На правах рукописи

Агафонов Леонид Иванович

ДРЕВЕСНО-КОЛЬЦЕВАЯ ИНДИКАЦИЯ ГИДРОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

03.02.08 – экология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

доктора биологических наук

Екатеринбург – 2011

Работа выполнена в Учреждении Российской академии наук
Институте экологии растений и животных Уральского отделения РАН

Научный консультант	доктор биологических наук, профессор **Шиятов Степан Григорьевич**
Официальные оппоненты:	доктор биологических наук, старший научный сотрудник **Арефьев Станислав Павлович**
	доктор биологических наук **Семериков Владимир Леонидович**
	доктор биологических наук, старший научный сотрудник **Черненькова Татьяна Владимировна**
Ведущая организация	Учреждение Российской академии наук Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения РАН

Защита состоится 25 октября 2011 г. в 11:00 часов на заседании диссертационного совета Д 004.005.01 в 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

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

Автореферат разослан "25" сентября 2011 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,

кандидат биологических наук Н.В. Золотарева

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Природа всех абиотических и биотических процессов в экосистемах сложна и многогранна и их познание усложняется еще более по причине взаимодействия этих процессов друг с другом. В последние десятилетия актуальной стала проблема крупномасштабных изменений природной среды и климата на Земле (МГЭИК, 2007). Эти изменения имеют как естественную природу, так и антропогенную составляющую, поскольку деятельность человека за последние столетия приняла глобальный характер воздействия на природную среду (Вернадский, 1977; Тейяр де Шарден, 1987).

В связи с наблюдаемыми глобальными изменениями климата, в последнее время уделяется много внимания гидрологическому циклу (МГЭИК, 2007; Оценочный доклад … , 2008; ACIA, 2005), поскольку он является важнейшим звеном климатической системы (Chahine, 1992; Pierrehumbert, 2002; Woo et al, 2007). Наиболее пристальное внимание уделяют стоку крупных рек северной Евразии, т.к. с территории РФ в Северный ледовитый океан ежегодно поступает 2172 км^3 речной воды, при этом сток трех великих сибирских рек – Оби, Енисея и Лены составляет более 1500 км^3 в год (Stein, 2000). Речной сток есть интегральный показатель климата (Воейков, 1948), но его изменения также связаны с регулирующим влиянием водохранилищ (Магрицкий, 2008; Adam et al., 2007), возможной деградацией многолетней мерзлоты (Smith et al., 2007; Walvoord, Strieg, 2007) и влиянием крупных лесных пожаров на величину речного стока (Conard, Ivanova, 1997; Chapin et al., 2000). Изменение гидрологического бюджета на водосборных бассейнах российских рек оказывает влияние на ледовитость арктических морей, транспорт распресненных вод в северную часть Атлантического океана и термохалинную циркуляцию атлантических океанических вод (Шикломанов, Шикломанов, 2003; Симонов, Христофоров, 2006; Aagaard et al., 1989; Peterson et al., 2002, 2006; Curry, Mauritzen, 2005; Hátún et al., 2005). В свою очередь названные процессы оказывают влияние на климат Северного полушария планеты (ACIA, 2005; МГЭИК, 2007).

В настоящее время проблема изменений природной среды и климата стала важным направлением научных исследований. Накоплены большие массивы инструментальных метеорологических наблюдений, анализ которых показывает, что действительно за последнее столетие произошли значительные изменения климата как на всей планете (МГЭИК, 2007), так и на территории России (Оценочный доклад … , 2008). Однако существует проблема сравнения состояний среды и климата последних ста лет с таковыми в прошлые столетия и тысячелетия. Эта проблема обусловлена недостаточной продолжительностью регулярных инструментальных наблюдений, которые для большинства территории России не превышает 80 лет. Таким образом, дать корректную оценку современных изменений в

историческом аспекте или сделать достоверные прогнозы развития природной среды и климатической системы, основываясь на коротких рядах инструментальных наблюдений, представляется проблематичным. В связи с этим, необходимость получения длительных высококачественных рядов информации о прошлых изменениях природной среды и составление детальной глобальной истории климата с максимально возможным разрешением в 1 год для последних 2000 лет является одной из приоритетных задач исследований в рамках Международной геосферно-биосферной программы (IGBP, 1996, 2001).

Решить проблему данных о климате и природной среде прошлого позволяют источники косвенной информации. Один из таких источников – годичные кольца деревьев. Продолжительность жизни деревьев может достигать нескольких тысяч лет и в годичных кольцах деревьев содержится информация о климате, гидрологическом режиме и других изменениях природной среды (Шиятов, 1986; Ваганов и др., 1996; Fritts, 1976; Surface temperature … , 2006; Dendroclimatology, 2011), при этом древесная растительность может быть надежным индикатором условий среды и природных процессов (Горчаковский, Шиятов, 1985; Schweingruber, 1996, 2007; Riparia, 2005). Наиболее полно индикаторные возможности деревьев используются в древесно-кольцевом анализе, который позволяет оценивать по величине радиального прироста деревьев изменения основных климатических переменных – температуры воздуха и осадков, а также гидрологические, геоморфологические, мерзлотные и сейсмические процессы (Шиятов, 1986; Ваганов, Шашкин, 2000; Fritts, 1976; Schweingruber, 1996; Tree Rings … , 2010). Дендрохронология (получение и анализ древесно-кольцевых хронологий) является наиболее точным методом исследования, который позволяет восстановить погодичную последовательность изменений климата и экологической обстановки прошлых лет в пределах конкретной территории, крупного региона или даже в глобальном масштабе за несколько столетий и тысячелетий (Fritts, 1976).

Цель исследования. Цель работы состояла в выявлении индикационных возможностей древесно-кольцевых хронологий (ДКХ) хвойных и лиственных видов деревьев в различных природных условиях Западной Сибири, и использование ДКХ для реконструкции гидролого-климатических условий прошлого.

Основные задачи исследования. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Собрать материал и построить ДКХ для лесных экосистем различных природных зон и условий произрастания на территории Западной Сибири.
2. Исследовать возможности ДКХ для индикации и реконструкции водности р. Обь и гидролого-климатических условий в Западной Сибири.

3. Исследовать возможность использования ДКХ для индикации и реконструкции развития термокарста на севере Западной Сибири.
4. Исследовать индикационные возможности ДКХ в долготном градиенте температуры воздуха на севере бореальной зоны в Западной Сибири.
5. В условиях умеренно сухого климата на юго-западе Западной Сибири исследовать возможности ДКХ для индикации и реконструкции климата.

Защищаемые положения:

1). Водность р. Обь периода открытого русла является важным климатообразующим и экологическим фактором условий произрастания деревьев в прибрежной зоне шириной до 500 м от русла реки. Выявлено охлаждающее влияние водности р. Обь в период открытого русла на радиальный прирост хвойных деревьев и выполнена 400-летняя реконструкция водности. Предложен новый подход для индикации высокой и низкой водности р. Оби за последние 400 лет.

2). В Западной Сибири водность крупных рек обуславливает гидрогенную динамику радиального прироста лиственных видов деревьев в пойменных условиях произрастания, а клеточная структура годичных колец этих видов может использоваться для индикации лет с высокими и продолжительными половодьями.

3). Водность нижнего течения р. Обь, формируя специфический температурный режим воздуха и почв прибрежной зоны в осенний период, оказывает влияние на радиальный прирост следующего года у основных видов лесообразователей – ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) и кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour.). Значимые связи прироста ели и кедра с температурой воздуха октября предшествующего года позволяют выполнять реконструкцию температуры этого месяца.

4). Дендрохронологический подход в исследовании современного термокарста позволяет реконструировать его прошлые границы и определять скорость развития термокарста во времени и пространстве, выявлять возможные причины возникновения и движущие силы этого процесса.

5). На севере Западной Сибири ДКХ основных видов лесообразователей – ели сибирской и лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) чувствительны к изменениям долготного градиента температуры воздуха. Чувствительность ели и лиственницы возрастает в направлении с запада на восток. Интенсивность и частота формирования светлых годичных колец у обоих видов не связана с долготным градиентом температур.

6). Сезонная оценка связей радиального прироста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) с температурой воздуха и атмосферными осадками в условиях сухого климата на юго-западе Западной Сибири и в Зауралье позволяет выявить преимущественное влияние атмосферных осадков на радиальный прирост. Получена 350-летняя реконструкция сумм сезонных осадков (апрель-июнь), достоверность которой подтверждается

историческими данными о колебаниях уровней воды в степных озерах на юге Западной Сибири и Казахстана от Урала до р. Обь.

Научная новизна и теоретическая значимость. Представленная диссертационная работа является обобщением результатов двадцатипятилетних дендрогидрологических, дендроклиматических и дендрокриологических исследований автора на значительной территории Западной Сибири практически во всех природных зонах. Предложены три авторских подхода использования ДКХ для изучения связей радиального прироста деревьев с климатом и водностью рек, а также для индикации мерзлотных процессов и гидролого-климатических условий в Западной Сибири. Впервые для условий российской Субарктики на основе охлаждающего влияния водности р. Обь на радиальный прирост хвойных деревьев из береговой зоны получена 400-летняя реконструкция водности периода открытого русла этой реки, а сопоставление реконструкции водности и температуры воздуха летних месяцев позволяет выявлять годы с высокой и низкой водностью.

Выявлено благоприятное влияние отепляющего эффекта водности р. Обь в осенний период на радиальный прирост хвойных деревьев береговой зоны в следующем году. Использование этого эффекта позволило впервые реконструировать температуру воздуха октября последних 250 лет по ДКХ кедра сибирского, ели сибирской и сосны обыкновенной.

Использование особенностей формирования креневой древесины в структуре годичных колец деревьев из зоны развития современного термокарста позволило впервые выполнить реконструкцию его границ во времени и пространстве и определить скорость распространения границ термокарстовой депрессии за последние 500 лет.

Дендроклиматические исследования в лесостепи и степной зоне на юго-западе Западной Сибири и в Зауралье позволили выполнить реконструкции сезонных (апрель–июнь) сумм осадков за последние 350 лет.

Представленные в диссертации исследования являются пионерными работами в области дендрогидрологии, дендроклиматологии и дендромерзлотоведения, расширяют возможности использования ДКХ в исследовании природных условий и процессов, и могут быть использованы в междисциплинарных исследованиях.

Обоснованность и достоверность результатов исследования. Достоверность полученных в работе результатов и выводов подтверждается обширным фактическим материалом, который был использован в работе. При обработке собранного материала использовали современное оборудование и программное обеспечение для измерения ширины годичных колец – установку LINTAB с пакетом программ TSAP. В работе использованы современные методы обработки и анализа данных, в т.ч. математико-статистический анализ выполняли в специальном пакете

прикладных программ для построения и анализа древесно-кольцевых хронологий Dendrochronological Program Library (DPL), а также в программах DENDROCLIM2002 и Seascorr. Исследования по теме диссертации были поддержаны Российским Фондом Фундаментальных Исследований, проекты №№ 96-05-64520-а; 00-05-65041-а; 04-04-96120-р2004Урал_а; 05-04-48298-а; 08-04-01215-а, в которых автор был руководителем проектов. Также автор был соруководителем международных проектов, поддержанных Советом по исследованиям природной среды (The National Environment Research Council), Великобритания, проект № GR9 3538; Немецким исследовательским обществом (Deutscher Forschungs Geseltschaft), Федеративная Республика Германия, проект № STR 253/7-1; Немецкой службой академических обменов (Deutscher Akademischer Austauschdienst – DAAD), – 4 гранта для стажировок автора в университетах гг. Регенсбург и Гёттинген, Федеративная Республика Германия, в 1999, 2002, 2005, 2008 гг.

Практическая значимость. Создана сеть из 30 постоянных дендрохронологических тест-полигонов, позволяющая вести мониторинг гидролого-климатических условий в Западной Сибири и Зауралье. Результаты исследований используются автором при чтении специального курса "Лесоведение" для студентов 4 – 5 курсов биологического факультета Уральского федерального университета.

Личный вклад автора. На протяжении 25 лет автор проводил дендрогидрологические и дендроклиматические исследования в Западной Сибири на водосборном бассейне р. Обь от лесотундры до степной зоны. За это время сформировались взгляды и представления автора о взаимодействии факторов климата, гидрологических условий и окружающей среды, и их влиянии на радиальный прирост хвойных и лиственных деревьев. Автор самостоятельно выполнил определение целей и задач, выбор и обоснование методов исследований, а также сбор полевого материала. Измерения ширины годичных колец в первые годы сбора материала выполнены автором, в дальнейшем помощь в измерениях оказывали сотрудники лаборатории дендрохронологии ИЭРиЖ УрО РАН Е.С. Сидорова, Н.В. Ухабина, М.А. Гурская, В.В. Кукарских. Дальнейшая обработка, – перекрестная датировка, анализ и обобщение полученных данных, выполнены автором.

Апробация работы. Основные результаты и положения работы были представлены и обсуждались на 12 российских и 14 международных конференциях. Устные доклады представлены на 8 международных конференциях: The Second International Conference on Climate and Water. Espoo, Finland, August 17-20, 1998; PAGES meeting on High Latitude Paleoenvironments, Moscow, Russia, May 16-17, 2002; 6 International Conference on Dendrochronology, Quebec City, Canada, August 22-27, 2002; The ACIA, International Scientific Symposium on Climate Change in the Arctic. Reykjavik, Iceland, November 9-12, 2004; Tree-rings in archaeology, climatology

and ecology, Freibourg, Switzerland, April 23-25, 2005; River Detour Management of Forested Water Retention Areas, Kehl, Germany, November 17-19, 2005; Криогенные ресурсы полярных регионов. Салехард, Россия, 17-21 июня, 2007; International Precipitation Conference (IPC10), Coimbra, Portugal, June 22-26, 2010.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 28 работ, из них 11 в журналах из списка ВАК.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа изложена на 231 страницах, состоит из введения, семи глав, выводов, списка литературы (указаны ссылки на 397 публикаций, из них 229 на английском языке) и приложения. Диссертационная работа иллюстрирована 97 рисунками и содержит 32 таблицы.

Глава 1. ДРЕВЕСНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ КАК ИНДИКАТОР ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

В главе приводится определение термина "фитоиндикация", "дендроиндикация" (Горчаковский, Шиятов, 1985) и основные положения об использовании древесно-кольцевых хронологий как наиболее точного метода исследований. Здесь же описан общий методологический подход, используемый в диссертационной работе. Приводится краткий обзор отечественных и зарубежных публикаций по использованию ДКХ для индикации и реконструкции гидрологических и климатических переменных.

Глава 2. ГИДРОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ В ПОЙМЕ Р. ОБЬ: ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ И СОБСТВЕННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Река Обь является одной из крупнейших рек мира. Ее протяженность равна 3650 км, а водосборный бассейн занимает четвертое место в мире (2990 тыс. км^2), что сопоставимо с территорией Западной Европы. Площадь крупнейшей в Северном полушарии поймы, только в пределах нижней Оби, занимает 21 тыс. км^2 (Ландшафтно-гидрологические характеристики … , 1989). Этот уникальный природный феномен возник благодаря геоморфологическим особенностям строения Западно-Сибирской равнины и гигантскому стоку р. Обь, многолетняя средняя величина которого в створе гидрологического поста (гп) Салехард варьирует от 394 км^3 до 429 км^3 в год (Мировой водный баланс … , 1974; A reassessment ... , 1996). Основной объем стока приходится на период открытого русла в мае-октябре, на который приходится 70% от годового стока Оби в обычные годы и до 90% в годы высокой водности (Государственный водный кадастр, 1984). Продолжительность затопления поймы может длиться до 130 дней, а

максимальный уровень половодья в различных пойменных районах достигает 7-12 м (1941, 1979 гг.) над уровнем летне-осенней межени (Петров, 1979; Ландшафтно-гидрологические характеристики … , 1989; Природа поймы … , 1992; Агафонов, 2010). Длительность периода открытого русла в среднем составляет 167 дней и может варьировать от 136 до 207 дней. Со стоком Оби осуществляется перенос огромного количества тепла с юга на север. Величина теплового стока зависит от объема водного стока р. Обь и в створе гп Салехард в среднем равна 3325 млрд. Мкал. в год (Одрова, 1980). Максимальное количество тепла переносится в многоводные годы – до 4675 млрд. Мкал (1947 г.), а минимальное – в годы низкой водности, – до 1778 млрд. Мкал (1967 г.).

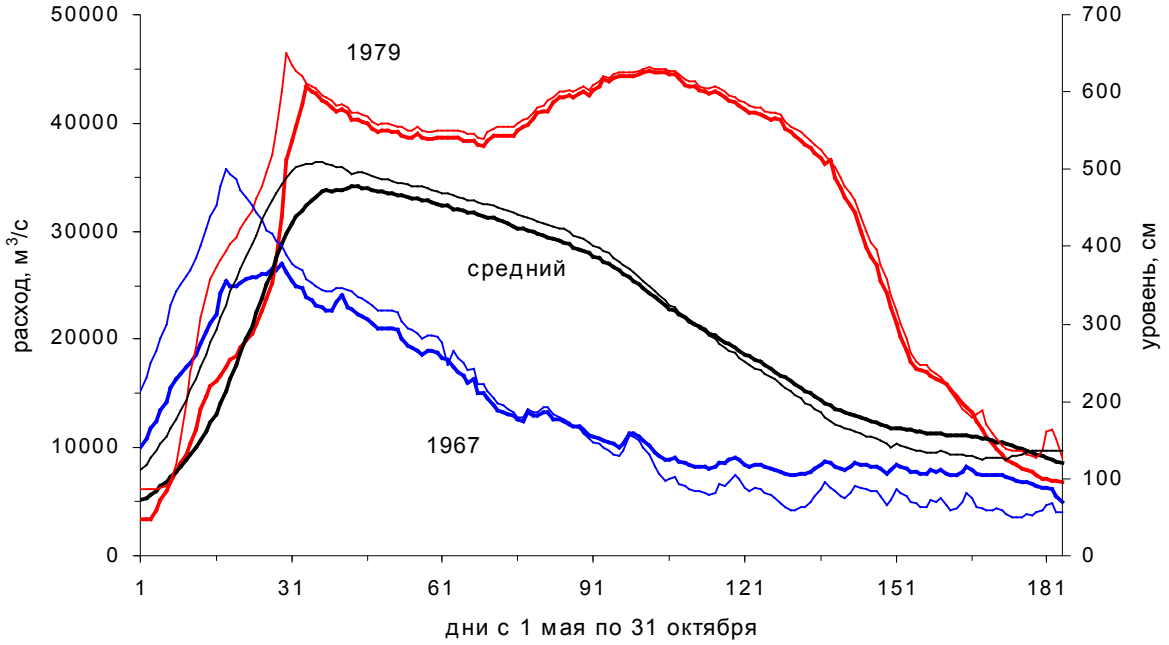


Рисунок 1 – Суточные гидрографы расхода воды (жирная линия) и суточных уровней воды (тонкая линия) в годы высокой, средней и низкой водности

В гидрологии для характеристики водности рек используют объем стока ($м^3/с$). На протяжении 1000 км р. Обь объем стока вычисляется только на двух крайних точках – на гп Белогорье (1200 км от устья р. Обь) и гп Салехард (287 км от устья). Чтобы количественно представить водность Оби на участке между гп Белогорье и гп Салехард использовали данные инструментальных наблюдений за суточными уровнями воды на гп Октябрьское (расстояние от устья 907 км), гп Мужи (463 км от устья) и гп Салехард с момента их открытия в 1922 и 1933 гг. Суточные уровни воды суммировали для каждого года за весь период открытого русла от даты ледохода до даты ледостава, а также для каждого месяца с мая по октябрь. Полученные значения позволяют дать количественную оценку сезонной и многолетней динамики водности р. Обь. Поскольку связь между расходами и уровнями воды высокая для лет разной обеспеченности стока (r = 0.97-0.98, данные гп Салехард; рис. 1), сумму суточных уровней периода открытого

русла использовали для характеристики водности Оби на каждом из гидрологических постов.

Данные о суточных уровнях и расходах воды для всех гидрологических постов получены в Арктическом и Антарктическом научно-исследовательском институте (ААНИИ) Росгидромета РФ, г. Санкт-Петербург. Связи между температурой воздуха, воды и водностью Оби прослежены на трех пунктах, где есть метеостанции и гидрологические посты: Октябрьское, Мужи и Салехард. Данные табл. 1 позволяют сделать вывод, что Обь оказывает сильное влияние на температуру воздуха поймы. Влияние водности на температуру воздуха неоднозначно в течение периода открытого русла. Существует хорошо выраженный отепляющий и охлаждающий эффект стока р. Обь на температуру воздуха (Агафонов, Мазепа, 2001).

Таблица 1 – Коэффициенты корреляции (*r*) между температурой воздуха и водностью р. Обь

Месяц						
V	VI	VII	VIII	IX	X	V-X
Октябрьское (1922-1996 гг.)						
0.34*	-0.18	-0.30*	0.11	0.10	0.20	-0.47*
Мужи (1934-1996 гг.)						
0.61*	-0.33*	-0.12	-0.21	0.02	0.35*	-0.46*
Салехард (1934-1996 гг.)						
0.45*	-0.28*	-0.25*	-0.16	0.07	0.34*	-0.44*

Примечание – *Различия статистически достоверны при $p<0.05$

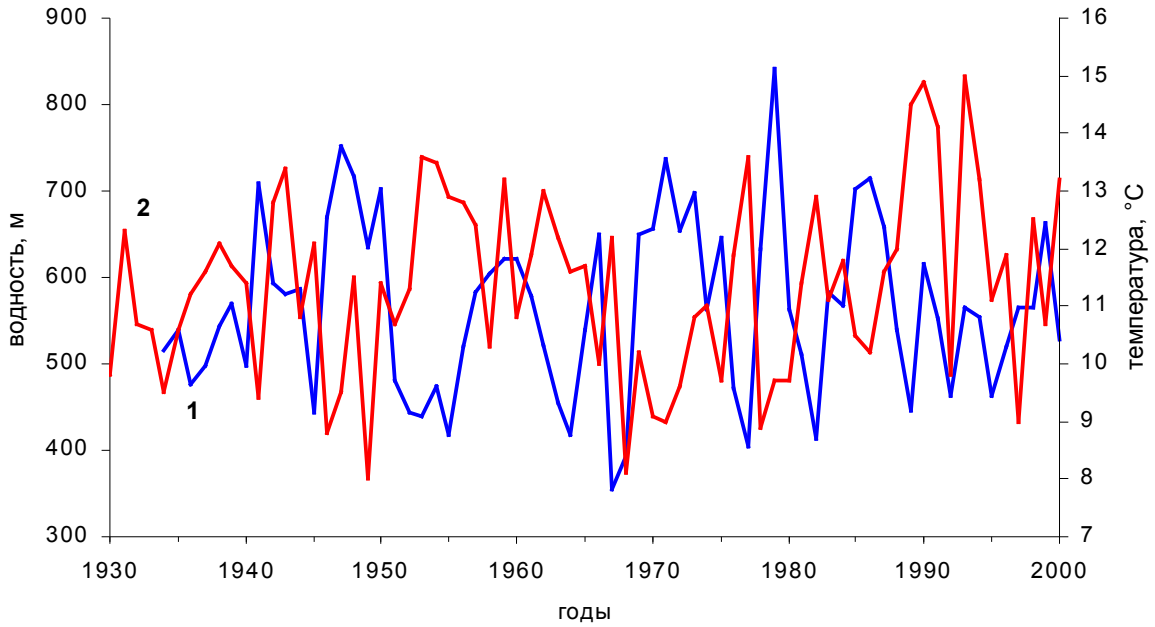


Рисунок 2 – Многолетняя динамика водности р. Обь (1) и средней температуры воздуха июня–июля (2) по данным гп и мс Салехард

Сравнение графиков средней температуры летних месяцев и водности р. Оби показывает, что сериям лет с высокой водностью соответствуют серии лет с пониженными температурами воздуха, что свидетельствует об охлаждающем влиянии водности р. Обь на атмосферный воздух (рис. 2). Следовательно, водность р. Обь является важным фактором формирования местного климата и оказывает влияние на экосистемы береговой зоны.

В 2004-2010 гг. в долине р. Обь в 80 км к югу от гп Салехард, в зоне многолетней мерзлоты вели наблюдения за температурой воздуха и почвы на профиле с лесной растительностью, перпендикулярном главному руслу реки от уреза воды и на 500 м вглубь от берега (рис. 3). В зависимости от геоморфологических и геоботанических особенностей на профиле установлены почвенные (глубина установки 15 см) и воздушные (высота установки 1.8 м) регистраторы температуры UTL-1 (GEOTEST, Швейцария).

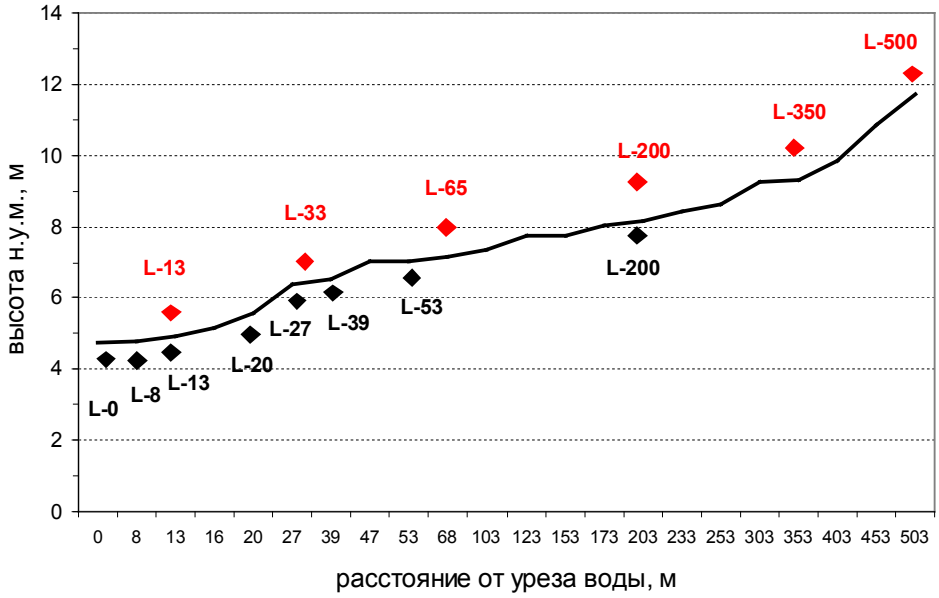
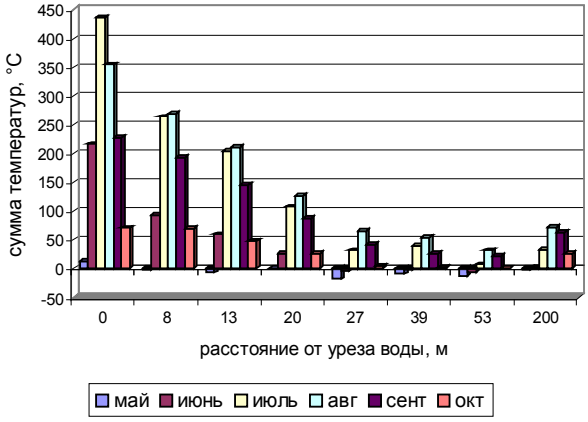
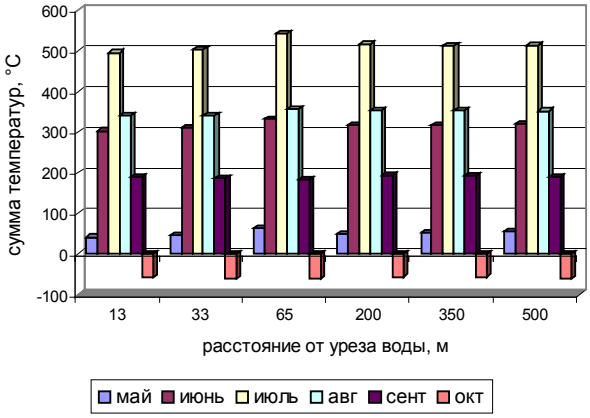


Рисунок 3 – Расположение на профиле температурных регистраторов по мере удаления от уреза воды. L-0 … L-500 – регистраторы температуры (черные– почвенные, красные – воздушные) с указанием удаления от уреза воды



А



Б

Рисунок 4 – Усредненные за 7 лет суммы средних месячных температур почвы (**А**) и воздуха (**Б**) вдоль экологического профиля

Целью наблюдений было выявление особенностей формирования гидролого-климатических режимов в прибрежной зоне при различных температурных и гидрологических условиях. Наблюдения показали различия в суммах почвенных температур вдоль профиля (рис. 4А). Наиболее благоприятный температурный режим почв выявлен в полосе до 20 м от максимального уреза воды. В 8 м от уреза воды начинается снижение сумм июньских температур более чем в 2 раза, а июльские и августовские температуры снижаются на треть, снижение сентябрьских и октябрьских температур менее выражено. С удалением от уреза воды вклад сентябрьских и октябрьских температур в общую сумму температур возрастает на интервале расстояний до 20 м, а вклад сентябрьских температур достаточно велик на всех последующих пикетах.

Наблюдения за температурой воздуха показывают, что температурное поле вдоль экологического профиля достаточно однородно (рис. 4 Б), но существует тенденция увеличения температур по мере удаления от уреза воды. Наибольший вклад в сезонную сумму температур вносит июль. На треть меньше от суммы температуры июля составляет сумма температур июня и августа, причем сумма августовских температур немного выше суммы июньских температур. Сумма температур мая имеет положительный знак, а сумма температур октября – отрицательный.

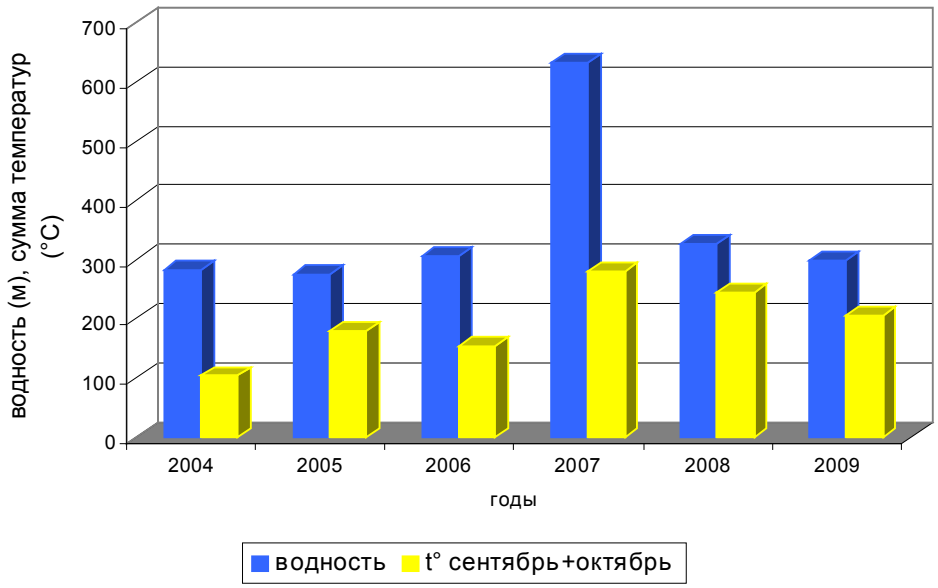


Рисунок 5 – Водность Оби и сумма суточных температур почвы сентября–октября в 13 м от максимального уровня подъема воды за 2004-2009 гг.

Водность р. Обь в 2007 г. была в 2 раза выше, чем в предыдущие и последующие годы (рис. 5). Средний высотный уровень поймы был затоплен 125 дней (в другие годы не более 70 дней). Температурный режим воздуха в 2007 г. отличался от других лет отрицательной суммой температур мая и наиболее высокими суммами температур июля. Для 2007 г. характерны высокие температуры почвы сентября и октября, превышающие таковые

температуры в 2004, 2005 и 2006 гг. в 1.5–2 раза (рис. 5). Увеличение температур почвы в 2007 г. в береговой зоне мы связываем с повышенной инфильтрацией тепла из воды в почву, и как результат отепляющего влияния высокой водности Оби на атмосферный воздух осенью.

Таким образом, можно констатировать, что водность р. Обь оказывает в береговой зоне отепляющее влияние на термический режим почв и охлаждающее влияние на температуру воздуха (кроме осеннего периода). Разница средних суточных температур воздуха между прибрежной зоной и в 500 м от берега достигает 2,5°С. Зона прямого влияния эмиссии тепла из речного стока на термический режим почв возможна до 30-40 м от уреза максимального уровня воды. Разница суточных температур почвы в зоне влияния водности р. Обь и за ее пределами достигает 15°С.

Глава 3. ДРЕВЕСНО-КОЛЬЦЕВАЯ ИНДИКАЦИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА РЕК В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Нижнее течение р Обь. Влияние водности р. Обь на радиальный прирост хвойных видов деревьев – кедра и лиственницы исследовали в Мужинском пойменном районе (Петров, 1979) Ямало-Ненецкого автономного округа. Здесь пойма Оби имеет ширину до 60 км, площадь зеркала воды при полном затоплении поймы занимает 4800 км^2, и в ней может аккумулироваться до 18.3 км^3 воды (Ландшафтно-гидрологические… , 1989). В главе 2 показано, что в пойме р. Обь хорошо выражен охлаждающий эффект водности на температуру воздуха. Установлено, что на радиальный прирост деревьев береговой зоны оказывает влияние водность текущего и предшествующего года (Агафонов, 1999, Агафонов, Мазепа, 2001; Agafonov, 1998). Связь прироста с водностью отрицательная (r= -0.32 – -0.40), что обусловлено охлаждающим влиянием водности на атмосферный воздух.

Таблица 2 – Характеристика стандартных древесно-кольцевых хронологий

Вид	Длительность хронологии	$r_{ср}$	M_S	Отношение сигнал/шум	AC1	PC1, %
К	1572-1988	0.44	0.24	13.3	0.72	47.7
К	1556-1986	0.45	0.26	13.8	0.69	47.9
Л	1554-1996	0.53	0.27	11.4	0.52	57.1

Примечание – К – кедр сибирский, Л – лиственница сибирская; $r_{ср}$ – коэффициент корреляции между индексированными индивидуальными ДКХ; M_S – коэффициент чувствительности; AC1 – коэффициент автокорреляции 1-го порядка; PC1 – изменчивость 1-й принципиальной компоненты

При реконструкции водности р. Оби периода открытого русла использовали данные гп Мужи (1934-1996 гг.) и две стандартные (Cook, Holms, 1997) ДКХ по кедру сибирскому и одну по лиственнице сибирской

(табл. 2) из прибрежной зоны останцов надпойменных террас Мужинского пойменного района. Водность открытого русла представлена суммой суточных уровней от ледохода до ледостава. Поскольку в хронологиях сильно выражено влияние условий предшествующего года на величину прироста в текущем году (табл. 2), то в реконструкции каждая хронология использовалась дважды, второй раз со сдвигом на 1 год назад.

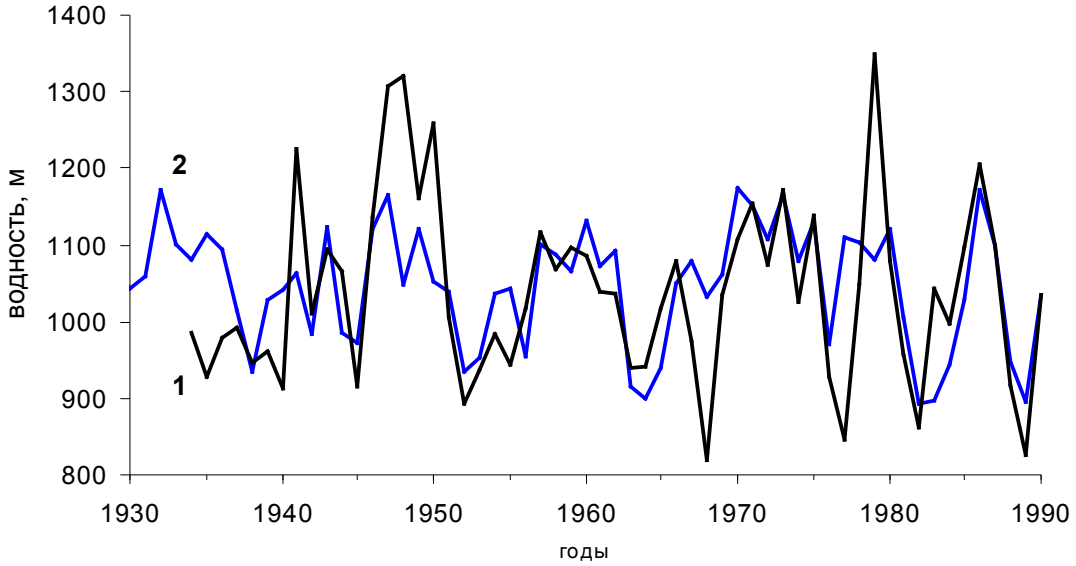


Рисунок 6 – Фактические значения водности р. Обь за период открытого русла (1) и их реконструкция по древесно-кольцевым хронологиям (2)

Реконструкция водности Оби периода открытого русла выполнена методом множественной линейной регрессии, имеет коэффициент корреляции с фактическими значениями 0.57 и удовлетворительно воспроизводит погодичную динамику водности р. Обь (рис. 6).

Реконструкция водности сравнивалась с реконструкциями температуры воздуха для севера Западной Сибири (Mazepa, 1995) и южной части полуострова Ямал (Hantemirov, Shiyatov, 2002), которые между собой имеют высокую корреляцию (r = 0.70) с 1600 по 1990 гг., 0.84 – для XVII столетия, 0.71 – для XVIII столетия, 0.81 – для XIX столетия, 0.85 – для XX столетия. Сопоставление реконструкции водности Оби с реконструкцией температуры воздуха на севере Западной Сибири (рис. 7 Б) показало значимую отрицательную связь между ними (r = -0.46) на всем 400-летнем реконструируемом периоде. Коэффициенты корреляции между водностью и температурой воздуха в XVII, XVIII, XIX и XX столетиях: -0.26, -0.48, -0.48 и -0.65 соответственно.

Сопоставление реконструкции водности Оби с реконструкцией температуры воздуха на южном Ямале с 1600 по 1990 гг. также дает значимую отрицательную связь между ними (r = -0.42). При этом коэффициенты корреляции между водностью и температурой воздуха в XVII, XVIII, XIX и XX столетиях оказались более высокими (-0.38, -0.25, -0.53 и -

0.69 соответственно), чем для реконструкции по северу Западной Сибири. В многолетней динамике реконструкций водности и температуры воздуха на протяжении всего анализируемого периода времени наблюдаются серии лет с постепенным снижением и увеличением водности, а изменения водности и температуры идут в противофазе (рис. 7). Сериям лет с высокой водностью соответствуют годы со снижением температуры и наоборот, что соответствует условиям в пойме р. Оби, которые охарактеризованы данными инструментальных наблюдений. Важная роль в изменчивости водности принадлежит климатическим элементам – атмосферным осадкам и испарению на водосборном бассейне, динамика которых обусловлена атмосферными циркуляциями (Кононова, 2009).

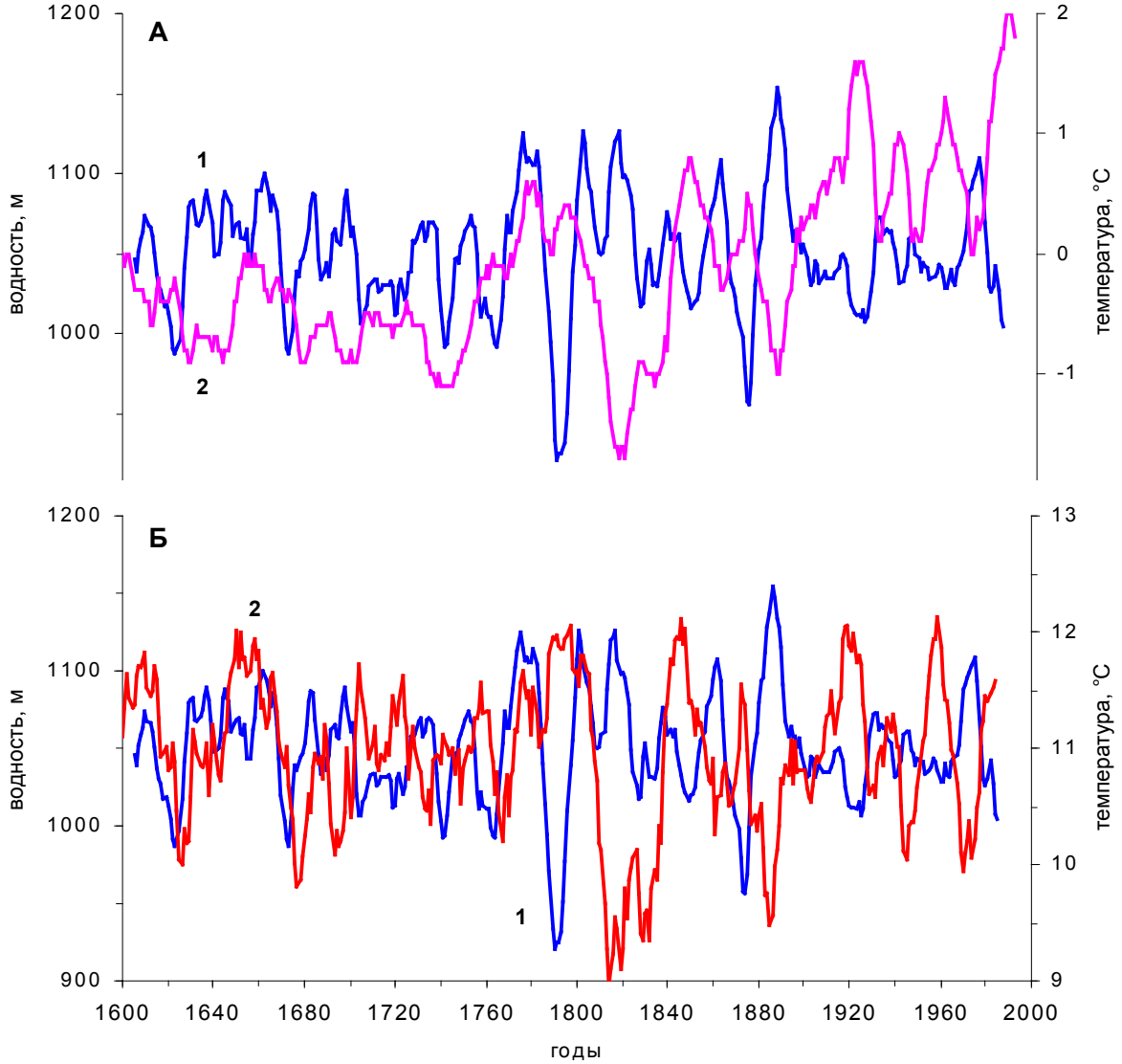


Рисунок 7 – Реконструкция водности р. Обь периода открытого русла (1) и средней температуры воздуха июня-июля (2), сглаженные 11-летней скользящей средней. **А** – сравнение с реконструкцией по южному Ямалу, **Б** – сравнение с реконструкцией по северу Западной Сибири

Асинхронность между водностью и температурой воздуха использовали для определения в прошлом лет с высокой водностью. Годы с

максимальными различиями между водностью Оби и температурой воздуха июня-июля можно с большой достоверностью интерпретировать как мало- или многоводные. Такой подход позволяет выделить многоводные и маловодные годы в XVII – XX столетиях.

В работах Т.Н. Жилиной (2009) и В.С. Мыглан (2010) из исторических источников упоминаются наводнения 1613, 1630, 1636, 1653, 1667, 1669 1732, 1761, 1767, 1784, 1794, 1804, 1810-1811, 1814, 1820, 1824-1825, 1835, 1847, 1856, 1859, 1889-1892 гг. Сведения о высокой водности Оби в 1862, 1882, 1891 гг. имеются в работе А.А. Дунина-Горкавича (1995). Из этих лет в реконструкции воспроизведены годы с высокой водностью (1732, 1820, 1825, 1862, 1882 и 1891 гг.). Следует отметить, что в источниках использованных Т.Н. Жилиной и В.С. Мыгланом информация о гидрологических явлениях имеет описательный, а не оценочный характер, поэтому сведения о половодьях далеко не всегда отражают водность р. Оби в период открытого русла. Сведения А.А. Дунина-Горкавича о гидрологических явлениях представлены как оценочные данные и заслуживают доверия.

Древесно-кольцевые хронологии ивняков нижней Оби. Анализировали ДКХ ивы белой (*Salix alba* L.) из поймы вблизи гп Октябрьское (62°27′ с.ш., 66°03′ в.д.) и ивы шерстистопобеговой (*S. dasyclados* Wimm.) из поймы вблизи гп Салехард (66°31′ с.ш., 66°36′ в.д.). Расстояние между тест-полигонами (ТП) 620 км по реке и 447 км по меридиану. Несмотря на удаленность ТП друг от друга, хронологии (рис. 8) имеют высокую корреляцию (r=0.54) и синхронность (s=79%).

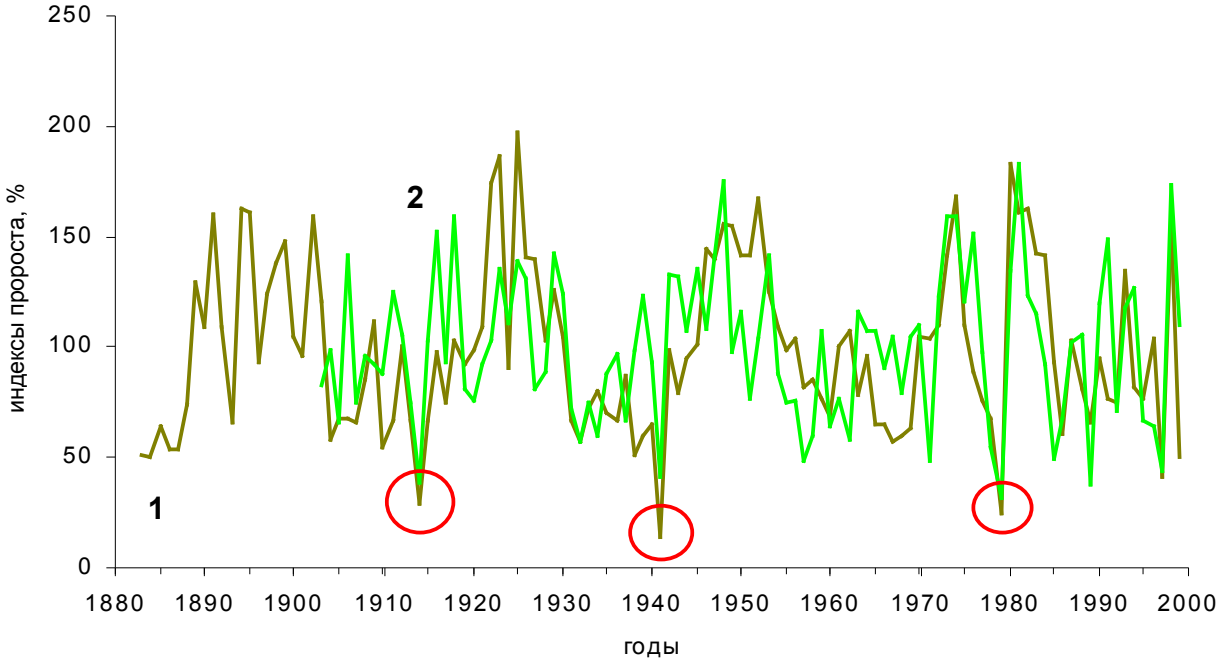
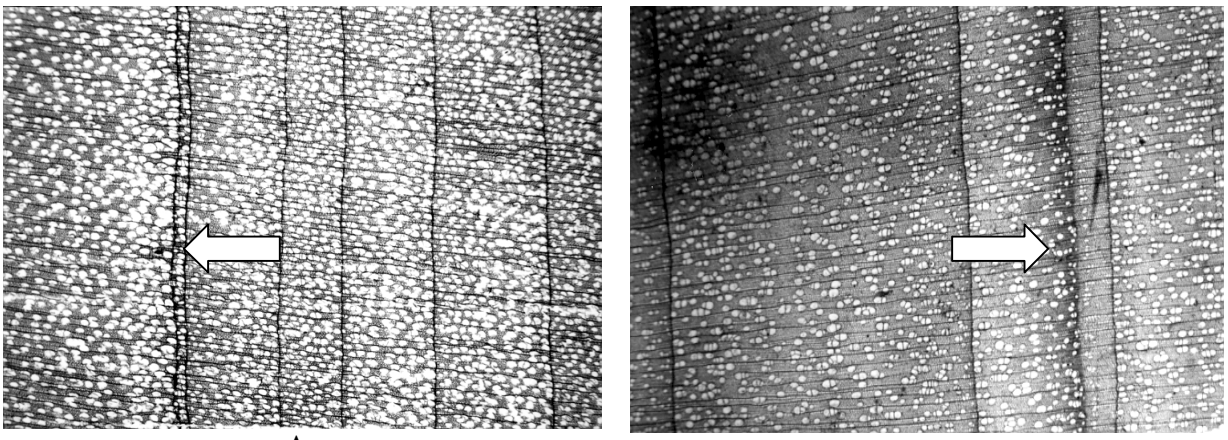


Рисунок 8 – Обобщенные хронологии индексов прироста ивы белой из Октябрьской поймы (1) и ивы шерстистопобеговой из Салехардской поймы (2). Кружками показаны годы с очень узкими годичными кольцами.

Коэффициенты чувствительности для обоих рядов 0.43 и 0.32, что свидетельствует о высокой чувствительности радиального прироста ивняков к погодичным изменениям природной среды. Анализ связей радиального прироста хронологий с температурой воздуха и атмосферными осадками показал, что эти факторы в условиях поймы не являются лимитирующими, а величина радиального прироста ивняков зависит от водности текущего и предшествующего года (Агафонов, 1995, 1998, 1999), коэффициент автокорреляции для деревьев из Октябрьской поймы 0.52, для деревьев из Салехардской поймы 0.50.

При перекрестной датировке ДКХ была отмечена встречаемость очень узких годичных колец в одни и те же годы. Аномалии клеточной структуры в годичных кольцах ивы белой, ивы шерстистопобеговой, осины (*Populus tremula* L.) характерны для 1914, 1941 и 1979 гг. Нарушения анатомического строения клеток годичных колец вызваны длительным и высоким затоплением деревьев. Изменения клеточной структуры имеют различный характер. На рис. 9 А показана последовательность годичных колец у ивы белой, среди которых имеется очень узкое кольцо, сформировавшееся в 1979 г. В этот год зафиксирован самый высокий уровень подъема воды и длительность половодья 130 дней.



А Б

Рисунок 9 – **А** – очень узкое годичное кольцо 1979 г. у ивы белой из Октябрьской поймы; **Б** – годичное кольцо осины 1979 г. из Салехардской поймы с аномалией клеточной структуры во 2-й половине сезонного роста годичного кольца

На рис. 9 Б показано годичное кольцо осины 1979 г. с аномалией клеточной структуры. Дерево росло в верхнем ярусе поймы и подверглось затоплению во второй половине сезона роста годичного слоя уже после начала формирования годичного кольца. Высокое и длительное половодье зафиксировано наблюдениями также в 1941 г. В 1914 г. инструментальные наблюдения за уровнями воды на нижней Оби еще не проводились, но ДКХ из обоих районов свидетельствуют (рис. 8), что в этом году высота и продолжительность половодья также были экстремально высокими. Таким

образом, ДКХ лиственных деревьев из пойменных мест произрастания являются надежными индикаторами экстремальных половодий на р. Обь.

Бассейн р. Тура. Река Тура приток третьего порядка р. Обь. Она имеет протяженность около 1000 км и площадь водосборного бассейна более 80 тыс. км^2. Ширина поймы достигает 10 км, половодье длится до 1.5 месяцев. Амплитуда колебаний уровня воды в период открытого русла до 8 м.

Для исследования выбран речной меандр (58° 29' с.ш., 62°34' в.д.) со старыми деревьями ивы белой и тополя черного (*Populus nigra* L.) в возрасте более 130 лет. Древостои в период половодья подвергаются затоплению на высоту до 3 м, о чем свидетельствуют следы отложения наилков на стволах деревьев. Связи радиального прироста ивы белой и тополя черного с температурой воздуха и атмосферными осадками не выявлены. Выявлена значимая корреляция прироста тополя черного (r=0.35) и ивы белой (r=0.38) с расходом воды в мае на гп Туринск (87 км от ТП) за 1936-1998 гг. (рис. 10) и отсутствует с расходами остальных месяцев периода открытого русла реки.

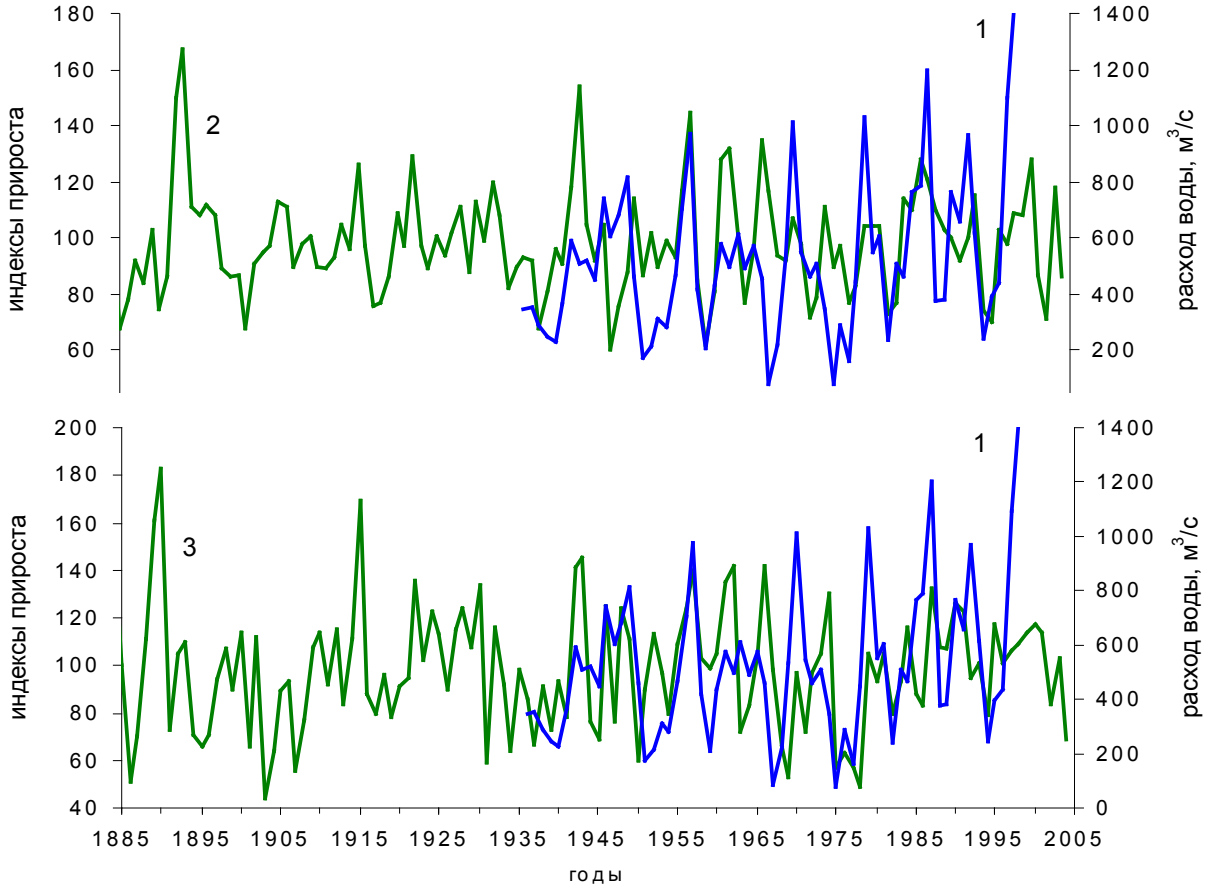


Рисунок 10 – Многолетняя динамика расходов воды р. Туры в мае (1) и индексы радиального прироста тополя черного (2) и ивы белой (3)

Связь прироста ивы белой и тополя черного с расходами воды обусловлена экологическими особенностями этих видов. Из всех видов деревьев, произрастающих в поймах рек на территории Западной Сибири, ивы и тополь способны произрастать в условиях широкого диапазона режима поемности и выдерживать длительное и высокое затопление (Бяллович,

1957). Полученные результаты показывают, что в динамике радиального прироста ивы белой и тополя черного присутствует хорошо выраженная гидрогенная компонента, объясняющая многолетнюю динамику прироста у этих видов деревьев.

Влияние площади водосборного бассейна. Сравнивали динамику радиального прироста пойменных ивняков в зависимости от площади водосборного бассейна. Использовали хронологии из поймы р. Обь (62°27′ с.ш., 66°03′ в.д., площадь бассейна 2,2 млн. км^2) и р. Тура (58°29' с.ш., 62°34' в.д., 27 тыс. км^2). Полученные хронологии отражают изменчивость прироста разной частоты (рис. 11).

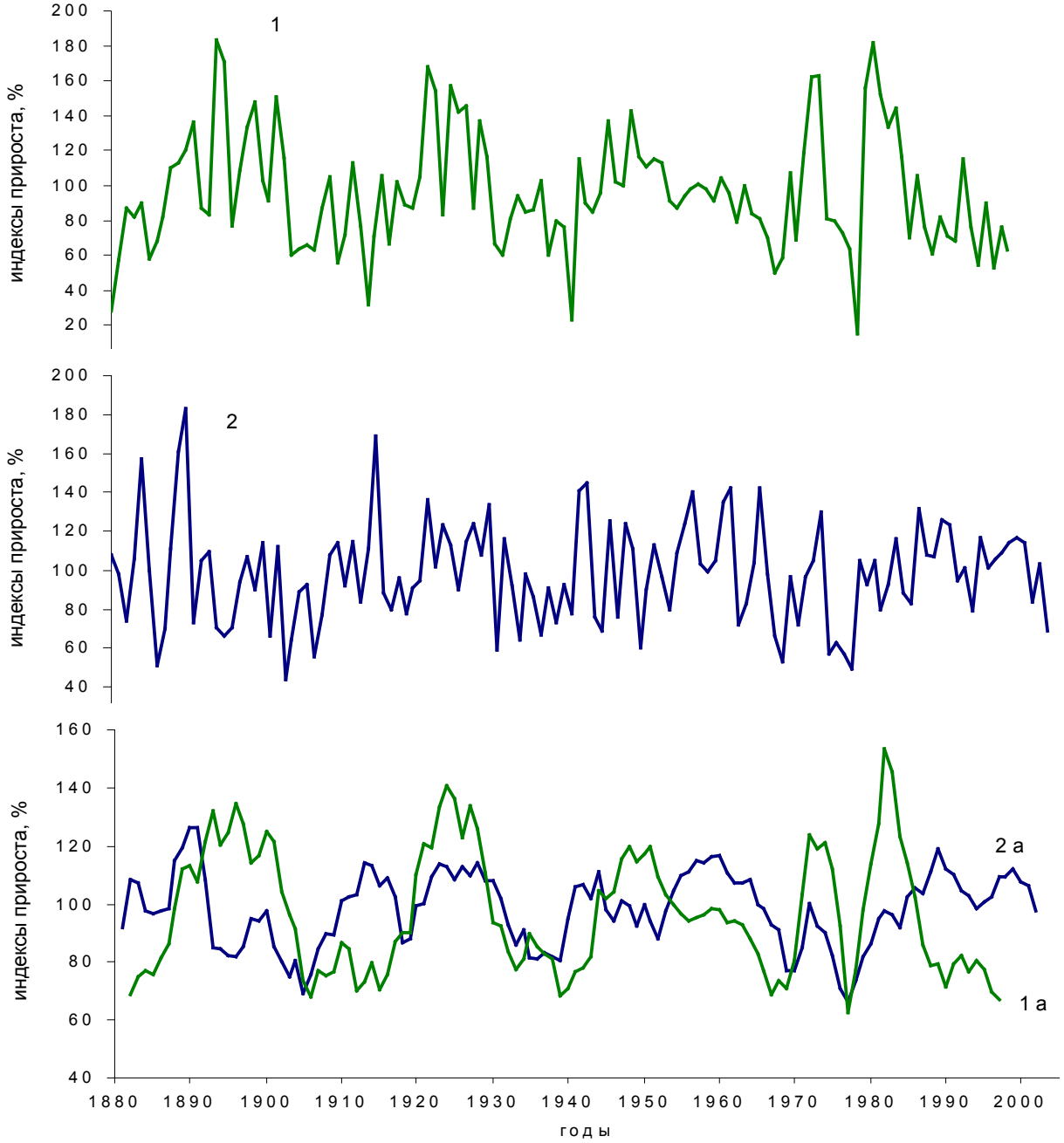


Рисунок 11 – Индексы прироста ширины годичных колец ивы белой из поймы нижнего течения р. Обь (1) и поймы р. Тура (2) и эти же хронологии, сглаженные 5-летней скользящей средней (1а и 2а соответственно).

Для прироста ивы в пойме Оби характерны низкочастотные циклы длительностью 25-30 лет (рис. 11, ряды 1 и 1а). В изменчивости прироста ивняков поймы р. Тура выражены 15-летние циклы (рис. 11, ряды 2 и 2а). Начало и окончание сдвоенных 15-летних циклов радиального прироста в ивняках поймы р. Тура совпадают с началом и окончанием 25-30-летних циклов прироста в ивняках поймы нижней Оби. Поскольку речной сток является интегральным показателем режима увлажненности водосборного бассейна (Воейков, 1948) и определяет погодичную и многолетнюю динамику радиального прироста ивняков, можно полагать, что цикличность радиального прироста отражает изменения увлажненности на водосборном бассейне и водности рек. Чем больше площадь водосборного бассейна, тем отчетливее выражены в радиальном приросте деревьев низкочастотные составляющие изменений климата, определяющие величину речного стока.

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что гидрологический режим крупных рек является фактором, определяющим многолетнюю динамику радиального прироста деревьев, произрастающих в пойме. В этом случае можно говорить о гидрогенной природе изменений радиального прироста деревьев.

Глава 4. ИНДИКАЦИЯ ГИДРОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ОСЕНИ ПРЕДШЕСТВУЮЩЕГО ГОДА ПО РАДИАЛЬНОМУ ПРИРОСТУ ДЕРЕВЬЕВ

Влияние температуры воздуха на радиальный прирост деревьев хорошо изучено (Шиятов, 1986; Ваганов, Шашкин, 2000; Fritts, 1976; Schweingruber, 1996). В Субарктике тесные связи прироста с температурой воздуха летних месяцев текущего года выявлены для деревьев рода *Larix*, что позволило выполнить древесно-кольцевые реконструкции температуры (Ваганов и др., 1996; Хантемиров, 2000; Шиятов и др., 2002; Наурзбаев и др., 2003; Сидорова и др., 2005; Hantemirov, Shiyatov, 2002; Naurzbaev et al., 2002; Briffa et al., 2004, 2008). Однако у деревьев с многолетней хвоей значимые связи радиального прироста с температурой воздуха текущего года зачастую не выражены, но выявлены связи с условиями предшествующего года (Ваганов, Качаев, 1992, Ваганов и др., 1996; Скомаркова и др., 2009; Агафонов, Гурская, 2010; Tardif et al., 1993; Savva et al., 2006). Исследования выполнялись преимущественно на водоразделах, однако в Западной Сибири, в пойме, водность Оби оказывает отепляющее влияние на температурный режим воздуха и почв в осенний период. В связи с этим была поставлена задача изучить влияние условий осени на радиальный прирост ели сибирской, кедра сибирского и лиственницы сибирской из прибрежной зоны и на удалении от неё. Работу проводили на 5 тест-полигонах из прибрежной зоны (ТП 1, 3, 4, 5, 6), а ТП 2 и 7 удаленны от берега на 3 и 80 км (рис. 12).

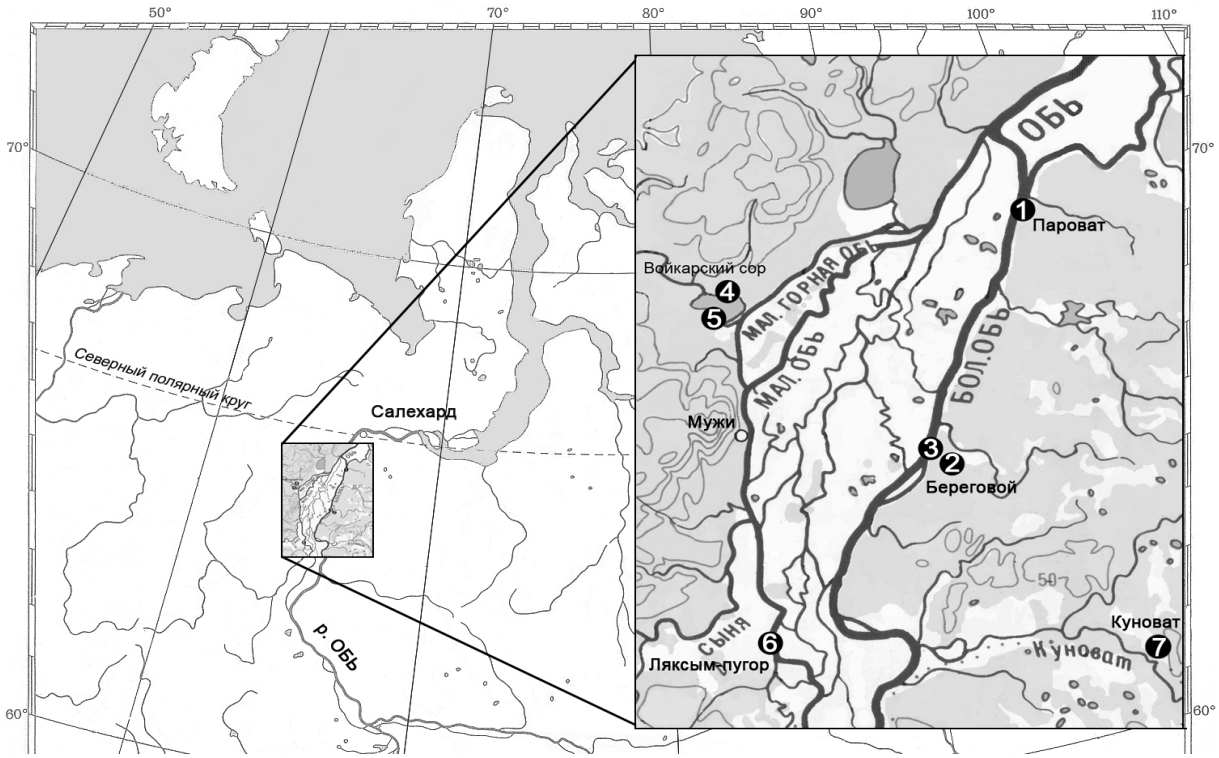


Рисунок 12 – Тест-полигоны (ТП) района исследования: 1 – ТП 1; 2 – ТП 2 (3 км от берега); 3 – ТП 3 (берег); 4 – ТП 4; 5 – ТП 5; 6 – ТП 6; 7 – ТП 7

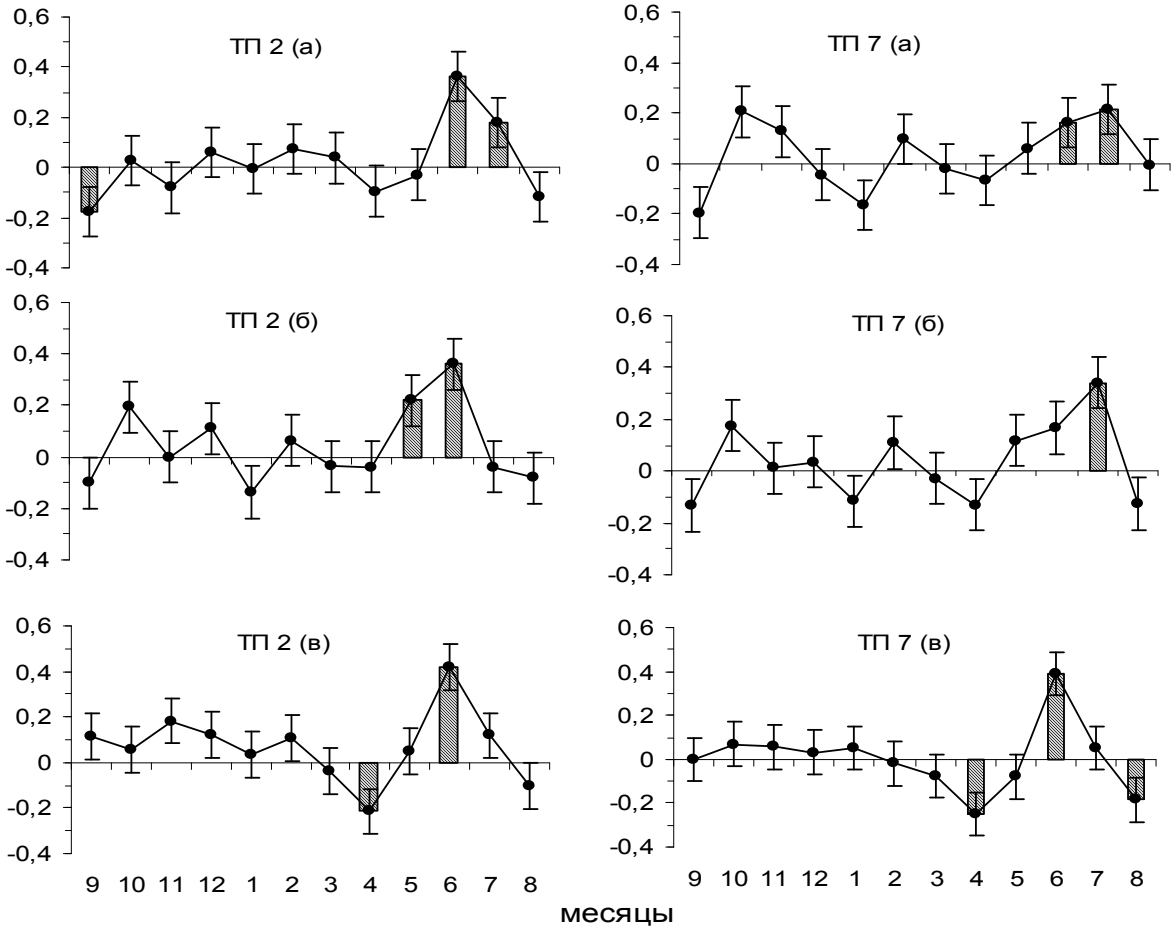


Рисунок 13 – Коэффициенты корреляции прироста с температурой воздуха на удаленных от берега тест-полигонах (ТП) 2 и 7 для ели (*а*), кедра (*б*) и лиственницы (*в*). Значимые коэффициенты корреляции показаны столбиком.

Анализ связи радиального прироста деревьев с температурой воздуха с сентября предшествующего по август текущего года выполнен в программе DENDROCLIM2002 (Biondi, Waikul, 2004). Использовали средние месячные температуры воздуха мс Салехард (1883-1999 гг.). Удаленность станции от тест-полигонов 75-185 км. На ТП 2 и 7 выявлено значимое влияние на прирост всех видов преимущественно температуры июня текущего года (рис. 13), а на ТП 1, 3, 4, 5, 6 – температуры июня и июля (рис. 14). Выявились явные различия связей прироста ДКХ из прибрежных и удаленных от берега ТП с температурой воздуха. Различия проявляются в связи прироста с температурой октября предшествующего года. Хронологии ели, кедра и лиственницы с ТП 2 и ТП 7 не имеют отклика прироста на температуру октября предшествующего года (рис. 13), тогда как хронологии с прибрежных ТП 1, 3, 4, 5 и 6 показали значимую связь прироста с температурой октября предшествующего года (рис. 14).

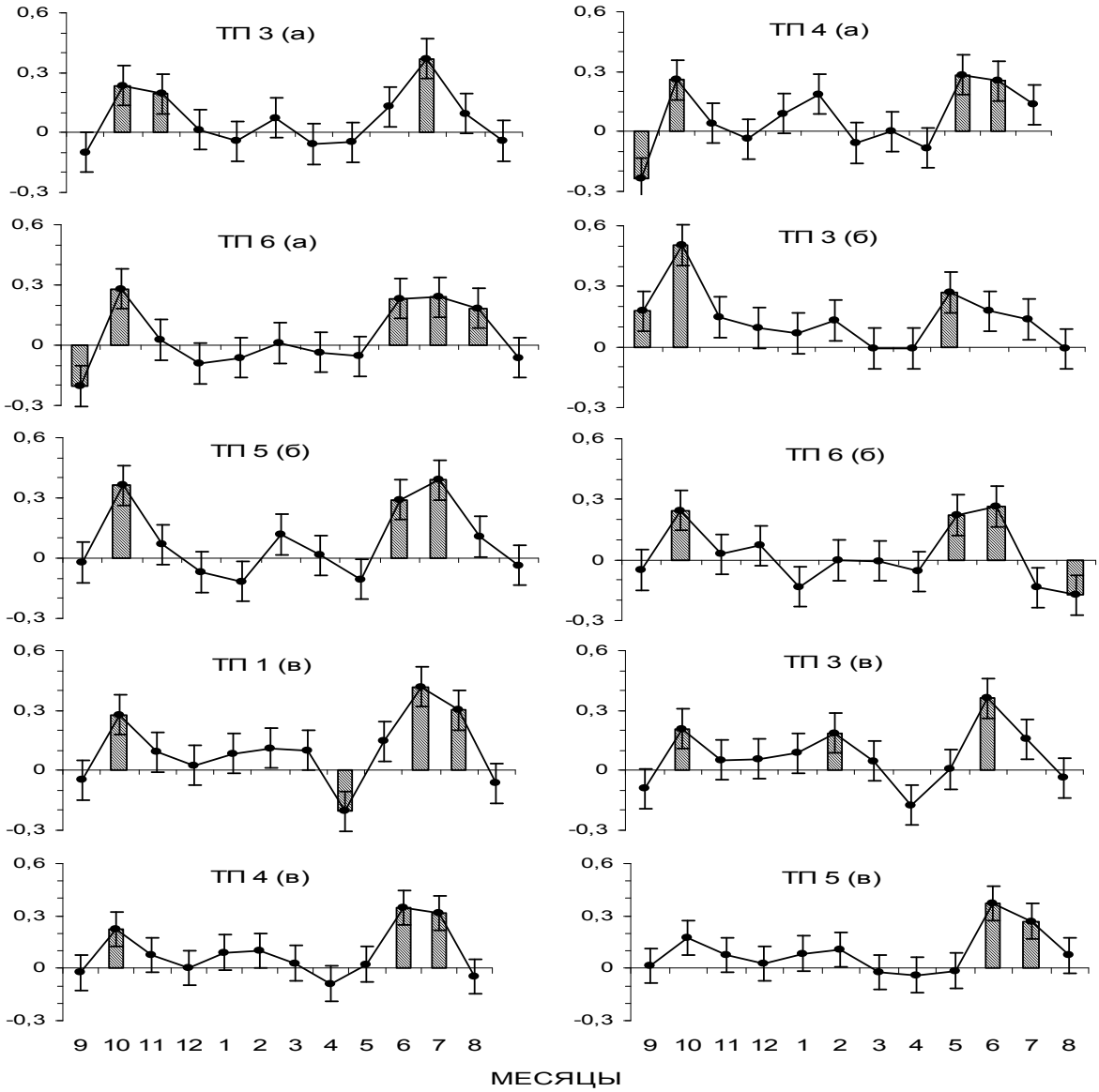


Рисунок 14 – Коэффициенты корреляции прироста с температурой воздуха на прибрежных тест-полигонах (ТП) 1, 3, 4, 5 и 6 для ели (*а*), кедра (*б*) и лиственницы (*в*). Значимые коэффициенты показаны столбиками.

Исключение составляет хронология по лиственнице с удаленного от основного русла Оби на 4 км ТП 5. Таким образом, можно утверждать, что отепляющее влияние водности р. Обь в конце сезона вегетации сказывается на величине радиального прироста в следующем году у ели, кедра и лиственницы, растущих в прибрежной зоны.

Отепляющее влияние можно связать с двумя физиологическими процессами. Во-первых, в сентябре – октябре физиологические процессы у деревьев направлены на подготовку к зимнему периоду покоя. Чем благоприятнее условия среды в это время, тем лучше дерево подготовится к зиме. Известно, что изменения ультраструктуры клеток мезофилла хвои, которые содержат наибольшее количество пластид, начинаются в августе, а в полной мере проявляются в сентябре – октябре (Физиология сосны … , 1990). Во-вторых, фотосинтез у хвойных деревьев (сосны, ели, лиственницы) осенью может быть достаточно активным и зависит от температуры воздуха и почвы, доступной почвенной влаги (Щербатюк и др., 1999; Суворова и др., 2003; Суворова, 2009). Фотосинтетическая продуктивность с 1 сентября до конца октября – первой декады ноября может достигать у сосны 14% от сезонной продуктивности, у ели – 20%, у лиственницы – 14% (Суворова и др., 2002), а фотосинтез может происходить при температуре воздуха до -7°С (Kozlowski, Pallardy, 1997), но при этом отсутствует транспорт ассимилятов и они депонируются в хвое или побегах (Физиология сосны … , 1990). Помимо хвои значительное количество пигментов содержится в коре молодых побегов, стволе, древесине, почках, в которых также происходит фотосинтез. Известно, что концентрация хлорофилла в коре побегов возрастает к концу сезона вегетации (Харук, 1982). Возможно, это объясняет специфическую реакцию радиального прироста текущего года у лиственницы из прибрежной зоны на температуру воздуха октября предшествующего года, поскольку на севере в средине сентября хвоя лиственницы желтеет и осыпается. Вероятно, интенсивность осеннего фотосинтеза способствует накоплению ассимилятов, которые используются для радиального прироста древесины в следующем году. В октябре на ТП в прибрежной зоне температурный режим воздуха и почв более благоприятен для фотосинтетической активности деревьев, чем на удаленных ТП, где отепляющий эффект стока Оби не выражен.

На ТП 2 и 3 исследовали частоту формирования морозобойных колец. Для этого все буровые образцы древесины были просмотрены с целью выявления морозобойных повреждений годичных колец. Морозобойные повреждения были найдены у кедра и ели на обоих ТП. У кедра было выявлено больше повреждений, чем у ели. В древесине лиственницы такие повреждения не выявлены. На удаленном от берега ТП 2 выявлено 8 лет, когда формировались морозобойные кольца у ели и 17 лет – у кедра. На береговом ТП 3 это соотношение составило 2 и 7 лет соответственно. Вблизи реки заморозки менее часты и не так сильны, по сравнению с ТП 2, т.к. река

уменьшает суточную амплитуду температуры воздуха. Понижение температуры до значений вызывающих морозобойные повреждения клеточной структуры случаются здесь значительно реже. Возрастание частоты морозобойных повреждений по мере удаления от берега связано с увеличением суточной амплитуды температуры воздуха.

Отепляющее влияние водности на радиальный прирост деревьев использовали для реконструкции температуры октября предшествующего года. Реконструкции выполнены методом множественной линейной регрессии с использованием хронологий кедра с ТП 3, ТП 5, ТП 6, и ели с ТП 4 и ТП 6, а также хронологии сосны обыкновенной из Березовского района (200 км южнее основного района исследования). Эта хронология была получена в 1997 г. и использовалась для исследования связи прироста с гидролого-климатическими переменными (Агафонов, 2008; Waterhouse et al., 2000). В реконструкциях все ДКХ сдвигались на 1 год назад. Реконструкция температуры октября представлены на рис. 15, 16, 17. Коэффициенты множественной линейной регрессии в реконструкции по кедру и ели в обоих случаях равны 0.58, R^2 = 0.34. В реконструкции по сосне эти коэффициенты 0.60 и 0.36 соответственно.

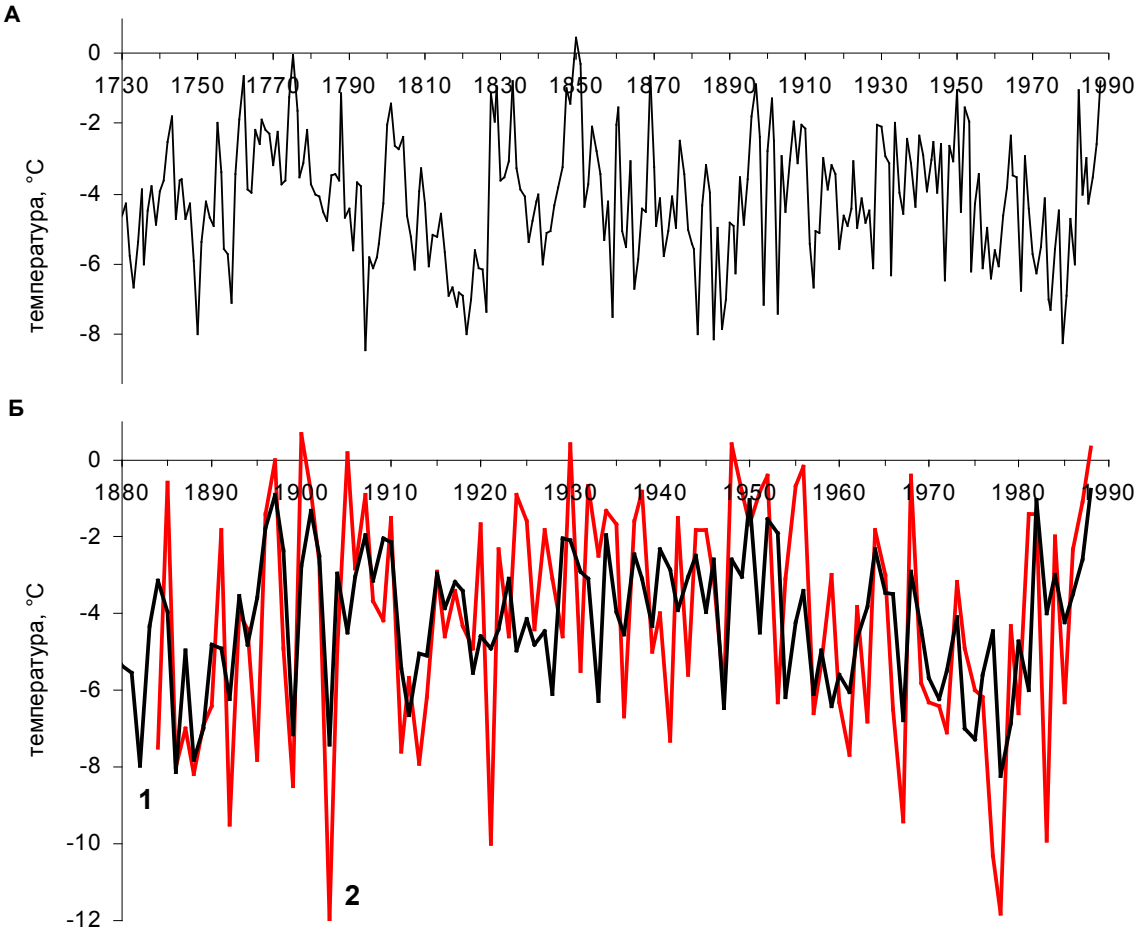


Рисунок 15 – Реконструкция температуры октября в Мужинском пойменном районе по ДКХ кедра сибирского: А - реконструированная температура, Б - фрагмент реконструкции (1) и инструментальные данные мс Салехард (2)

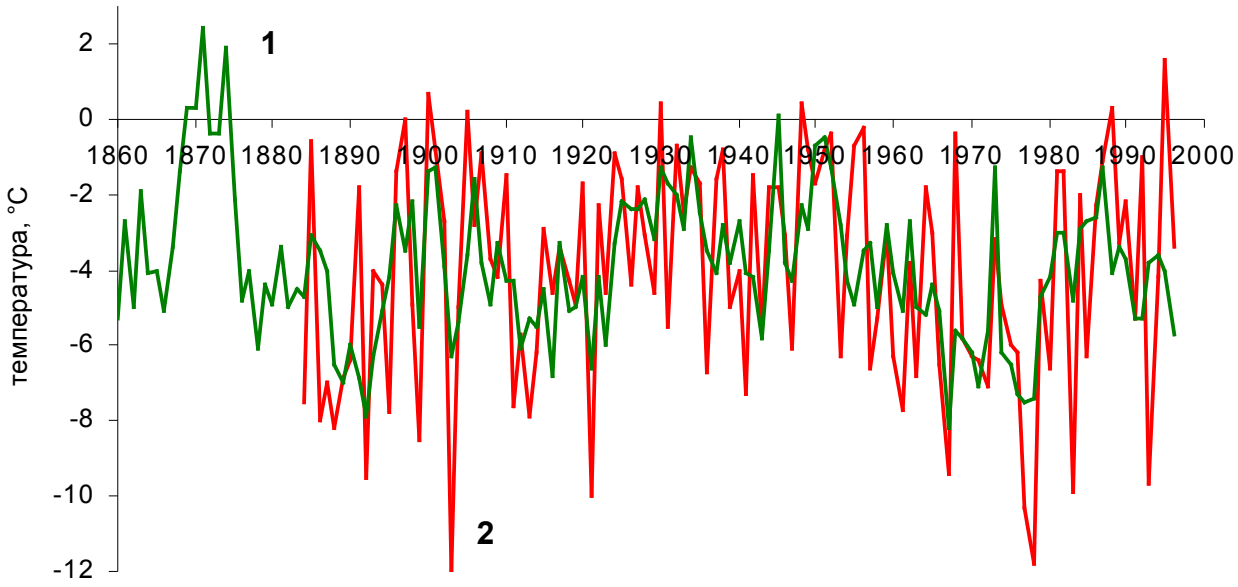


Рисунок 16 – Реконструкция температуры октября в Мужинском пойменном районе по ДКХ ели сибирской: 1 – реконструированная температура, 2 – инструментальные данные мс Салехард

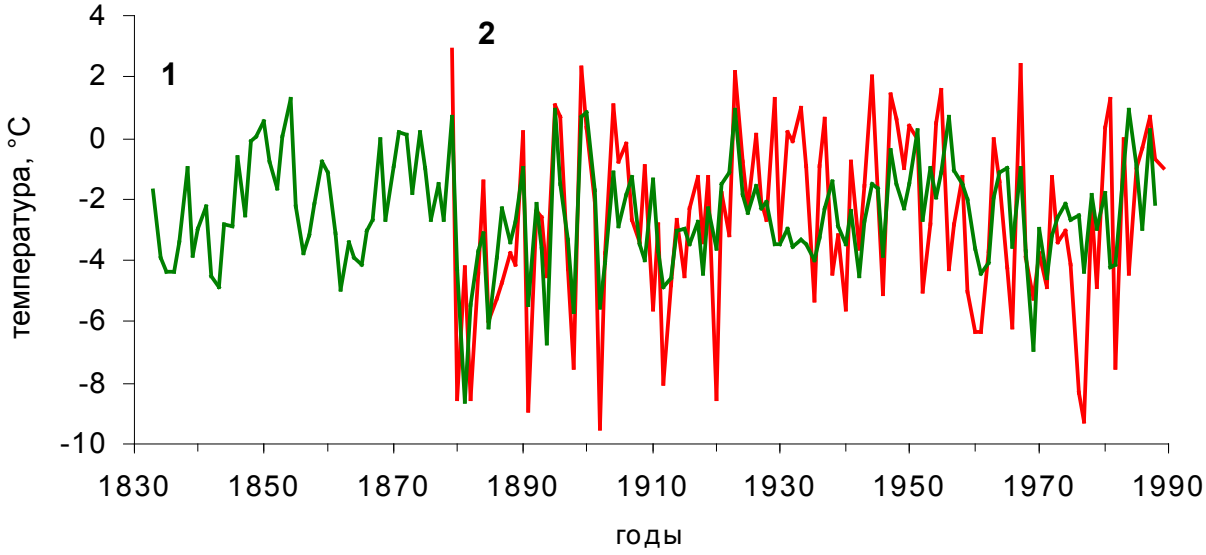


Рисунок 17 – Реконструкция температуры октября в Березовском пойменном районе по ДКХ сосны обыкновенной: 1 – реконструированная температура, 2 – инструментальные данные мс Березово

По результатам исследования можно констатировать, что в пойме нижнего течения р. Обь условия осени предшествующего года влияют на радиальный прирост ели, кедра и лиственницы в следующем году. Выявленные связи радиального прироста кедра, ели и сосны с температурой октября предыдущего года позволили реконструировать температуру воздуха этого месяца. Полученные реконструкции хорошо отражают многолетнюю динамику температуры воздуха октября, что расширяет возможности использования древесно-кольцевых хронологий.

Глава 5. ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКАЯ ИНДИКАЦИЯ РАЗВИТИЯ ТЕРМОКАРСТА НА СЕВЕРЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Криогенные процессы в зоне многолетней мерзлоты вызывают развитие специфических форм рельефа, таких как термокарст, который распространен на площади 0.7 млн. км^2 и формирует ландшафт Западной Сибири (Качурин, 1961). Образование и развитие термокарста обусловлено процессом протаивания – замерзания сезонно-талого слоя многолетней мерзлоты. Инструментальные наблюдения за мерзлотными процессами дают представления о современном состоянии многолетней мерзлоты, но не всегда отвечают на вопросы о ее прошлом. Использование живых деревьев и погребенных остатков древесины из зоны термокарста и применение метода древесно-кольцевого анализа позволяет воссоздать историю образования и развития термокарста (Агафонов и др., 2002; Payette, Delwaide, 2000; Agafonov et al., 2004; Payette et al., 2004; Camill, 2005).

Материал для дендрохронологического анализа собран на северо-западе Западной Сибири (65°03' с.ш., 64°42' в.д.). Выбранный элемент ландшафта – термокарстовая депрессия диаметром 80 м, со склонами крутизной 5°–20° (рис. 18). Древостой одновозрастный из кедра сибирского, состав древостоя 10К, средняя высота древостоя 10 м. Ложе термокарста на 1.5-2 м ниже окружающей поверхности, заросло мхами рода *Sphagnum*.

Рисунок 18 – Термокарстовая депрессия

Условия роста деревьев представлены 3-я типами: 1 – ровная поверхность за пределами термокарста, 2 – склон термокарста, 3 – термокарстовая депрессия. Сбор кернов и спилов древесины проводили в 3-х типах условий роста деревьев. Деревья с 1 типа условий приняты за контроль. Деревья со 2 и 3 типов условий роста использовали для индикации процесса развития термокарста. Для деревьев со склона термокарста и из депрессии измеряли расстояние от дерева до современной границы термокарстовой депрессии. На

участке склона с мерзлотой взято 13 спилов деревьев. Все деревья наклонены в сторону термокарста по причине склоновой солифлюкции и под действием силы гравитации. В депрессии в полосе 6 м взяты спилы с 15 деревьев, погруженных комлями стволов на глубину до 0.5 м в водонасыщенный сфагновый слой (рис. 18). На контрольном участке взяты керны с 10 живых деревьев без наклона ствола. Ширина годичных колец измерялась по двум радиусам. Наибольший радиус (R1) у спилов со склона ориентирован по наклону дерева в сторону депрессии. Второй радиус выбирали под углом к первому. У кернов и спилов отмечали годы формирования креневой древесины. Под кренью понимают изменение строения клеток годичного кольца древесины хвойных пород в зоне сжатия ствола при наклоне, что вызывает утолщение клеточных стенок и их лигнификацию (Боровиков, 1989). В зоне мерзлоты одной из причин крени может быть процесс склоновой солифлюкции. Периоды образования крени у деревьев на склоне показаны на рис. 19. Очевидна активизация образования крени на этом участке с 1950-1960-х годов до настоящего времени у всех деревьев.

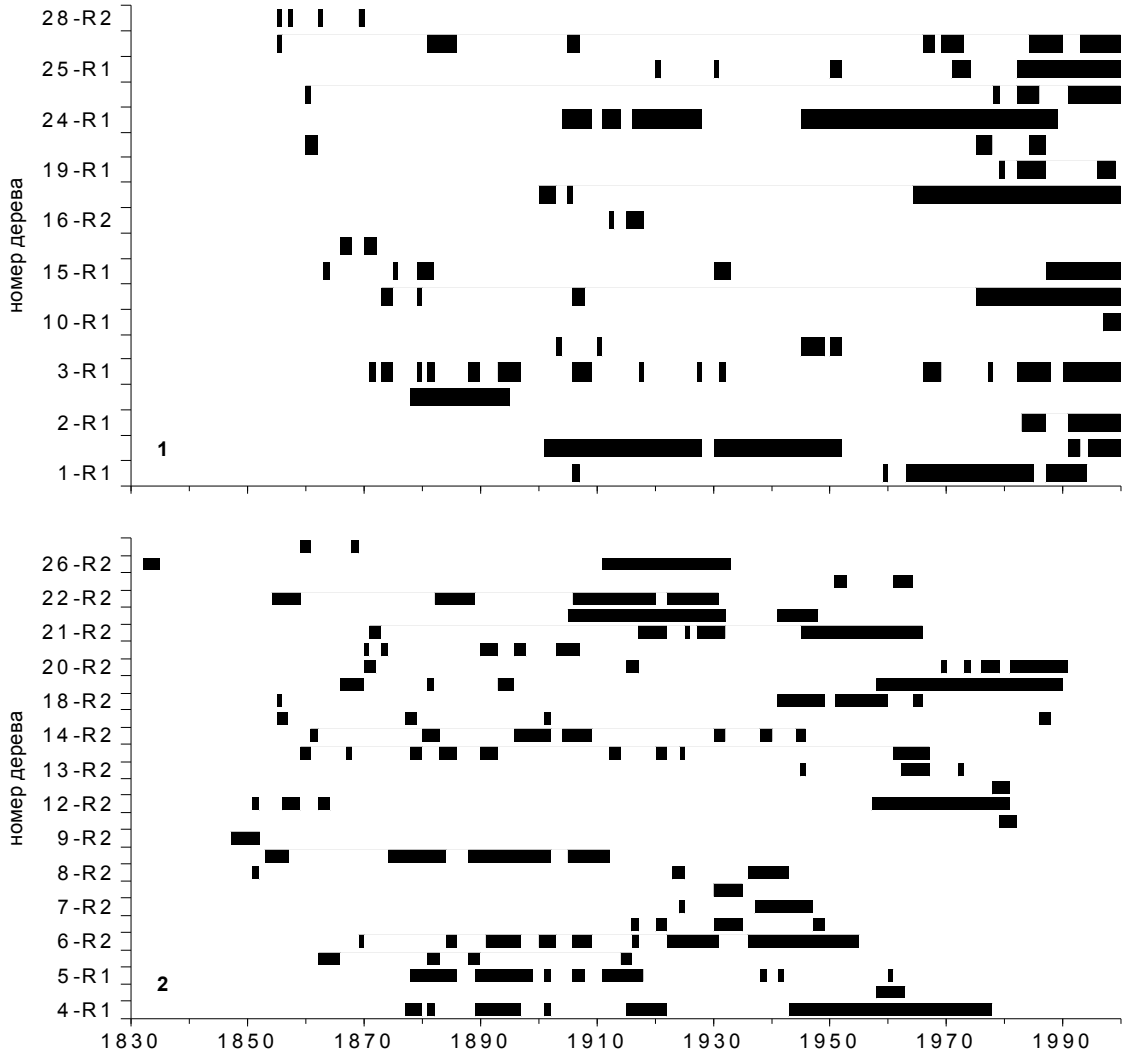


Рисунок 19 – Годы формирования креневой древесины (черные прямоугольники) у деревьев на склоне (1) и из термокарстовой депрессии (2). По оси ординат указаны номера деревьев и радиусов.

Изменения климата могут быть причиной развития термокарста. Чтобы найти климатическую переменную, ответственную за развитие термокарста, выполнили анализ аномальных явлений в динамике температуры воздуха и атмосферных осадков. В табл. 3 представлены положительные аномалии летних, зимних и годовых сумм осадков, максимальной высоты снежного покрова и температуры воздуха (мс Мужи, 30 км от объекта). Наибольшее число аномалий приходится на осадки и высоту снежного покрова, причем повторяемость аномалий возросла с конца 1950-х годов. Аномальными были: 1956-1958 гг. для большинства метеорологических элементов; 1971 г. по всем видам осадков и высоте снежного покрова; 1973 г. по зимним осадкам и высоте снежного покрова (сезон 1972-1973 гг.); 1978 г. по зимним и годовым осадкам и высоте снежного покрова, а также 1982-1983 гг. по осадкам и высоте снежного покрова.

Таблица 3 – Годы с аномалиями метеорологических элементов более одного стандартного отклонения (s) по данным мс Мужи (осадки 1932-1988 гг., высота снега 1932-1985 гг., температура воздуха 1932-1990 гг.)

Годы	Летние осадки (s =62.94)	Зимние осадки (s =34.29)	Годовые осадки (s =106.8)	Высота снега (s =17.7)	Летняя температура (s =1.25)	Зимняя температура (s =1.73)	Годовая температура (s =1.35)
1934							+0.6
1939		+5.9					
1941						+1.2	
1943					+0.14		+1.3
1944							+0.8
1945			+37.8				
1950	+1.44						
1951	+10.4		+27.8				
1953					+1.24		
1956	**+52.4**		**+48.8**				
1957	**+46.4**	**+7.9**	**+55.8**		**+0.64**		
1958		**+12.9**		**+29.7***		**+1.8***	
1961							+0.1
1962		+16.9					+1.0
1964		+10.9				+1.4	
1965	+14.4						
1966		+3.9	+36.8			+1.2	
1967							+1.6*
1969						+3.3**	
1971	**+55.4**	**+4.9**	**+101.0**	**+2.7**			
1973		**+24.9**		**+29.7***			
1975	+21.4						
1976					+0.24		
1977					+0.34		
1978		**+11.9**	**+71.8**	**+11.7**			
1979						+0.4	
1981		+0.9			+0.94		+1.0
1982	**+31.4**		**+116.0***				
1983	**+46.4**	**+35.9***	**+25.8**	**+41.7****			
1985						+0.8	
1986		+10.9	+9.8				
1989	-	-	-	-	+1.44*		
1990	-	-	-	-	+0.84		

Примечание: * >2s, ** >3s, – нет данных. Жирным шрифтом и заливкой показаны годы с наибольшим числом климатических аномалий

Совпадение периодов интенсивного образования креневой древесины с 1960-х гг. и лет с аномалиями количества осадков позволяет полагать, что причиной образования крени у деревьев на склоне с многолетней мерзлотой (рис. 19 (1)) явились солифлюкционные процессы в почве, вызванные увеличением атмосферных осадков.

Годы формирования креневой древесины использовали для реконструкции прошлых границ термокарста. При сравнении ДКХ по двум радиусам было замечено, что в годы, когда граница термокарстовой депрессии достигала комлевой части дерева, ствол терял постоянную ориентацию наклона в сторону депрессии и формировалась креневая древесина по другим радиусам. Это происходило по причине того, что корневая система дерева сползала в термокарст, теряла твердую опору, и дерево могло заваливаться под действием ветра в разные стороны. Корневая система оказывалась в условиях избыточного обводнения, что вело к резкому снижению величины радиального прироста и служило индикатором для определения года, когда дерево оказалось на границе термокарста. Используя такой подход, оказалось возможным определять положение границ термокарста во времени. На рис. 20 показаны позиции деревьев, а также год, когда дерево оказалось на границе термокарста, и по ним выполнена реконструкция границ термокарста в 1930 и 1958 гг.

Используя этот подход, выполнена пространственно-временная реконструкция границ всей термокарстовой депрессии. Для этого провели полное картирование всех деревьев и взяты керны древесины со всех живых деревьев на склоне термокарста и спилы со всех отмерших деревьев из термокарстовой депрессии.

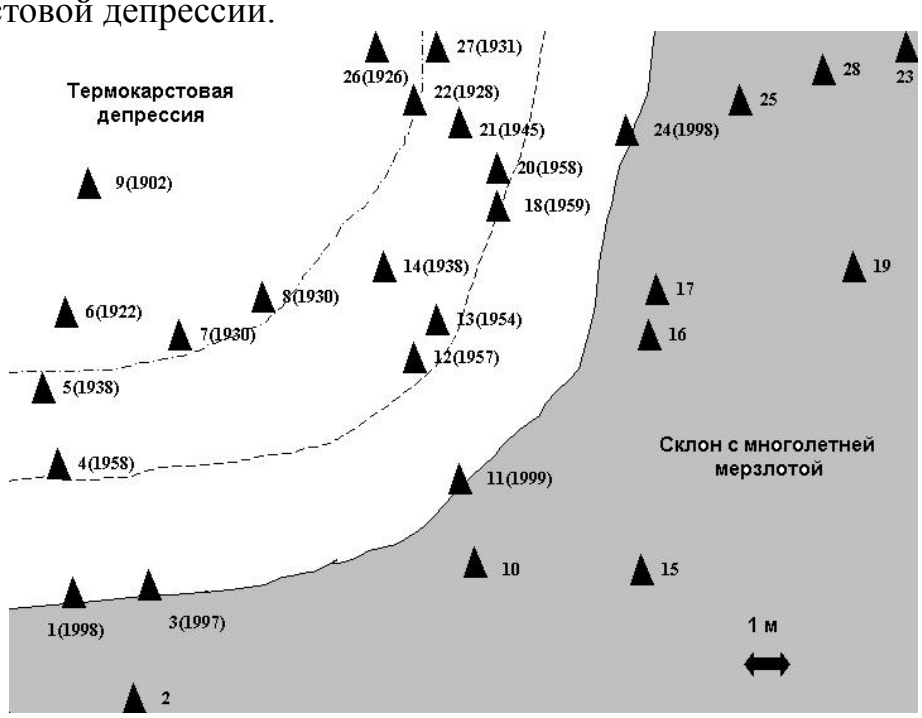


Рисунок 20 – Реконструкция границ термокарста (пунктирная линия) в 1930 и 1958 гг. В скобках – год, когда дерево оказывалось на границе термокарста.

При зондировании центральной части термокарстовой депрессии на дне был обнаружен ствол дерева и поднят на поверхность. Из комлевой части ствола взят спил и перекрестно сдатирован. Всего взяты образцы с 235 деревьев: керны со 104 живых деревьев на склоне, спилы со 131 дерева из термокарста, которые погибли на корню в разные годы. У всех деревьев из депрессии определили среднее время начала образования креневой древесины и дату отмирания в зависимости от их расстояния до границы термокарстовой депрессии. Среднее время начала образования креневой древесины не связано с расстоянием от места их произрастания до современной границы термокарста, как можно было бы предположить. Напротив, выявлена концентрация случаев формирования креневой древесины около 1850 года независимо от расстояния (рис. 21). Это свидетельствует, что дестабилизация вертикального положения стволов деревьев и формирование креневой древесины началось в одно время на всей площади. Среднее время отмирания деревьев показывает ожидаемую зависимость расстояния до современной границы термокарста, – чем дальше отстоит дерево от границы термокарста, тем раньше по времени наступило его отмирание. Следует отметить, что после 1900-х и 1950-х гг. угол наклона кривой отмирания увеличился, что указывает на возрастание скорости отмирания деревьев в результате развития термокарста.

По положению отмерших деревьев в термокарстовой депрессии и времени их отмирания, были реконструированы прошлые границы термокарста (рис. 22). В зависимости от возраста деревьев, их удаления от современной границы, восстановлены вероятные границы и скорость расширения границ. Средняя скорость расширения границы термокарстовой депрессии в период между 1500 (год смерти самого старого дерева в центральной части термокарста) и 1650 гг. составила 3 см/год; в 1650-1750 гг. – 5 см/год; в 1750-1900 гг. – 10 см/год.

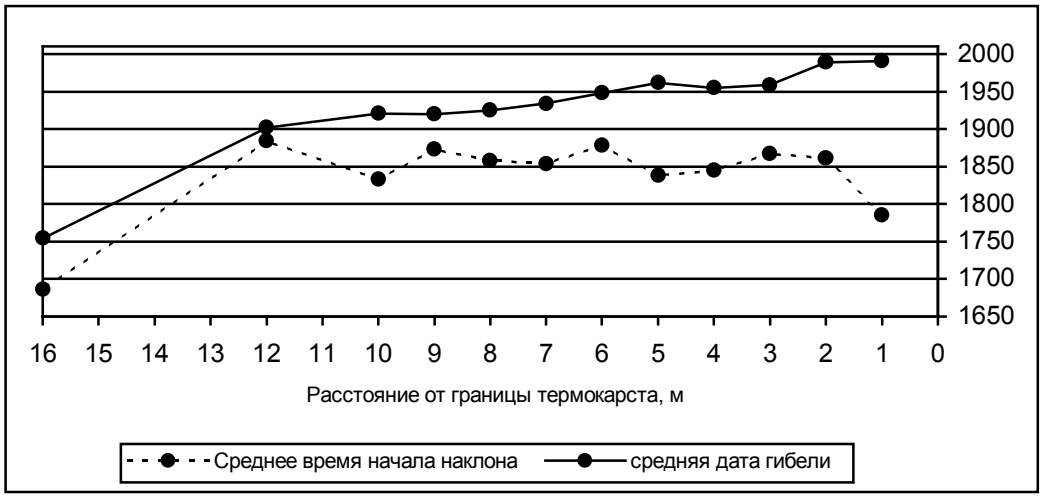


Рисунок 21 – Среднее время начала наклона стволов деревьев и их отмирания в зависимости от удаленности от границы термокарстовой депрессии

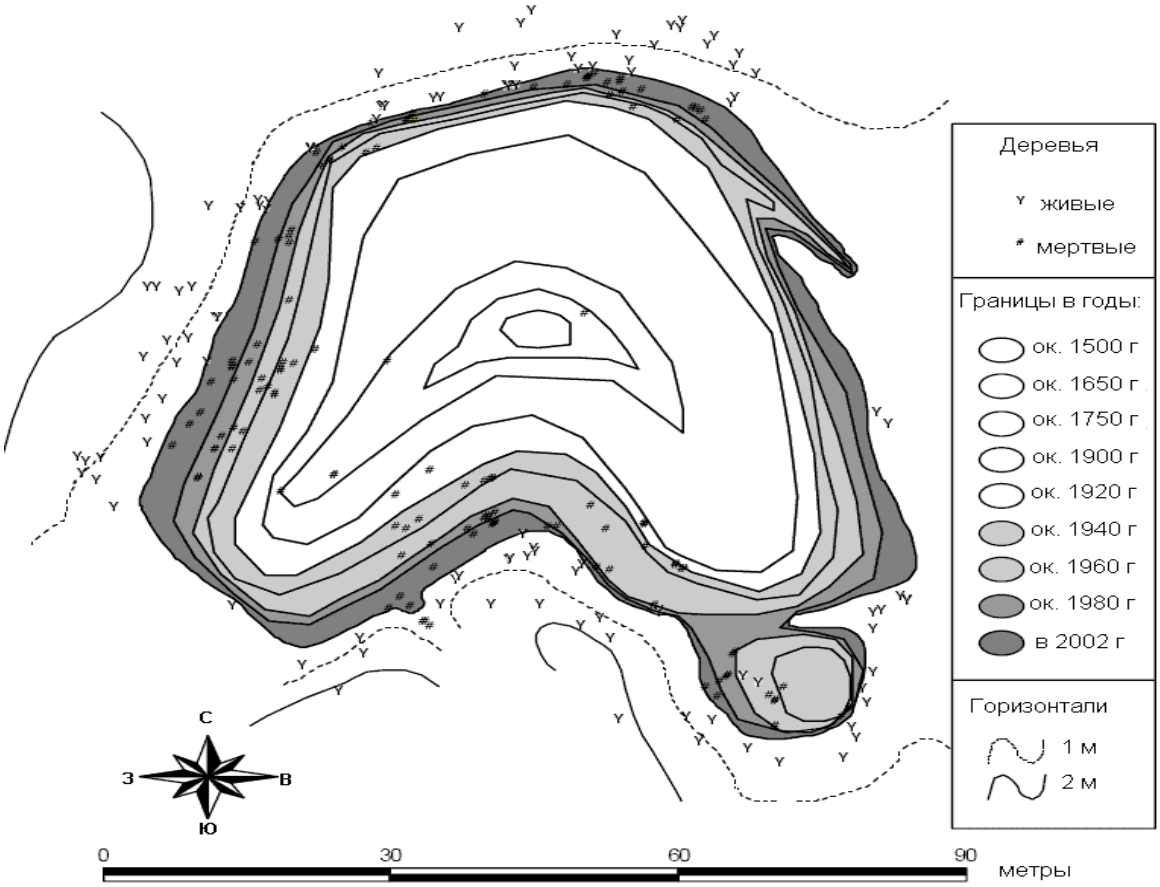


Рисунок 22 – Реконструкция границ термокарста в 1500–2002 гг.

В 1900-1920 гг. – 21 см/год; в 1920-1940 гг. – 17 см/год; в 1940-1960 гг. – 11 см/год; в 1960-1980 гг. – 13 см/год; с 1980 по 2002 гг. скорость продвижения границы была 19 см/год. Наиболее высокая скорость продвижения границы термокарста была в XX столетии, когда скорость распространения достигала 21 см/год в 1900-1920 гг. Граница распространения термокарста между 1500-1900 гг. основана на небольшом количестве образцов стоящих деревьев и может быть уточнена по поднятым со дна термокарста деревьям.

Нельзя определенно утверждать, вызвано ли возникновение термокарста изменением климата в прошлом или другими причинами. Однако находки в верхних горизонтах почвы многочисленных углей, возраст которых датируется 1822-1832 годами (радиоуглеродная датировка выполнена в университете г. Регенсбург, Германия), указывают, что в эти годы на участке произошел пожар. Вероятно, пожар стал причиной гибели древостоя и изменения термического режима верхнего горизонта мерзлоты на участке вокруг термокарста. Справедливость высказанного предположения подтверждается одновозрастной структурой современного кедрового древостоя. Возможно, что прошедший пожар стал фактором ускорения продвижения границы термокарста и способствовал развитию солифлюкционных процессов на многолетнемерзлых почвах вокруг термокарста. Современные изменения климата могут способствовать увеличению скорости смещения внешних границ термокарстовой депрессии.

Глава 6. ИНДИКАЦИЯ ВЛИЯНИЯ ДОЛГОТНОГО ГРАДИЕНТА ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ И ФОРМИРОВАНИЕ СВЕТЛЫХ КОЛЕЦ У ОСНОВНЫХ ВИДОВ-ЛЕСООБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА СЕВЕРЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

В Субарктике температура воздуха является главным фактором, лимитирующим радиальный прирост деревьев (Шиятов, 1986; Ваганов и др., 1996; Briffa, 2000; Vaganov et al., 2000; Korner, Paulsenet al., 2004; Schmitt et al., 2004; Rossi et al., 2007, 2008;). Однако температурный режим неоднороден и меняется при продвижении вглубь континента. Изменение амплитуды колебаний температуры воздуха зависит от географического положения и абсолютной высоты места (Driscoll, Fong, 1992), т.е. долготный градиент температур обусловлен изменением континентальности климата.

Влияние континентальности климата на радиальный прирост деревьев исследовали на долготной трансекте в подзоне северной тайги вблизи Северного полярного круга на широте с. Мужи, г. Надым, пос. Тарко-Сале на трех дендрохронологических ТП вблизи одноименных мс. Все ТП находятся на одной широте и в сходных геоморфологических условиях. Расстояние между ТП1 и ТП2 составляет 250 км, а между ТП1 и ТП3 – 625 км. Климат района резко континентальный и становится более суровым при движении вдоль трансекты в направлении с запада на восток. Индекс континентальности изменяется от 38.2°С (для ТП1, мс Мужи) до 39.6°С (для ТП2, мс Надым) и до 41.4°С (ТП3, мс Тарко-Сале). Годовая сумма осадков на трансекте остается постоянной для всех ТП: 488, 489 и 480 мм соответственно, т.е. на трансекте выражен температурный градиент на фоне однородности в атмосферных осадках.

Устранение сигналов неклиматического характера и вычисление индексов прироста ДКХ выполнено в программе ARSTAN (Cook, Holmes, 1997). В работе использовали остаточные хронологии, в которых устранено влияние условий предшествующего года. Характеристика хронологий дана в табл. 4. При построении хронологий по светлым кольцам (СК) использовали их процентное представительство из каждой индивидуальной ДКХ на ТП. Частоту образования СК оценивали на общем для всех ДКХ интервале с 1797 по 1992 гг. Различия температурных условий в годы формирования СК исследовали на интервале метеонаблюдений 1955-1990 гг. Температурные отклонения в годы формирования СК оценивали помесячно с апреля по сентябрь текущего года как разницу между $t_{бск}$-$t_{ск}$, где $t_{бск}$ – средняя месячная температура воздуха за годы без формирования СК, а $t_{ск}$ – средняя месячная температура воздуха за годы, в которые формировались СК.

Все хронологии по ели и лиственнице показали синхронную динамику изменений радиального прироста независимо от положения на трансекте, коэффициенты корреляции между хронологиями приведены в табл. 5.

Таблица 4 – Характеристики ДКХ по ели (Е) и лиственницы (Л)

ТП	Вид дерева	Число деревьев	Общий интервал	AC1	R_{bar}	M_S	σ	Отношение сигнал/шум	PC1 %
ТП1	Е	18	1797-1996	-0.07	0.33	0.28	0.23	7.9	56
ТП2	Е	42	1650-1992	-0.004	0.40	0.20	0.18	10.8	47
ТП3	Е	32	1735-1994	-0.01	0.41	0.20	0.17	9.5	42
ТП1	Л	38	1748-1999	0.01	0.40	0.17	0.16	19.9	50
ТП2	Л	38	1660-1992	-0.04	0.52	0.30	0.25	20.6	53
ТП3	Л	24	1640-1994	-0.04	0.59	0.32	0.26	21.3	60

Примечание – AC1 – коэффициент автокорреляции 1-го порядка; R_{bar} – коэффициент связи между индивидуальными хронологиями; M_S – коэффициент чувствительности; σ – стандартное отклонение для средней ширины годичного кольца; PC1 – изменчивость прироста, объясняемая первой принципиальной компонентой

Таблица 5 – Матрица коэффициентов корреляций между обобщенными хронологиями по ели (Е) и лиственницы (Л) с тест-полигонов (ТП) 1, 2 и 3

	Е ТП1	**Е ТП2**	**Е ТП3**	**Л ТП1**	**Л ТП2**
Е ТП1	1				
Е ТП2	**0.31**	1			
Е ТП3	**0.35**	**0.25**	1		
Л ТП1	**0.46**	**0.21**	**0.18**	1	
Л ТП2	**0.28**	**0.28**	**0.23**	**0.65**	1
Л ТП3	**0.15**	**0.40**	**0.23**	**0.45**	**0.53**

У ДКХ ели и лиственницы выявлены различия связи радиального прироста с температурой. Прирост ели менее зависим от температуры (рис. 23А), значимые связи прироста выявлены с температурой июля на ТП2 и ТП3 и с температурой января на ТП3. Видна тенденция увеличения тесноты связи прироста ели вдоль по трансекте с температурой воздуха в июне и июле. Прирост лиственницы более зависим от температуры, чем прирост ели (рис. 23Б). На прирост лиственницы положительное влияние оказывает температура июня на всех ТП и температура июля на ТП1 и ТП2, а также температура октября предшествующего года на ТП1. Выявлена значимая отрицательная связь прироста с температурой апреля на ТП2 и ТП3.

Отметим тенденцию увеличения тесноты связи прироста ели с температурой воздуха вдоль трансекты с запада на восток в июне и июле. В этом же направлении идет повышение летних температур воздуха и усиливается континентальность климата. Таким образом, выявлена слабая тенденция связи радиального прироста ели с долготным градиентом температур в июне и июле. Лиственница, в отличие от ели, не проявляет явных тенденций связи радиального прироста с температурой воздуха вдоль температурного градиента. Различия в отклике радиального прироста ели и лиственницы на температуру воздуха обусловлены видовой спецификой фотосинтеза и физиологическими различиями видов.

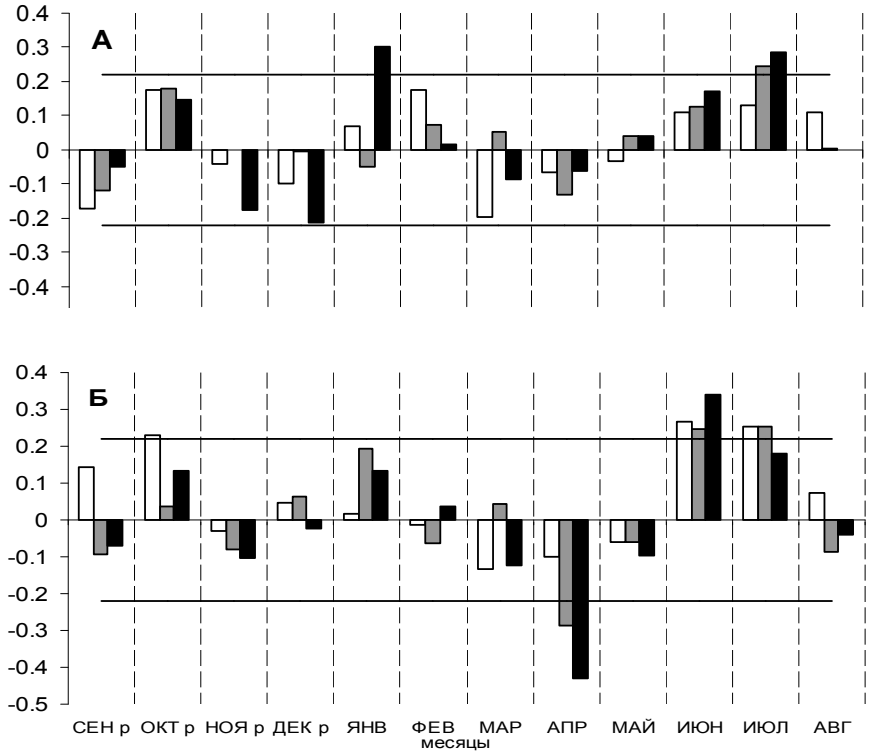


Рисунок 23 – Коэффициенты корреляции индексов прироста со средней месячной температурой воздуха с сентября предшествующего по август текущего года (А - для ели, Б - для лиственницы). Значимые уровни корреляции обозначены горизонтальными линиями. ТП1, ТП2 и ТП3 обозначены светлыми, серыми и черными столбцами соответственно.

Отметим значимую отрицательную связь прироста лиственницы с температурой апреля (рис. 23Б). Многолетняя средняя температура этого месяца на ТП1 -6.2°С, на ТП2 -8.5°С и на ТП3 -7.8°С, т.е. наиболее низкие температуры на ТП2 и ТП3, где и выявлены значимые связи. Для апреля характерна большая амплитуда суточных температур, когда в отдельные дни наблюдаются слабые положительные температуры днем и резкие снижения (до -20-25°С) ночью. Перепады температуры негативно влияют на физиологическое состояние брахибластов и ауксибластов лиственницы и могут отражаться на процессе распускания хвои, фотосинтезе и величине радиального прироста. Влияние этого фактора возрастает вдоль трансекты и связано с усилением континентальности.

Выявлены различия в частоте формирования светлых колец у ели и лиственницы на всех ТП (рис. 24). У ели частота образования СК 23% от общего числа лет, у лиственницы этот показатель 44%. У всех ДКХ по ели на ТП1, ТП2 и ТП3 выявлено 19, 24 и 18 общих лет со СК соответственно. У ДКХ по лиственнице в тех же условиях частота формирования СК составила 23, 67 и 26 лет соответственно, т.е. у лиственницы СК формировались чаще.

Светлые кольца у ели и лиственницы формировались в годы, когда средняя температура апреля, мая, июня и августа была на 1.5-4.9°С ниже, по

сравнению с годами, когда СК не образовывались. Наибольшие различия выявлены на ТП1, здесь разница температур в апреле-июне достигает 4.6°С в годы, когда формировались СК у ели, и 4.9°С – у лиственницы (рис. 25).

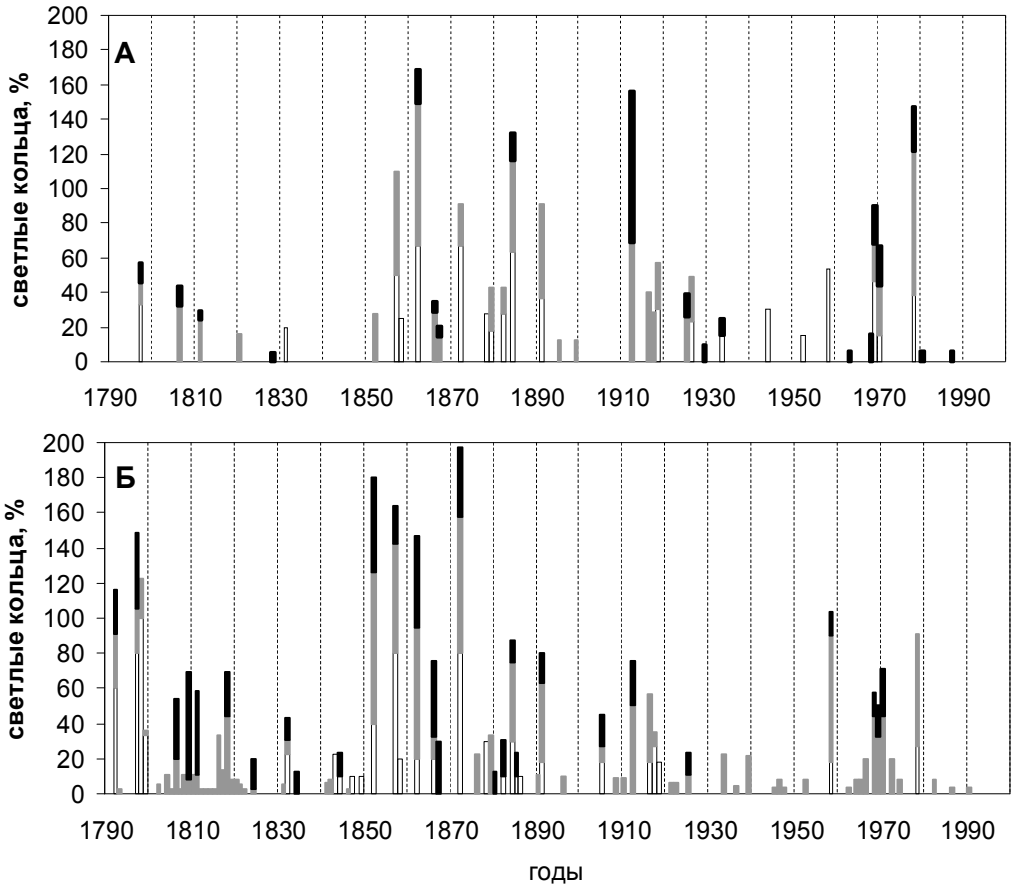


Рисунок 24 – Частота формирования светлых колец (сумма процентов) на всех ТП у ели (А) и лиственницы (Б). Обозначение цветом как на рисунке 23.

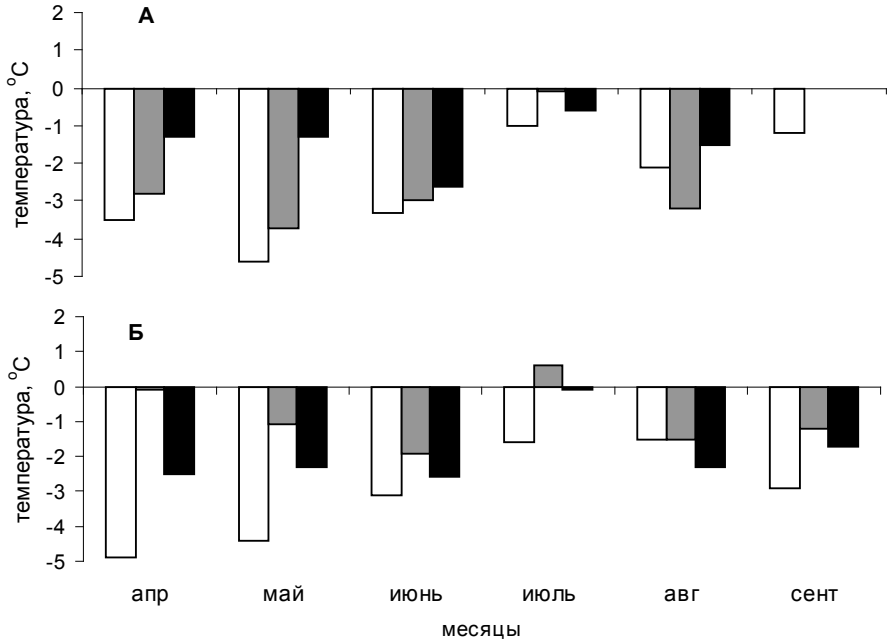


Рисунок 25 – Отклонения температуры воздуха в годы формирования светлых колец по сравнению с обычными годами в 1955-1990 гг. А – для ели, Б – для лиственницы. Цветовые обозначения, как на рисунке 23.

Различия в температуре апреля, мая и июня, в годы формирования СК у ели, снижаются от ТП1 к ТП3 вдоль температурного градиента (рис. 25А). У лиственницы снижение наблюдается только на ТП1 (рис. 25Б), на ТП2 возрастает, а на ТП3 разница температур сохраняется примерно на одном уровне в апреле, мае, июне и августе. Различия в июльских температурах самые минимальные. Различия в температурах августа и сентября не имеют закономерностей в долготном градиенте. Отметим высокую разницу (3.2°С) температуры августа при формировании СК у ели на ТП2, и разницу в 2.3°С при формировании СК у лиственницы на ТП3. Оба вида не показали закономерности формирования СК на трансекте, т.е. частота формирования СК у ели и лиственницы не связана с долготным градиентом температур.

Нередко образование аномалий структуры годичных колец связывают с влиянием на климат извержений вулканов (Сидорова и др., 2005; Briffa et al., 1998; Hantemirov et al., 2004). В период с 1790 по 1992 гг. произошли сильные извержения в 1815, 1835, 1875, 1883, 1886, 1902, 1907, 1912, 1963, 1980, 1982, 1985 и 1991 гг. (Robock, 2000). В этот период только извержение 1883 г. (Кракатау) можно связать с формированием СК у ели и лиственницы в 1884 г. на всех ТП трансекты. В остальные годы случаи совпадения извержений вулканов и формирования светлых годичных колец отсутствуют.

Глава 7. ДРЕВЕСНО-КОЛЬЦЕВАЯ ИНДИКАЦИЯ УВЛАЖНЕННОСТИ В ЛЕСОСТЕПИ И СТЕПНОЙ ЗОНЕ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Исследование влияния увлажнения на радиальный прирост сосны обыкновенной выполнено в лесостепи и степной зоне юго-запада Западной Сибири. Самая северная точка исследования имеет координаты 55° 59′ с.ш., 60° 02′ в.д., а самая южная точка – 51° 33′ с.ш., 57° 53′ в.д. Здесь сохранились еще значительные площади островных сосновых боров, которые по А.Я. Гордягину (1897, 1900), И.М. Крашенинникову (1939) и П.Л. Горчаковскому (1969, 1987) являются остатками некогда сплошной, или почти сплошной полосы хвойных лесов, простиравшихся в более прохладные и влажные эпохи плейстоцена от Урала до Алтая.

По усредненным данным мс Троицк, Карталы и Бреды климат района умеренно сухой. Среднее количеством осадков 361 мм в год, варьируя от 499 мм (1999 г.) до 175 мм (1936 г). Осадки холодного периода года (октябрь-апрель) составляют 41% от годовой суммы, осадки сезона активной вегетации древесной растительности (май-август) – 51% от годовой суммы.

Сбор кернов и спилов с деревьев сосны обыкновенной проводили на восьми ТП в островных борах на Южно-Уральской меридиональной трансекте (ЮУМТ) протяженностью с севера на юг 470 км. Два ТП заложены в Притобольских островных борах на границе с Казахстаном.

Сложность в дендроклиматическом анализе ДКХ из регионов с сухим климатом представляет разделение климатического сигнала, обусловленного значимым влиянием на радиальный прирост температуры воздуха и осадков. Для разделения климатического сигнала использовали программу Seascorr (Meko et al., 2011). Анализировали связи радиального прироста с сезонными значениями двух климатических переменных. Для первой переменной (атмосферные осадки) используются накопленные корреляции, для второй переменной (температура воздуха) – частные корреляции. Выделяются 4 сезонных периода, когда за сезон принимаются отдельный месяц года и периоды времени, состоящие из нескольких месяцев. Использовали 4 сезонных группы длительностью 1, 3, 6 и 12 месяцев. В первом сезоне дается оценка связей прироста с климатическими переменными одного месяца. Во втором сезоне – за каждые 3 месяца, в третьем сезоне – за 6 месяцев, в четвертом сезоне – за 12 месяцев. Анализ связей прироста сосны с осадками и температурой воздуха показал, что влияние осадков на прирост наиболее значимо в обоих регионах. Связи прироста с осадками на ЮУМТ и в Притобольских борах схожи для всех сезонов, но есть отдельные сдвиги по сезонам. Наиболее тесные связи прироста сосны на ЮУМТ с осадками сезона 3-х месяцев: с апреля по июнь текущего года (r=0.43–0.65). Для Притобольских боров наиболее тесные связи прироста с осадками приходятся на сезон с мая по июль текущего года (r=0.43–0.65).

Методом множественной линейной регрессии реконструировали сумму осадков апреля – июня на ЮУМТ (рис. 26, r=0.66, R^2=0.43).

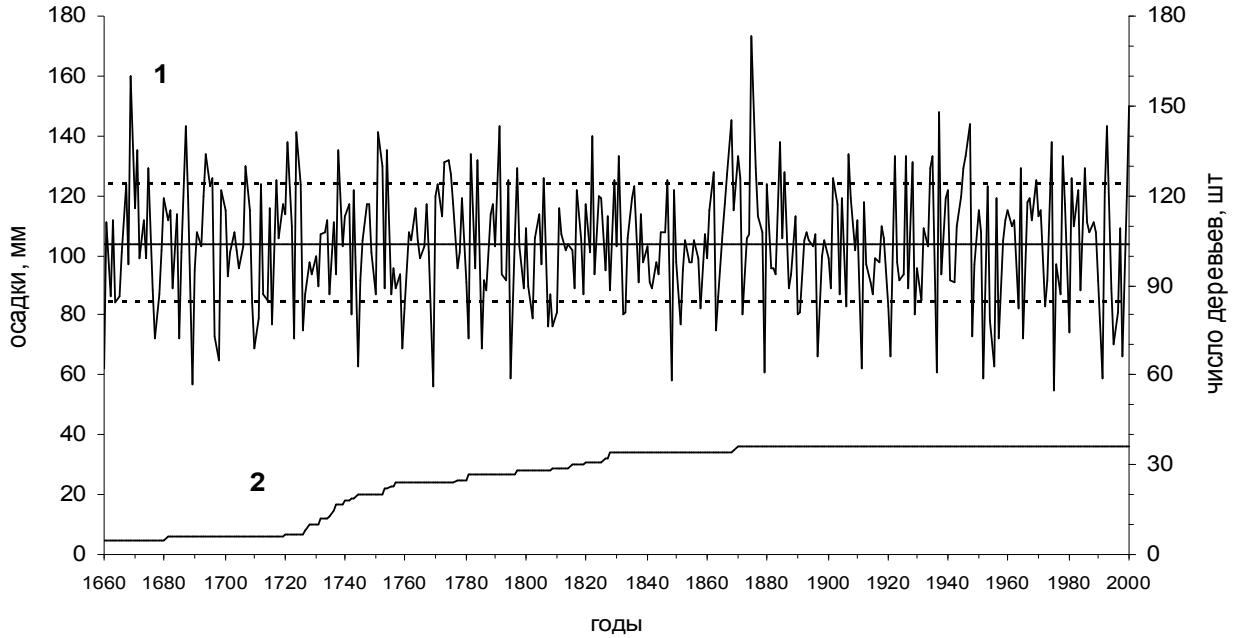


Рисунок 26 – Реконструкция осадков апреля – июня (1) на Южно-Уральской меридиональной трансекте. Пунктирные линии – границы стандартных отклонений от многолетней нормы осадков. Ломаная линия (2) – обеспеченность реконструкции количеством деревьев.

В качестве предикторов взяты ДКХ, а в качестве предиктанта – усредненные значения сумм средних за месяц осадков апреля – июня по трем метеостанциям. Реконструкция надежно воспроизводит сухие 1936, 1955, 1957, 1975, 1991, 1998 гг., для которых имеются инструментальные подтверждения. На протяжении всего реконструируемого периода хорошо выделяются серии сухих и влажных лет, значения которых превышают величину стандартного отклонения. Наиболее сухие годы: 1677, 1689, 1698, 1710, 1723, 1726, 1744, 1759, 1769, 1781, 1785, 1795, 1802, 1807, 1809, 1833, 1848, 1863, 1879, 1897, 1911, 1921, 1936, 1952, 1955, 1957, 1975, 1991, 1998. Значительное количество осадков выпадало в: 1669, 1687, 1694, 1721, 1724, 1738, 1751, 1754, 1774, 1791, 1822, 1831, 1868, 1875, 1884, 1907, 1937, 1947, 1974, 1993 гг. Реконструированные сухие годы подтверждаются работами Т.Н. Жилиной (2009) и В.С. Мыглан (2007; 2010), где для последних 400 лет упоминаются сильные засухи в Тобольском воеводстве и Тобольской губернии, в состав которых входила исследуемая территория.

В реконструкции, сглаженной 11-летней скользящей средней, явно прослеживается циклическая структура осадков (рис. 27). Выделяется 7 повторяющихся циклов длительностью от 37 до 52 лет и один цикл длительностью 24 года. Сходную цикличность во внутривековых колебаниях уровней степных озер между Уралом и р. Обь в 1700-1950 гг. выявил А.В. Шнитников (1969) по историческим источникам (табл. 6).

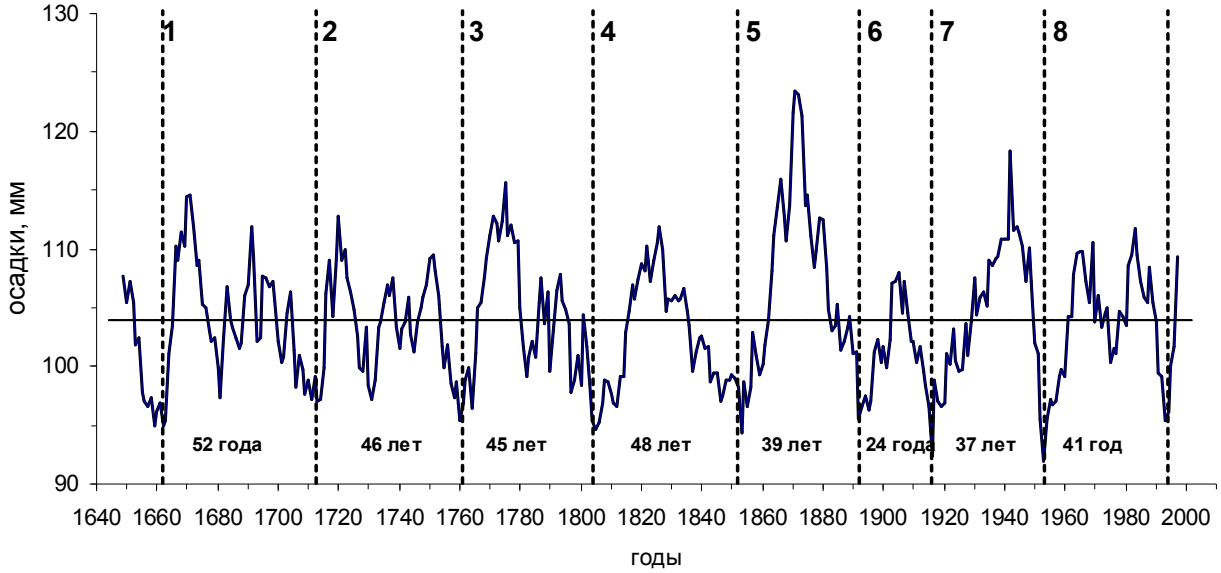


Рисунок 27 – Циклическая структура осадков апреля – июня (реконструированные значения сглажены 11-летней скользящей средней). 1, 2,…8 – номера циклов. Прямая линия – средняя сумма осадков за 360 лет.

Полученная реконструкция цикличности осадков и данные А.В. Шнитникова имеют сходство между собой. Несогласованность в датах начала и окончания циклов можно объяснить отрывочным характером данных А.В. Шнитникова в XVII-XIX вв. и сдвигом дат при выделении циклов 11-летней скользящей

средней в 360-летней реконструкции. Тем не менее, полученные нами данные более объективно отражают динамику увлажнения территории юго-западной части Западно-Сибирской равнины.

Таблица 6 – Годы и длительность циклов количества осадков апреля – июня, и колебаний уровня степных озер между Уральскими горами и р. Обь

Номер цикла >		1	2	3	4	5	6	7	8
Наши данные	Годы	1662-1713	1714-1759	1760-1804	1805-1852	1853-1891	1892-1915	1916-1952	1953-1993
	Длительность	52	46	45	48	39	24	37	41
Данные А.В. Шнитникова (1969)	Годы	1688-1735	1736-1775	1776-1808	1809-1850	1851-1881	1882-1902	1903-1940	
	Длительность	47	40	33	42	31	21	38	

ВЫВОДЫ

1. Водность р. Обь является фактором, формирующим термический режим воздуха и почв прибрежной зоны. Выявлены охлаждающее (в июне-июле и для всего периода открытого русла) и отепляющее (в октябре) влияние водности на температуру воздуха, которое ослабевает по мере удаления от русла реки. Влияние водности р. Обь на температуру воздуха выявлено на расстоянии до 500 м от русла реки. Чем выше водность, тем сильнее охлаждающее влияние на температуру воздуха летних месяцев и отепляющее влияние на температуру воздуха в октябре.
2. На термический режим почв в условиях многолетней мерзлоты водность р. Обь оказывает только отепляющее влияние. Результаты 7-летних инструментальных наблюдений показали, что отепляющее влияние водности на температурный режим почв распространяется на расстояние до 40 м от максимального уреза воды. Чем выше водность р. Обь, тем сильнее отепляющее влияние на термический режим почв.
3. Охлаждающее влияние водности р. Обь на температурный режим воздуха отрицательно влияет на величину радиального прироста хвойных деревьев – лиственницы сибирской и кедра сибирского, произрастающих в прибрежной зоне. На основании этих связей выполнена реконструкция водности р. Обь периода открытого русла за последние 400 лет.
4. В поймах крупных рек Западной Сибири их гидрологический режим является основным фактором влияния на радиальный прирост лиственных видов деревьев рода *Salix* и *Populus* и определяет гидрогенную динамику их радиального прироста, а клеточная структура годичных колец этих видов деревьев является индикатором высоких и продолжительных половодий.
5. Отепляющее влияние водности р. Обь на температурный режим воздуха и почв прибрежной зоны в осенний период, особенно в октябре, благоприятно влияет на радиальный прирост в следующем году у кедра сибирского, ели сибирской, сосны обыкновенной. Выявленные связи позволили выполнить

270-летнюю реконструкцию температуры воздуха октября в нижнем течении р. Обь, что расширяет возможности древесно-кольцевых хронологий, которые ранее применялись для реконструкции летних температур.

6. Древесно-кольцевые хронологии на севере Западной Сибири являются надежным источником получения данных о мерзлотных процессах в зоне распространения многолетней мерзлоты. Дендрохронологический подход в исследовании позволил выполнить пространственно-временную реконструкцию границ термокарста за 1500-2000 гг., а также высказать предположения о причинах возникновения и развития термокарста. Скорость расширения границ термокарстовой депрессии в эти годы варьировала от 3 до 21 см в год. Самая высокая скорость смещения границ термокарста характерна для XX столетия и обусловлена изменениями климата. Лесные пожары могут быть причиной как возникновения, так и прогрессирующего распространения площади термокарста на разных этапах развития.

7. На севере бореальной зоны Западной Сибири древесно-кольцевые хронологии ели сибирской и лиственницы сибирской чувствительны к изменениям долготного градиента температуры воздуха. Связь радиального прироста ели с долготным градиентом обусловлена повышением температуры воздуха июня–июля с запада на восток. Связь радиального прироста лиственницы с долготным градиентом температур выражена слабо и, вероятно, обусловлена лишь резкими колебаниями суточной температуры в апреле.

8. Частота формирования светлых годичных колец у ели и лиственницы не связана с долготным градиентом температур в Западной Сибири и обусловлена видовой специфичностью. На формирование светлых годичных колец наибольшее влияние оказывают местные условия произрастания.

9. Использование сезонных связей радиального прироста сосны обыкновенной с температурой воздуха и атмосферными осадками в условиях сухого климата на юго-западе Западной Сибири позволило оценить влияние климатических переменных на радиальный прирост. Из двух переменных осадки являются наиболее значимым факторов влияния на величину радиального прироста сосны, по сравнению с температурой.

10. Полученные на основе древесно-кольцевых хронологий реконструкции сумм сезонных осадков апреля-июня надежно отражают динамику погодичных изменений увлажненности за последние 300 лет на юго-западе Западно-Сибирской равнины. Динамика увлажненности имеет выраженную циклическую структуру с длительностью циклов 40-50 лет, которые повторяются 7 раз в период 1660–2000 гг. Достоверность полученных реконструкций подтверждается данными о колебаниях уровней воды в степных озерах на юге Западной Сибири от Урала до р. Обь и историческими сведениями об экстремальных климатических явлениях.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В журналах, из перечня научных изданий, рекомендованных ВАК

1. **Агафонов Л.И.** Сток нижней Оби и его изменения в XX столетии // Изв. РАН. Сер. геогр. 2010. № 4. С. 68-76.
2. **Агафонов Л.И.**, Гурская М.А. Влияние стока нижней Оби на радиальный прирост деревьев // Лесоведение. 2010. № 4. С. 9-18.
3. **Агафонов Л.И.**, Кукарских В.В. Изменения климата прошлого столетия и радиальный прирост сосны в степи Южного Урала // Экология. 2008. № 3. С. 173-180.
4. **Agafonov L.**, Strunk H., Nuber T. Thermokarst dynamics in Western Siberia: insights from dendrochronological research // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2004. Vol. 209, № 1/4. P. 183-196.
5. **Агафонов Л.И.**, Штрунк Х.Б., Нубер Т.О. Динамика термокарстовой депрессии в Западной Сибири: опыт дендрохронологического исследования // Криосфера Земли. 2002. Т. VI. № 2. С. 43-52.
6. Богданов В.Д., **Агафонов Л.И.** Влияние гидрологических условий поймы Нижней Оби на воспроизводство сиговых рыб // Экология. 2001. № 1. С. 50-56.
7. **Агафонов Л.И.**, Мазепа В.С. Сток Оби и летняя температура воздуха на севере Западной Сибири // Изв. АН. Сер. географ. 2001. № 1. С. 80-92.
8. Waterhose J.S., Barker A.C., Carter A.H.C., **Agafonov L.I.**, Loader N.J. Stable carbon isotopes in Scots pine tree rings preserve a record of flow of the river Ob // Geophys. Res. Letters. 2000. Vol. 27. P. 3529-3532.
9. **Агафонов Л.И.** Радиальный прирост древесной растительности в пойме Нижней Оби // Сиб. экол. журн. 1999. № 2. С. 135-144.
10. **Агафонов Л.И.** Индикация изменений гидрологического режима Нижней Оби методом древесно-кольцевого анализа // Экология. 1998. № 5. С. 354-361.
11. **Агафонов Л.И.** Влияние гидрологического и температурного режимов на радиальный прирост лиственных видов деревьев в пойме Нижней Оби // Экология. 1995. № 4. С.436-443.

В других изданиях

12. **Агафонов Л.И.**, Кукарских В.В. Реконструкция осадков лесостепной зоны Южного Урала последних трех столетий по результатам дендрохронологического анализа / Голоцен. Динамика экосистем в голоцене: материалы второй Росс. конф., 12-14 окт. 2010 г. / отв. ред. Н.Г. Смирнов. Екатеринбург, 2010. С. 3-10.
13. **Агафонов Л. И.** Реконструкция и анализ гидрологических и климатических характеристик в пойме р. Оби // 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. 347-350. (Гл. 5: Тенденции и периодичность изменений климата Сибири в голоцене и их влияние на динамику экосистем).

14. **Агафонов Л.И.** Изменения стока нижней Оби в XX столетии // Научный вестник. Салехард: Красный Север, 2008. Вып. 8 (60): Региональные аспекты биологических исследований. С. 3-16.
15. **Агафонов Л.И.** Существует ли увеличение арктического стока Оби? // материалы междунар. конф. Криогенные ресурсы полярных регионов. Салехард, 2007. Т.1. С. 256-259.
16. **Агафонов Л.И.** Особенности влияния гидрологического режима рек на радиальный прирост деревьев в условиях Субарктики // материалы Всерос. науч. конф. Новые методы в дендрохронологии. Иркутск. Изд-во. ИГ СО РАН, 2007. С. 165-167.
17. **Агафонов Л.И.** Гидрологические особенности поймы Нижней Оби в 2005 году // Научный вестник. Вып. 1 (38). Салехард, 2006. С. 123-126.
18. Krabisch M., **Agafonov L.**, Strunk H. Thermokarst Development at the Synja River, Western Siberia // Научный вестник. Вып. 1 (32). Экологические исследования на Ямале: итоги и перспективы. Салехард. 2005. С. 77-80.
19. Staudinger M., Strunk H., **Agafonov L**. Dendroclimatic investigations in Western Siberia – the reconstruction of temperature and precipitation since the 16th century // Abstr. of conf. Tree-rings in archaeology, climatology and ecology, Apr. 23-25-th 2005, Switzerland. Freibourg, 2005. P. 77-80.
20. **Агафонов Л.И.**, Кукарских В.В. Изменения климата прошлого столетия и радиальный прирост сосны в степи Южного Урала // Изучение и сохранение природных экосистем заповедников лесостепной зоны: материалы междунар. науч.-практ. конф. посвящ. 70-летию Центрально-Черноземного заповедника (пос. Заповедный, Курская обл. 22-26 мая 2005 г.). Курск, 2005. С. 172-176.
21. **Агафонов Л.И.** Очерк гидролого-климатического режима поймы Средней Оби // Западная Сибирь: прошлое, настоящее, будущее. Сургут: Изд-во. Диорит, 2004. С. 198-206.
22. **Agafonov L.** The Ob river: Is There Arctic Inflow Increase? // The ACIA International Scientific Symposium on Climate Change in the Arctic: Extended abstr. Reykjavik, Iceland, November 9-12. 2004 / Arctic Monitoring and Assessment Progr. (AMAP). Oslo, 2004. Oral Ses. 1, p. 1-4.
23. **Агафонов Л.И.**, Штрунк Х., Нубер Т. Современная динамика термокарста в Западной Сибири // Environment of Siberia, the Far East and the Arctic. Томск, 2001. С. 11-17.
24. **Agafonov L.I.** Dendrohydrological evidence from the Ob river: West Siberian Plain // Proceedings of the International Conference on Climate and Water. Espoo, Finland, 1998. Vol. 3. P. 1037-1045.
25. **Агафонов Л.И.** Сибирская Амазонка // Югра: дела и люди. 1998. № 3. С. 28-33.
26. **Агафонов Л.И.** Гидрологический режим поймы Оби. Региональные климатические ритмы и прогнозы // Экология Ханты-Мансийского автономного округа. Тюмень: Софт Дизайн, 1997. С. 20-29.

****
Подписано в печать 26.05.2011 г. Формат 60х84 1/16
Усл. печ. л. 2,0 Бумага «Гознак» Тираж 100 экз. Заказ № 97

Отпечатано в типографии ООО City Screen.
620063, г. Екатеринбург, улица Московская, 193 а.