиственниц, которые впоследствии доросли до взрослого состояния (скользящие суммы по 20-летиям) по данным полуископаемых деревьев. В правой части рисунка приведены соответствующие данные по современным деревьям.



На основании распределения дат гибели деревьев была выполнена реконструкция смертности деревьев (рис. 15).

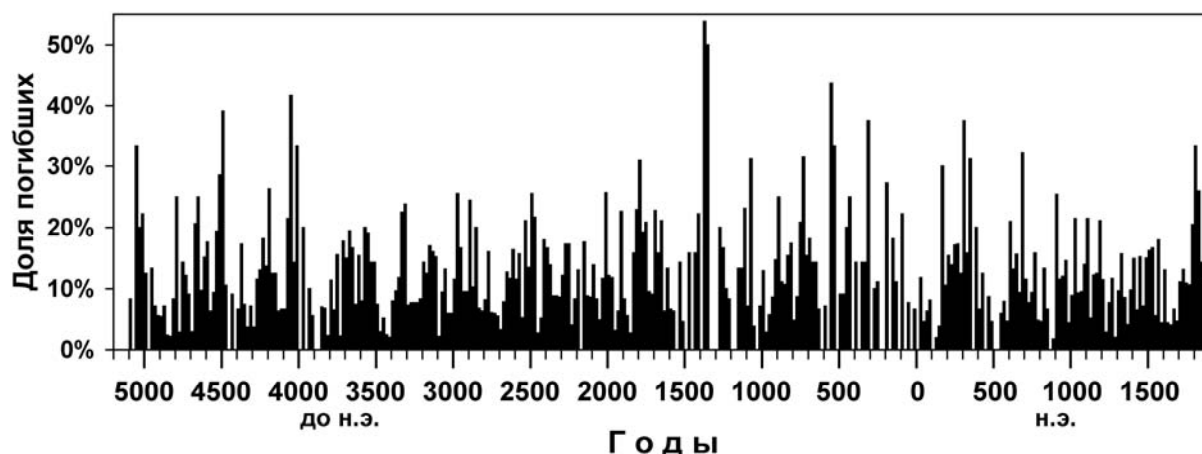


Рисунок 15 – Динамика смертности лиственницы по 20-летиям

Имеется слабая отрицательная корреляция между числом появившихся и долей погибших деревьев, т.е. изменения густоты древостоев определяются как правило разнонаправленными изменениями возобновления и смертности. Причем в одних случаях тенденция может сохраняться длительное время (например, постепенное снижение возобновления и увеличение смертности деревьев в период с 1100 по 400 гг. до н.э. и соответствующее снижение густоты древостоев или такие же последовательные изменения при повышении густоты древостоев с 300 г. до н.э. по 100 г. н.э.), а в других случаях изменения происходят относительно быстро (например, около 4000 г. до н.э.).

Динамика этих двух процессов определяет изменения возрастной структуры лиственничников (рис. 16).

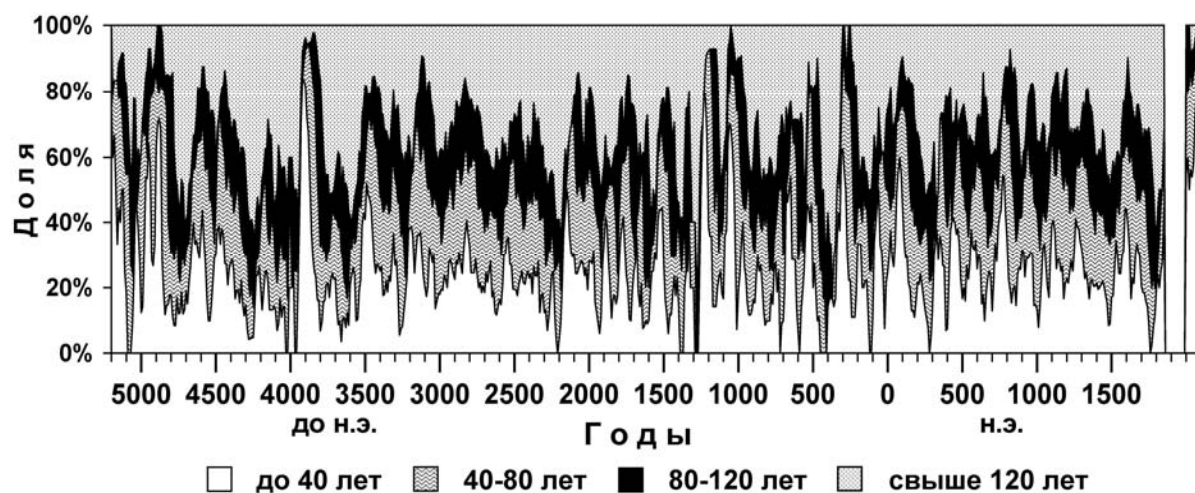


Рисунок 16 – Динамика изменения доли деревьев различных возрастных групп. Справа – врезка данных, полученных на пробных площадях для современных древостоев с 1850 по 1950 г.

*Динамика изменений прироста запаса древесины.* На рис. 17 представлена реконструкция изменения в прошлом прироста объема стволовой древесины, продуцируемой в долинах рек южного Ямала. Данный показатель может быть использован в качестве косвенной оценки продуктивности древесной растительности. Он зависит от изменений радиального прироста, густоты и возрастной структуры древостоев.

Максимальная продуктивность древесной растительности на Ямале была около 4,7 тысяч лет назад, что является отражением оптимума среднего этапа голоцена. Тогда же высокой была и густота древостоев, граница леса находилась намного севернее нынешнего ее положения. Можно отметить также интересный факт, что 6000 лет назад, в период, который многие исследователи голоцена считают наиболее благоприятным для развития растительности, на Ямале произошло резкое снижение как числа деревьев (рис. 12), так и радиального прироста (рис. 5), что привело к одному из самых существенных снижений продуктивности древесной растительности.

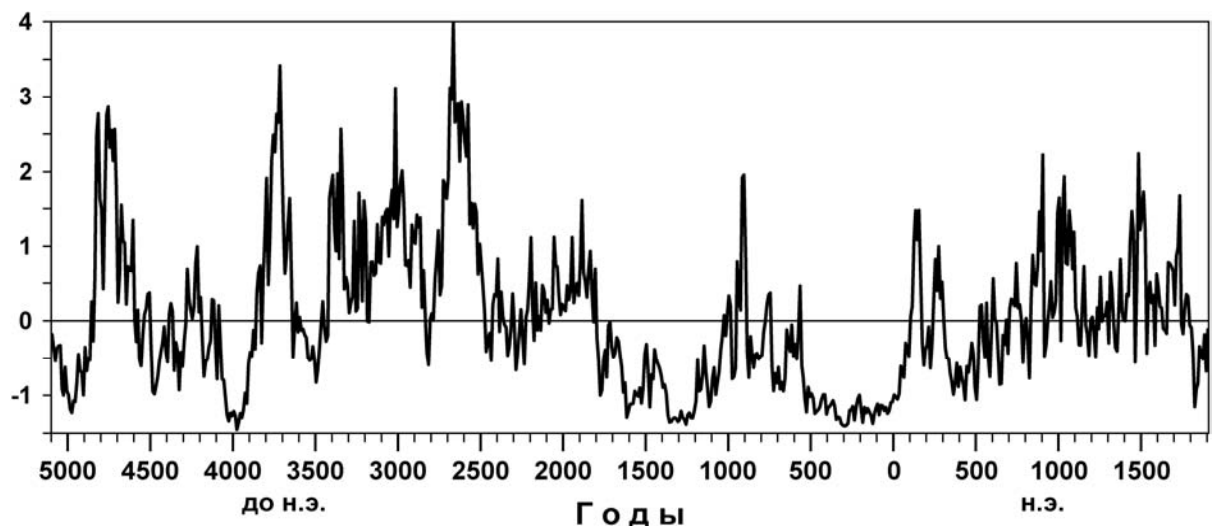


Рисунок 17 – Реконструкция прироста запаса древесины лиственницы в долинах рек на юге полуострова Ямал с 5100 г. до н.э. по 1900 г. н.э. (в условных единицах)

## **Глава 7. АНАЛИЗ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ДИНАМИКУ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА СЕВЕРЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

Анализ причин, которые приводят к изменению различных характеристик древесной растительности лесотундровых экосистем, не дал однозначного ответа. Скорее всего можно говорить о том, что не находят бесспорного подтверждения некоторые устоявшиеся

представления о обусловленности динамики древесной растительности теплообеспеченностью вегетационного сезона.

Так, например, считается, что изменения положения северной границы леса отражают долговременные изменения температуры лета. В целом этот вывод подтверждается – общие многотысячелетние направления изменений температуры лета и смещения границы леса совпадают. Но более подробное сравнение данных по реконструкции летних температур и динамике границы леса показывает, что амплитуда их изменений не совпадают. Например, самое существенное ухудшение климатических условий произошло в XVII-XVI вв. до н.э., которое вызвало не самый крупный сдвиг границы леса.

При интерпретации полученных данных следует учесть два обстоятельства. Во-первых, как упоминалось выше, обеспеченность реконструкции смещений границы леса весьма неоднородна. Поэтому возможно, что при более массовых сборах севернее 68° с.ш. удастся найти деревья, произраставшие в этих районах немного позднее 2400 г. до н.э. Во-вторых, смещение границы леса вдоль рек в южной части полуострова Ямал происходило в непрерывном градиенте условий среды. Постепенное ухудшение условий среды с юга на север вызвано как снижением температуры лета в широтном направлении, так и снижением водности реки (и, как следствие, уменьшением отепляющего эффекта), при движении вверх по ее течению. А в районах Ямала, расположенных севернее этих рек, движение границы леса в широтном направлении связано с переходами из долины одной реки в долину другой, т.е. с переходами из более благоприятных условий в долинах рек в менее благоприятные для роста деревьев плакорные местообитания (рис. 1). Поэтому смещение границы леса происходило скачкообразно. Следовательно, не совсем корректно судить о степени изменения климата сравнивая абсолютные величины смещения границы леса в непрерывном градиенте с данными по мозаичным по условиям среды районам. Т.е., вполне вероятно, что климатический сдвиг в XVII-XVI вв. до н.э. вызвал бы более сильную реакцию, если бы градиент среды был непрерывным по всему району исследований.

Анализ рис. 18 показывает, что за последние 4500 лет (для этого периода динамика границы леса реконструирована с высокой надежностью) на передвижение границы леса на юг большее влияние оказывали глубокие, но кратковременные снижения температуры лета, а не многовековые тренды. Так, в динамике летних температур не наблюдается тренда к понижению с 1800 по 900 гг. до н.э., а последовательное передвижение границы на юг было в это время, скорее всего, обусловлено несколькими холодными периодами (главным образом

1660-1520, а также 1450-1350, 1140-1110, 900-800 гг. до н.э.). В некоторых случаях (в XVI в. до н.э., в начале 600-х и 1800-х и конце 1400-х гг. н.э.) смещение границы леса на юг очевидно было связано не только с многолетним снижением температуры лета, но и с сопровождающими эти снижения сериями экстремальных лет. Однако следует отметить, что холодные периоды не всегда приводят к изменениям положения границы леса. Например, значительные похолодания в X, VI и I вв. до н.э., в конце II в. н.э. не привели к сдвигу границы леса на юг.

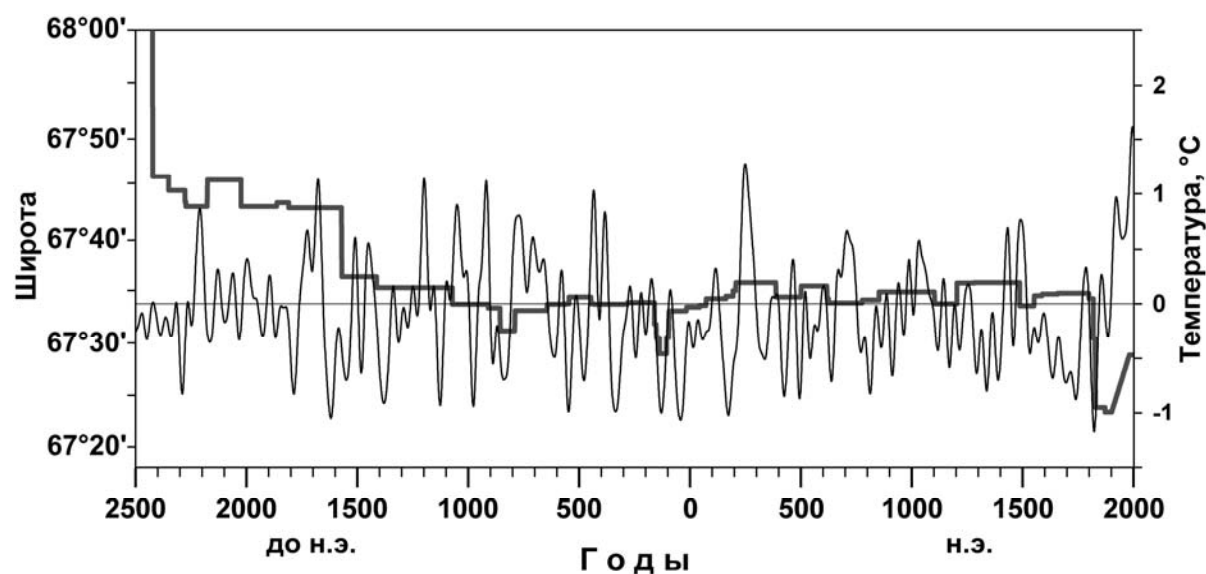


Рисунок 18 – Изменения средней температуры лета (в отклонениях от средней), сглаженные 50-летним фильтром, и динамика полярной границы леса

Периоды сдвигов границы леса на север были не особенно выраженными. Видимо, поэтому довольно трудно оценить, в какой степени продвижение деревьев в зону тундры обусловлено термическими условиями лета. Лишь необычно теплые условия 20 века привели к сдвигу границы редколесий (но не границы отдельных деревьев) на север.

Возможно, что на динамику границы леса может влиять и степень изменчивости летних температур год от года, и рост этой изменчивости привел, в числе прочих факторов, к крупному сдвигу полярной границы леса в период с 2500 по 1500 гг. до н.э.

Не больше ясности и с влиянием климата на динамику густоты древостоев (рис. 19). Если с 4900 по 1400 г. до н.э. прослеживается положительная связь с температурой лета, то после 1400 г. до н.э. она исчезает, а временами эти показатели находятся в противофазе. Возможно, в этот период ведущим становится фактор межгодовой изменчивости и частоты экстремальных лет, которыми можно объяснить некоторые изменения численности деревьев, но далеко не для всех периодов.

Пики смертности лиственницы, которые объясняют некоторые периоды снижения густоты древостоев, приходится на кратковременные (порядка одного-двух десятков лет) периоды похолодания. Но не каждое из похолоданий одинакового масштаба приводит к повышению смертности.

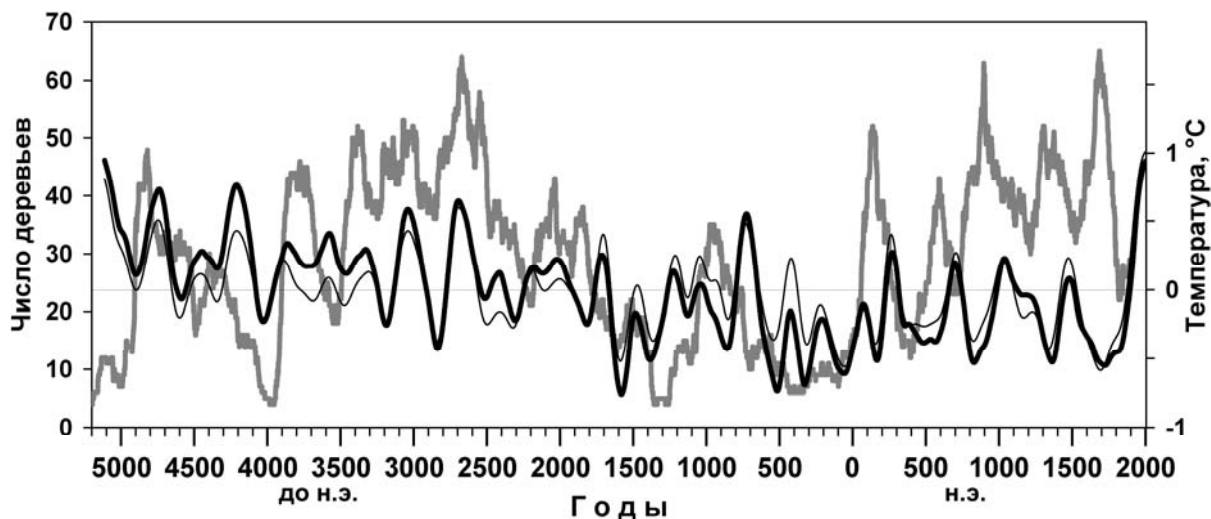


Рисунок 19 – Изменения средней температуры лета и «индексов благоприятности» (сглаженные 200-летним фильтром) и динамика густоты древостоев (серая линия)

Зависимость формирования поколений лиственницы от климатических условий была выявлена на основе изучения современных древостоев. Для объяснения динамики этого показателя были привлечены инструментальные данные по таким климатическим характеристикам как количество зимних осадков (определяющих высоту снегового покрова, который способствует защите молодых растений в зимний период), температура самых холодных зимних, а также весенних и летних месяцев. Было выявлено, что формирование поколений лиственницы зависит только от температуры июля, которая определяет выживаемость подростка. Однако, сравнение динамики возобновления лиственницы за предыдущие 7000 лет с реконструкцией средней температуры летнего периода с середины июня до конца июля не выявило значимых закономерностей. Вряд ли данный факт можно объяснить только лишь тем, что ширина годовых колец содержит информацию о температуре не только июля, а более длительного периода. Вероятно, большее значение имеет то, что при исследовании современной динамики лиственничников мы намеренно исключили возможное влияние такого фактора, как появление свежих речных наносов, который может быть важным для возобновления деревьев в долинах рек и который наряду с температурой июля в какой-то мере определял динамику возобновления лиственницы в прошлом.

Возможно также, что на динамику некоторых реконструированных характеристик оказывает влияние изменчивость и других факторов, как климатических (например, сроков схода снежного покрова), так и гидрологических (водности и эрозионной активности рек, в долинах которых были собраны остатки деревьев).

## ВЫВОДЫ

1. Развитие древесной растительности в голоцене на севере Западной Сибири подразделяется на три основных этапа: ранний голоцен (10500-7400 лет назад), средний голоцен (7400-3700 лет назад) и поздний голоцен (последние 3700 лет);
2. В течение голоцена происходило последовательное отступление полярной границы леса на юг, за последние 7200 лет она сдвинулась как минимум на 120 км;
3. В период с 5150 г. до н.э. по 1850 г. н.э., средняя температура лета на севере Западной Сибири имела тенденцию к снижению;
4. Межгодовая изменчивость средних температур лета, а также частота экстремально холодных летних сезонов в течение последних 7200 лет менялись в широких пределах, при этом отчетливо проявляется период с низкой изменчивостью и частотой экстремальных лет (примерно с 5200 по 1800 гг. до н.э.) и следующая за ним эпоха высокой изменчивости и частоты экстремумов;
5. Наиболее оптимальными для развития древесной растительности за последние 7200 лет были условия около 2700 г. до н.э., когда достигли максимума густота и продуктивность древостоев;
6. Значительная часть экстремальных температурных событий в течение вегетационного сезона на севере Западной Сибири была проявлением глобальных катаклизмов, которые были вызваны крупными вулканическими извержениями;
7. Особенности динамики полярной границы леса определялись как климатическими факторами (многотысячелетним трендом летней температуры и ее колебаниями масштаба нескольких десятилетий, частотой экстремально холодных летних сезонов и экстремальных температурных событий в течение вегетационного сезона), так и мозаичностью среды и особенностями биологии и экологии древесных видов;
8. Формирование новых поколений лиственницы в речных долинах определялось как климатическими факторами (температурой июля), так и появлением свежих речных наносов;
9. 150 лет назад началось беспрецедентное для последних 7000 лет повышение летних температур воздуха;

10. В последние десятилетия на фоне высоких летних температур и низкой частоты экстремальных температурных событий наблюдается интенсивное формирование новых поколений лиственницы, рост густоты древостоев и продвижение на север границы лиственничных редколесий.

Основные результаты и выводы работы были получены благодаря построению древесно-кольцевой хронологии по величине радиального прироста лиственницы сибирской длительностью 7319 лет.

## СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

а) В журналах, входящих в перечень научных изданий, рекомендованных ВАК:

1. Potential long-chronology development on the Northwest Siberian Plain: aery resylts / S.G. Shiyatov, R.M. **Hantemirov**, F.H. Schweingruber et al. // *Dendrochronologia*.-1996.-Vol. 14. - P. 13-29..-Авт.: S.G. Shiyatov, R.M. Hantemirov, F.H. Schweingruber, K.R. Briffa, M. Moell.
2. Изменчивость летней температуры воздуха в высоких широтах северного полушария за последние 1,5 тыс. лет: Сравнительный анализ данных годовичных колец деревьев и ледовых кернов / Е.А. Ваганов, С.Г. Шиятов, Р.М. **Хантемиров**, М.М. Наурзбаев // Доклады Академии наук.-1998.-Т. 358, N 5. - С. 681-684.
3. Kremenetski C.V. Holocene history of the northern range limits of some trees and shrubs in Russia / C.V. Kremenetski, L.D. Sulerzhitski, R.M. **Hantemirov** // *Arctic and Alpine Research*.-1998.-Vol. 30, N 4. - P. 317-333.
4. **Хантемиров** Р.М., Шиятов С.Г. Основные этапы развития древесной растительности на Ямале в голоцене / Р.М. Хантемиров, С.Г. Шиятов // *Экология*.-1999.-N 3. - С. 163-169.
5. **Хантемиров** Р.М. Древесно-кольцевая реконструкция летних температур на севере Западной Сибири за последние 3248 лет / Р.М. Хантемиров // *Сибирский экологический журнал*.-1999.-Т. 6, N 2. - С. 185-191.
6. Зиновьев Е.В. и др. Изменения энтомофаун Южного Ямала в связи с динамикой северной границы леса в голоцене / Е.В. Зиновьев, А.В. Гилев, Р.М. **Хантемиров** // *Энтомологическое обозрение*.-2001.-Т. 80, вып. 4. - С. 843-852.
7. **Hantemirov** R.M., Shiyatov S.G. A continuous multimillennial ring-width chronology in Yamal, northwestern Siberia / R.M. Hantemirov, S.G. Shiyatov // *The Holocene*.- 2002.- Vol. 12, N 6. - P. 717-726.

8. **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.
  9. New ice core evidence for a volcanic cause of the A.D. 536 dust veil / L.B. Larsen [et al.] // *Geophysical Research Letters*.- 2008.- Vol. 35. L04709, doi:10.1029 / 2007GL032450.- Авт.: Larsen, L.B., B.M. Vinther, K.R. Briffa, T.M. Melvin, H.B. Clausen, P.D. Jones, M.-L. Siggaard-Andersen, C.U. Hammer, M. Eronen, H. Grudd, B.E. Gunnarson, R.M. **Hantemirov**, M.M. Naurzbaev, and K. Nicolussi
  10. Trends in recent temperature and radial tree growth spanning 2000 years across northwest Eurasia / K.R. Briffa [et al.] // *Philosophical Transactions of the Royal Society*, B.-2008.-Vol. 363, N 1501, Supl. 12. - P. 2271-2284.- Авт.: K.R. Briffa, V.V. Shishov, T.M. Melvin, E.A. Vaganov, H. Grudd, R.M. **Hantemirov**, M. Eronen, M.M. Naurzbaev
  11. **Хантемиров** Р.М. Изменения климата и формирование возрастных поколений лиственницы на полярной границе леса на Ямале / Р.М. Хантемиров, А.Ю. Сурков, Л.А. Горланова // *Экология*.-2008.-N 5. - С. 323-328.
  12. Trends and uncertainties in Siberian indicators of 20<sup>th</sup> century warming / J. Esper [et al.] // *Global Change Biology*.- 2009.- doi: 10.1111/j.1365-2486.2009.01913.x.- Авт.: J. Esper, D. Frank, U. Buntgen, A. Verstege, R.M. **Hantemirov**, A.V. Kirilyanov.
- б) В прочих изданиях:
13. **Hantemirov** R.M. A 2,305 year tree-ring reconstruction of mean June-July temperature deviations in the Yamal Peninsula / R.M. Hantemirov // Intern. conf. on past, present and future climate: Proc. of the SILMU conf. held in Helsinki, Finland, 22-25 Aug. 1995.-Helsinki, 1995.-P. 124-127.
  14. **Хантемиров** Р.М., Сурков А.Ю. 3243-летняя древесно-кольцевая реконструкция климатических условий для севера Западной Сибири / Р.М. Хантемиров, А.Ю. Сурков // *Проблемы общей и прикладной экологии: Материалы молодеж. конф.*-Екатеринбург: Екатеринбург, 1996.-С. 266-278.
  15. **Хантемиров** Р.М., Шиятов С.Г. Радиоуглеродные и дендрохронологические датировки полуископаемой древесины на Ямале и их использование для изучения динамики лесотундровых экосистем / Р.М. Хантемиров, С.Г. Шиятов // *Биота Приуральской Субарктики в позднем плейстоцене и голоцене: Сб. науч. тр. / РАН. УрО. Ин-т экологии растений и животных.*-Екатеринбург: Екатеринбург, 1999.-С. 3-22.



16. **Хантемиров** Р. М. 4309-летняя древесно-кольцевая хронология для Ямала и ее использование для реконструкции климата прошлого на севере Западной Сибири / Р.М. Хантемиров // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем.-СПб.: Гидрометеиздат, 2000.-Т. 17. - С. 287-301.
17. Методы дендрохронологии: Учеб.-метод. пособие / С.Г Шиятов, Е.А. Ваганов, А.В. Кирдянов и др.; Отв. ред.: Е.А. Ваганов, С.Г. Шиятов; РАН. СО. Ин-т леса им. В. Н. Сукачева, УрО. Ин-т экологии растений и животных и др.-Красноярск: КрасГУ. Ч. 1: Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации.-2000.-81 с.:ил., табл. -Авт.: Шиятов С.Г., Ваганов Е.А., Кирдянов А.В., Круглов В.Б., Мазепа В.С., Наурзбаев М.М., **Хантемиров** Р.М.
18. Шиятов С.Г., **Хантемиров** Р.М. Дендрохронологическая датировка древесины кустарников из археологического поселения Ярте-6 на полуострове Ямал / С.Г. Шиятов, Р.М. Хантемиров // Древности Ямала / РАН. УрО. Ин-т истории и археологии и др.- Екатеринбург; Салехард, 2000.-Вып. 1. - С. 112-120.
19. Итоги и перспективы использования дендрохронологического метода для датировки археологических, исторических и этнографических памятников на территории ЯНАО / С.Г. Шиятов, В.С. Мазепа, Р.М. **Хантемиров**, В.М. Горячев // Научный вестник.- Салехард, 2000.-Вып. 3: Археология и этнография: Материалы науч.-исслед. конф. по итогам полевых исслед. 1999 г.- С. 49-56.
20. Климатогенная динамика лесотундровых экосистем на полуострове Ямал и в горах Полярного Урала / С.Г. Шиятов, В.С. Мазепа, Р.М. **Хантемиров**, О.Ю. Чехлов // Dynamics of natural and man-conditioned forest ecosystems: Proc. from the French-Rus. sci. seminar, Held in Yekaterinburg, oct. 11- 15, 2001=Природная и антропогенная динамика лесных экосистем.-Yekaterinburg, 2001.-Р. 81-85 - на англ. яз.; С. 85-90 - на рус. яз.
21. **Hantemirov** R.M., Surkov A.Y. Climate change and tree line dynamics in Northwest Siberia: tree ring reconstruction for the last 7000 years / R.M. Hantemirov, A.Y. Surkov // The ACIA International scientific symposium on climate change in the Arctic: extended absrt., Reykjavik, Iceland, 9-12 nov. 2004.-Oslo, 2004.-Poster session A2, paper 20.
22. **Хантемиров** Р.М. Дендрохронологическая датировка археологической древесины / Р.М. Хантемиров // Методика археологических исследований Западной Сибири: [сб. ст. и метод. рекомендаций] / [отв. ред. Л. В. Татаурова].- Омск: Фаворит, 2005.-С. 220-233.

23. Шиятов С.Г., **Хантемиров** Р.М. Климат Полярного Урала и Ямала в VII-XIV вв., реконструированный при помощи древесных колец деревьев / С.Г. Шиятов, Р.М. Хантемиров // Зеленый Яр: археологический комплекс эпохи средневековья в Северном Приобье / РАН, УрО, Ин-т истории и археологии [и др.]; [отв. ред. Н.В. Федорова].- Екатеринбург; Салехард: УрО РАН, 2005.-Прил. I. - С. 301-303.
24. 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; [отв. ред. Т.А. Радченко].- Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2005.-[Гл.] 3.2. - С. 90-106.- (Растения как тест-объект в мониторинге).
25. Дендрохронологические датировки археологических, исторических и этнографических памятников Западной Сибири / С.Г. Шиятов [и др.] // Археология и естественнонаучные методы: [Сб. ст. по итогам конф., 1-3 нояб. 2004 г.] / Науч. ред. и сост.: Е.Н. Черных, В.И. Завьялов.-М.: Языки славян. культуры, 2005.-С. 43-57.-Авт.: С. Г. Шиятов, Р. М. **Хантемиров**, В.М. Горячев, Л.И. Агафонов, М.А. Гурская.
26. Горланова Л.А., **Хантемиров** Р.М. Патологические структуры в годичных кольцах деревьев как индикаторы климатических экстремумов / Л.А. Горланова, Р.М. Хантемиров // Новые методы и дендрэкологии: материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием [Иркутск, 10-13 сент. 2007 г.] / РАН, СО, Сиб. ин-т физиологии и биохимии растений [и др.; отв. ред.: В.И. Воронин и др.]-Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2007.-С. 127-129.
27. Изменения климата и динамика древесной растительности на Ямале в течение последних 7200 лет / **Хантемиров** Р. М., Шиятов С.Г., Горланова Л.А., Сурков А.Ю. // Криогенные ресурсы полярных регионов: Междунар. конф.: материалы, [Салехард], июнь, 2007 / Науч. совет по криологии Земли РАН [и др.]-Пушино, 2007.-Т. 1. - С. 102-105.
28. **Хантемиров** Р.М. Реконструкция изменчивости температуры воздуха на Ямале по многотысячелетней древесно-кольцевой хронологии / Р.М. Хантемиров, С.Г. Шиятов, А.Ю. Сурков // Глобальные и региональные изменения климата и природной среды позднего кайнозоя в Сибири / РАН, СО, Ин-т археологии [и др.]; отв. ред. А.П. Деревянко.-Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008.-С. 358-362.- (Гл. 5: Тенденции и периодичность изменений климата Сибири в голоцене и их влияние на динамику экосистем).

---

Подписано в печать 01.06.2009 г.    Формат 60x84 1/16  
Усл. печ. л. 2,0. Бумага «Гознак» Тираж 100 экз. Заказ № 87

---

Отпечатано в типографии ООО «ИРА УТК»  
620075, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, 42, к. 1103.