

*На правах рукописи*

Кукарских Владимир Витальевич

**ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РАДИАЛЬНЫЙ  
ПРИРОСТ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) В  
ЛЕСОСТЕПНОЙ И СТЕПНОЙ ЗОНАХ ЮЖНОГО УРАЛА**

**03.00.16 – экология**

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук**

**Екатеринбург – 2009**

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

Научный руководитель: кандидат биологических наук  
**Агафонов Леонид Иванович**

Официальные оппоненты: доктор биологических наук  
**Семериков Владимир Леонидович**  
кандидат биологических наук  
**Кучеров Сергей Евгеньевич**

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

Защита состоится « 8 » декабря 2009 г. в 11 часов на заседании диссертационного  
совета Д 004.005.01 при Институте экологии растений и животных УрО РАН по адресу:  
620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202

Факс: 8 (343) 260-82-56; E-mail: [dissovet@ipae.uran.ru](mailto:dissovet@ipae.uran.ru)

URL: <http://ipae.uran.ru>

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Учреждения Российской академии  
наук Институте экологии растений и животных УрО РАН.

Автореферат разослан « 6 » ноября 2009 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат биологических наук



Н.В. Золотарева

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Изменения глобального климата стали общепризнанным фактом. Они наблюдаются во всех природных зонах и фиксируются практически всеми компонентами экосистем (Изменения климата..., 2003). Значительные изменения увлажненности, согласно принципу лимитирующих факторов и концепции экологической амплитуды, будут наиболее выражены в зонах контактов тех экосистем, которые существуют в условиях экстремального увлажнения. К таким условиям относится зона контакта леса и степи (Агафонов, Кукарских, 2008).

Древесная растительность является надежным индикатором изменений природной среды и климата. Особенно широко в дендрэкологических исследованиях используется метод древесно-кольцевого анализа, который позволяет оценивать реакцию радиального прироста деревьев на изменения основных климатических переменных – температуру воздуха и осадки. Детальные дендрохронологические исследования влияния климатических факторов на рост и распространение древесных растений проводились в районах, где прирост определяется действием одного климатического параметра. Это влияние температуры в высокогорных и полярных регионах (Шиятов, 1986; Ваганов и др., 1996; Briffa et al., 2002) и количества осадков – для семиаридных и аридных территорий (Андреев и др., 1999; Валендик и др., 1993; LaMarche, 1974; Grissino-Mayer, 1996; Villalba et al., 1998; Cleaveland et al., 2003; Sauchyn et al., 2003). Район лесостепи Южного Урала недостаточно исследован в плане изучения реакции радиального прироста древесных растений на климатические факторы. Представленная работа направлена на получение новых данных о влиянии климата на рост древесных видов в засушливых условиях.

**Цель работы** – изучить влияние климатических факторов на радиальный прирост сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в лесостепной и степной зонах Южного Урала.

### **Задачи исследования:**

1. Построить обобщённые древесно-кольцевые хронологии (ДКХ) по ширине годичных колец, а также по ширине ранней и поздней древесины, плотности древесины сосны обыкновенной, произрастающей на Южном Урале в широтном градиенте.

2. Провести анализ связей радиального прироста с основными климатическими переменными (температура воздуха и количество осадков) и выявить гидротермический показатель, который отражает комплексное влияние соотношения тепла и влаги на радиальный прирост.

3. Проанализировать пространственную и временную динамику отклика радиального прироста деревьев на изменяющиеся в широтном градиенте климатические условия.

### **Защищаемые положения:**

1. На территории лесостепной и степной зон Южного Урала изменчивость радиального прироста деревьев определяется гидротермическими условиями текущего вегетационного сезона и предшествующего ему холодного периода.

2. В градиенте климатических условий лесостепной и степной зон наблюдаются направленные изменения отклика радиального прироста на климат.

3. В градиенте климатических условий параметры радиального прироста (ширина ранней и поздней древесины, ширина годичного кольца) по-разному откликаются на изменение климата.

4. В связи со сложностью влияния климатических переменных на радиальный прирост деревьев в условиях семиаридного климата имеется необходимость поиска комплексных показателей, характеризующих связь прироста с климатом.

### **Научная новизна и теоретическая значимость результатов исследования.**

Впервые для лесостепной и степной зон Южного Урала проведены крупномасштабные дендроклиматические исследования реликтовых сосновых островных боров. Показана специфичность влияния основных климатических переменных и комплексных гидротермических показателей на различные параметры прироста сосны в условиях недостаточного увлажнения. Проведена оценка влияния климатических условий на радиальный прирост сосны обыкновенной в градиенте климатических условий. Проанализирована изменчивость отклика параметров радиального прироста деревьев (ширина ранней древесины (ШРД), ширина поздней древесины (ШПД), ширина годичного кольца (ШГК), плотность древесины) на климатические переменные в связи с современными изменениями климата.

**Практическая значимость.** Полученные связи радиального прироста с климатическими параметрами могут быть использованы в построении климатических реконструкций и прогностических моделей. Древесно-кольцевые хронологии могут быть использованы историками с целью датировки исторической древесины. Материалы диссертационной работы включены в программу курса лекций «Дендрохронология» Уральского государственного лесотехнического университета.

**Личный вклад соискателя.** Автором выполнена работа по сбору полевого материала в течение 7 лет на территории Челябинской и Оренбургской областей. Обработка, датировка, анализ и обобщение полученных результатов проведены автором лично.

**Апробация работы.** Результаты исследований выносились на обсуждение на 6-ти молодежных конференциях: «Биота горных территорий» (Екатеринбург, 2002); «Экологические механизмы динамики и устойчивости биоты» (Екатеринбург, 2004); «Экология: от генов до экосистем» (Екатеринбург, 2005); «Экология в меняющемся мире» (Екатеринбург, 2006); «Демидовские чтения на Урале» (Екатеринбург, 2006); «Экология: от Арктики до Антарктики» (Екатеринбург, 2007), на Международной

конференции «Влияние изменений климата на бореальные и умеренные леса» (Екатеринбург, 2006) и Русско-Британском симпозиуме «Изменение климата, отклик прироста древесных растений и реконструкция климата» (Красноярск, 2006).

**Публикации.** Основное содержание и защищаемые положения отражены в 9 работах, в том числе в 1 статье в журнале, включенном в перечень научных изданий ВАК.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, семи глав, выводов, списка литературы и приложения. Работа изложена на 123 страницах, содержит 25 таблиц и 27 рисунков. Список литературы включает 112 источников, в числе которых 74 на иностранном языке.

## **ГЛАВА 1. ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РАДИАЛЬНЫЙ РОСТ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕДОСТАТОЧНОГО УВЛАЖНЕНИЯ (СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА)**

В главе приводится краткий обзор литературы по теме диссертации. Рассматривается влияние основных климатических параметров (температуры воздуха и количества осадков) на физиологические механизмы роста древесных растений. Отдельные разделы посвящены обзору отечественных и зарубежных работ по влиянию климатических факторов на радиальный прирост деревьев в условиях недостаточного увлажнения.

## **ГЛАВА 2. ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ**

Район исследования расположен в пределах Зауральского пенеппена между Уральскими горами и Западно-Сибирской низменностью. Географическое положение определяется координатами: 51°40' и 54°39' с.ш. и 58°00' и 61°30' в.д. Протяженность с севера на юг составляет 350 км, с запада на восток – около 30 км (рис. 1).

Объектом исследования послужил уникальный комплекс реликтовых сосновых боров, протянувшийся вдоль Урало-Тобольского водораздела.

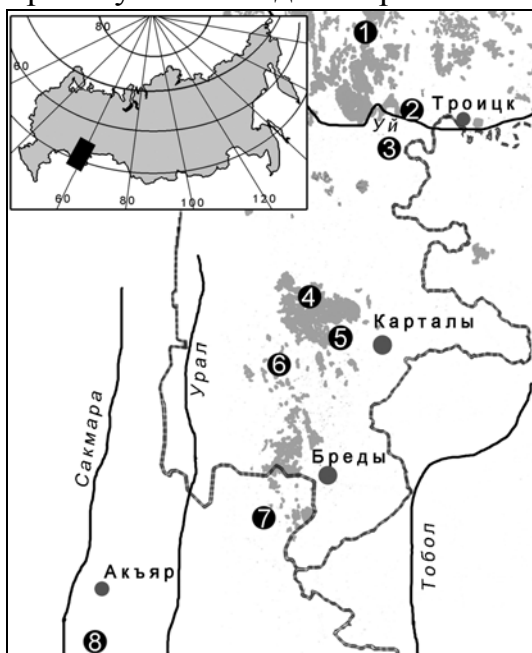


Рисунок 1 – Расположение тест-полигонов (1-8) и метеостанций (серые точки) в пределах района исследований.

В подглавах 2.1 – 2.4 приведены сведения по геологии, гидрографии, почвам, климату и растительности района исследования.

Подглава 2.5 посвящена анализу пространственной динамики климатических условий в пределах района исследования. Установлено, что в южной части района исследований по сравнению с северными районам выпадает меньше осадков в период вегетации. При этом значимых различий в температурном режиме обнаружено не было. Таким образом, имеется возможность проследить влияние климата на радиальный рост деревьев в условиях недостаточного увлажнения при градиентном изменении климатических параметров.

### **ГЛАВА 3. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

**3.1 Сбор полевого материала.** Исходным материалом исследования послужили керны и спилы сосны обыкновенной, произрастающей в островных борах лесостепной и степной зон Южного Урала. Всего было собрано 280 кернов и спилов с деревьев сосны обыкновенной.

**3.2 Камеральная обработка.** Измерения ширины ранней (ШРД) и поздней древесины (ШПД) производились по общепринятой методике (Шиятов и др., 2000) на полуавтоматической измерительной установке LINTAB с точностью 0,01 мм. Граница перехода между ранней и поздней древесиной определялась по анатомическим признакам (размер клеток, толщина клеточных стенок).

**3.3 Денситометрический анализ древесины** проводился на базе Института леса СО РАН (г. Красноярск). Были получены профили плотности древесины для тест-полигона 7, длительностью 94 года.

**3.4 Стандартизация** индивидуальных древесно-кольцевых хронологий (ДКХ) проводилась с помощью программы ARSTAN (Holmes, 1992). Индивидуальные индексные хронологии моделировались авторегрессионным процессом I-го порядка. После стандартизации значения индексов радиального прироста индивидуальных деревьев методом усреднения преобразовывались в обобщенные ДКХ, характеризующие основные черты изменчивости прироста на каждом из исследуемых участков.

**3.5 Оценка статистических характеристик хронологий** осуществлялась по следующим параметрам: коэффициенты вариации и чувствительности, отношение сигнал/шум (Methods of..., 1990).

**3.6 Дендроклиматический анализ.** Древесно-кольцевые хронологии были сгруппированы в соответствии с их расположением в географических подзонах: хронологии 1, 2, 3 располагаются в подзоне южной лесостепи (для расчёта функций отклика использовались данные метеостанции (м\с) Троицк), остальные тест-полигоны находятся в подзоне северной степи. Расчёт откликов прироста для хронологий 3, 4, 5 проводился по м\с Карталы, для 7 – м\с Бреды. Для всех перечисленных выше метеостанций были использованы ряды наблюдений за период с 1936 по 2004 гг. Расчёт откликов прироста хронологий 8 проводился с использованием данных ближайшей к тест-полигону м\с – Акъяр (период наблюдений с 1961 по 1990 гг.). Отклики рассчитывались отдельно для каждой переменной. Оценка связи параметров прироста с дефицитом влажности воздуха и индексом Иванова проводилась с

использованием суточных данных с м\с Троицк, Карталы, Бреды (период наблюдений с 1979 по 1990 гг.). Статистическая обработка результатов исследований проведена с использованием пакета программ STATISTICA 6.0.

## **ГЛАВА 4. АНАЛИЗ ОБОБЩЕННЫХ ДРЕВЕСНО-КОЛЬЦЕВЫХ ХРОНОЛОГИЙ**

**4.1 Длительность хронологий.** С целью усиления климатического сигнала при построении обобщённых хронологий были использованы индивидуальные серии, проявившие максимальную корреляцию друг с другом. Всего было построено 24 обобщенные ДКХ по характеристикам ширины радиального прироста и одна хронология по плотности древесины длительностью от 79 до 240 лет.

**4.2 Автокорреляция I-го порядка.** Значения автокорреляции I-го порядка индексированных рядов ШГК и ШПД варьируют от 0,3 до 0,67. В поздней древесине эффект автокорреляции проявляется гораздо слабее по сравнению с ранней. Разница между значениями этого параметра у разных хронологий составляет 17-40%.

**4.3 Чувствительность древесно-кольцевых хронологий ( $K_s$ ).** Обобщённые стандартизированные хронологии по ШГК и ШРД характеризуются достаточно высокими значениями коэффициента чувствительности ( $K_s=0,32-0,36$ ). Для ШПД характерна более высокая, по сравнению с остальными параметрами прироста, чувствительность. Для всех характеристик прироста (ШГК, ШРД, ШПД), прослеживается увеличение чувствительности с ростом напряжённости лимитирующих факторов с севера на юг.

**4.4 Соотношение сигнал/шум.** У всех хронологий по ранней древесине, поздней древесине и ширине годичных колец этот показатель высок и варьирует от 10 у хронологии 6 до 44 у хронологии 3. Это наряду с высоким коэффициентом чувствительности свидетельствует о сильном влиянии внешних факторов на прирост сосны в условиях района исследования. Низкий показатель соотношения сигнал/шум хронологии по плотности древесины говорит о более слабой выраженности внешнего сигнала в этой характеристике радиального прироста.

**4.5 Корреляция хронологий между собой.** Корреляционный анализ построенных ДКХ показал, что, несмотря на удалённость тест-полигонов друг от друга, радиальный рост сосны в пределах всего района исследования находится под влиянием одного набора лимитирующих факторов.

Хронологии с тест-полигона 7 характеризуются заметно более слабой корреляцией с остальными хронологиями, что свидетельствует о специфике взаимодействия прироста сосны с климатическими условиями на этом тест-полигоне.

**4.6 Выпадающие годичные кольца.** Для района лесостепной и степной зоны Южного Урала выпадение колец прироста наблюдается на всех исследуемых тест-полигонах. В годы с очень неблагоприятными для роста условиями (сильные засухи) кольца отсутствуют у большого количества деревьев в пределах всего района исследования. В 1921, 1955, 1975, 1991, 1998 годах наблюдается наибольшее количество выпадений годичных колец.

# ГЛАВА 5. ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ЛЕСОСТЕПНОЙ И СТЕПНОЙ ЗОНАХ ЮЖНОГО УРАЛА

## 5.1 Влияние климатических условий на величину ранней древесины

Прирост ранней древесины главным образом зависит от гидротермических условий мая-июня, при этом наблюдается положительная связь с количеством осадков и отрицательная с температурами воздуха. Условия сентября предшествующего года также оказывают влияние на ШРД, что может быть связано с механизмом накопления влаги в почве (рис. 2).

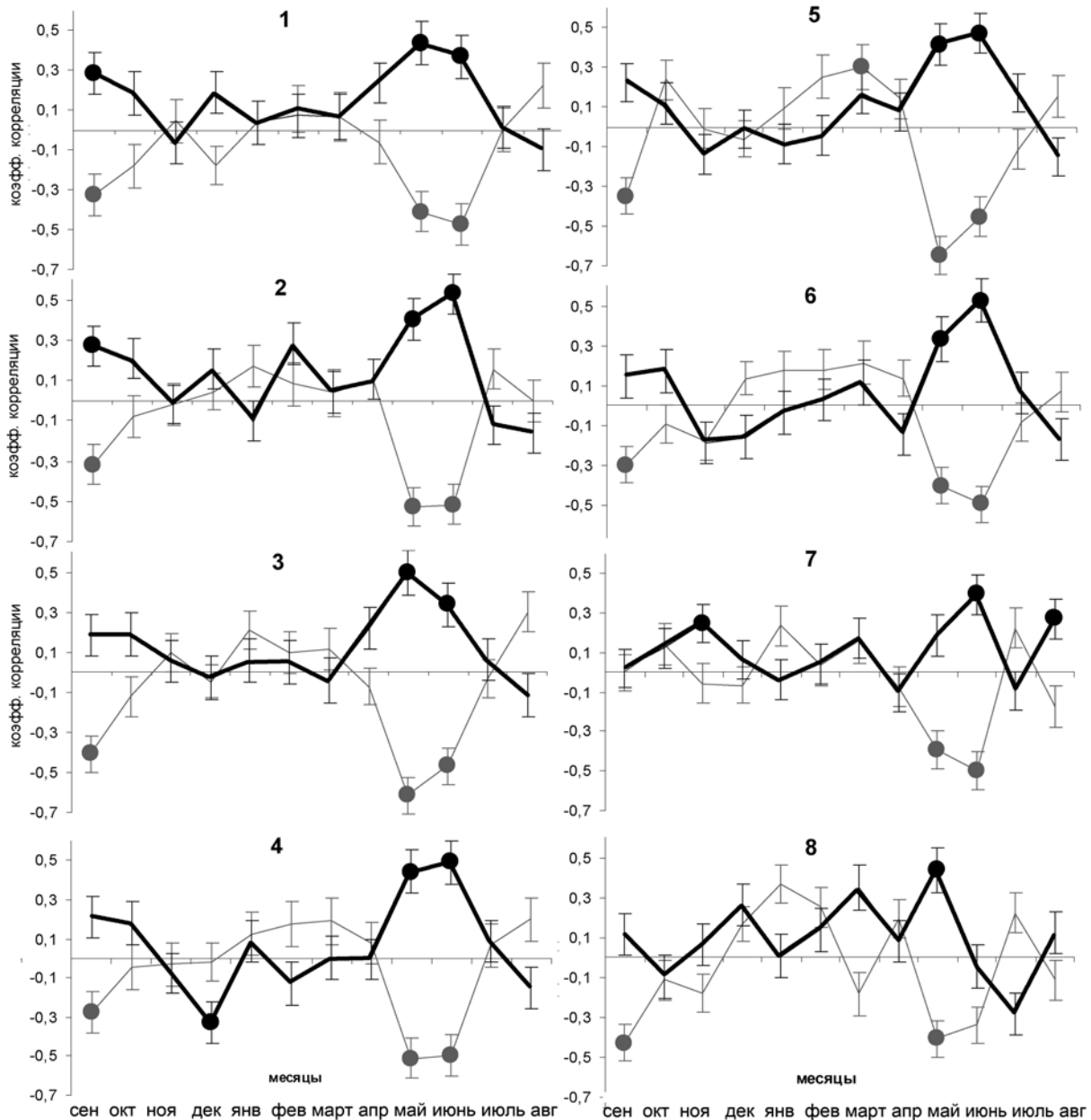


Рисунок 2 – Функции отклика индексов прироста ранней древесины на температуру воздуха (тонкая линия) и количество осадков (жирная линия) с сентября предшествующего по август текущего года. Значимые коэффициенты выделены кружками ( $p < 0,05$ ;  $N=68$ ).

Основное лимитирующее влияние на рост ранней древесины оказывают высокие температуры воздуха мая-июня, что отражается в большей доле дисперсии, объясняемой этими переменными (табл. 1).



Таблица 1 – Доли дисперсии индексов ширины ранней древесины, объясняемые климатическими переменными

№ хронологии	температура воздуха	Осадки
подзона южной лесостепи		
<b>1</b>	0,39	0,33
<b>2</b>	0,48	0,41
<b>3</b>	0,54	0,32
подзона северной степи		
<b>4</b>	0,46	0,32
<b>5</b>	0,62	0,3
<b>6</b>	0,46	0,28
<b>7</b>	0,37	0,35
<b>8</b>	0,53	0,35

Примечание — Все значения достоверны при  $p < 0,05$ ;  $N=68$

## 5.2 Влияние климатических условий на величину поздней древесины

Прирост поздней древесины главным образом определяется количеством осадков вегетационного сезона (рис. 3). Условия холодного периода, предшествующего сезону вегетации, практически не влияют на ШПД. Обнаружено слабое влияние температурного режима на величину поздней древесины.

Анализ пространственной динамики функций отклика прироста поздней древесины на климатические переменные в пределах всего района исследования показал, что с севера на юг усиливается влияние количества осадков на ширину поздней древесины (табл. 2). Это может быть связано с увеличением дефицита влаги вдоль широтного градиента при относительно однородном температурном режиме на протяжении всей трансекты.

Таблица 2 – Доли дисперсии индексов ширины поздней древесины, объясняемые климатическими переменными

№ хронологии	температура воздуха	Осадки
подзона южной лесостепи		
<b>1</b>	<b>0,25</b>	<b>0,22</b>
<b>2</b>	0,04	<b>0,23</b>
<b>3</b>	0,08	0,12
подзона северной степи		
<b>4</b>	0,01	<b>0,37</b>
<b>5</b>	0,1	<b>0,43</b>
<b>6</b>	0,03	<b>0,39</b>
<b>7</b>	0,21	<b>0,49</b>
<b>8</b>	0,14	0,28

Примечание — Значения, выделенные жирным шрифтом, достоверны при  $p < 0,05$ ;  $N=68$

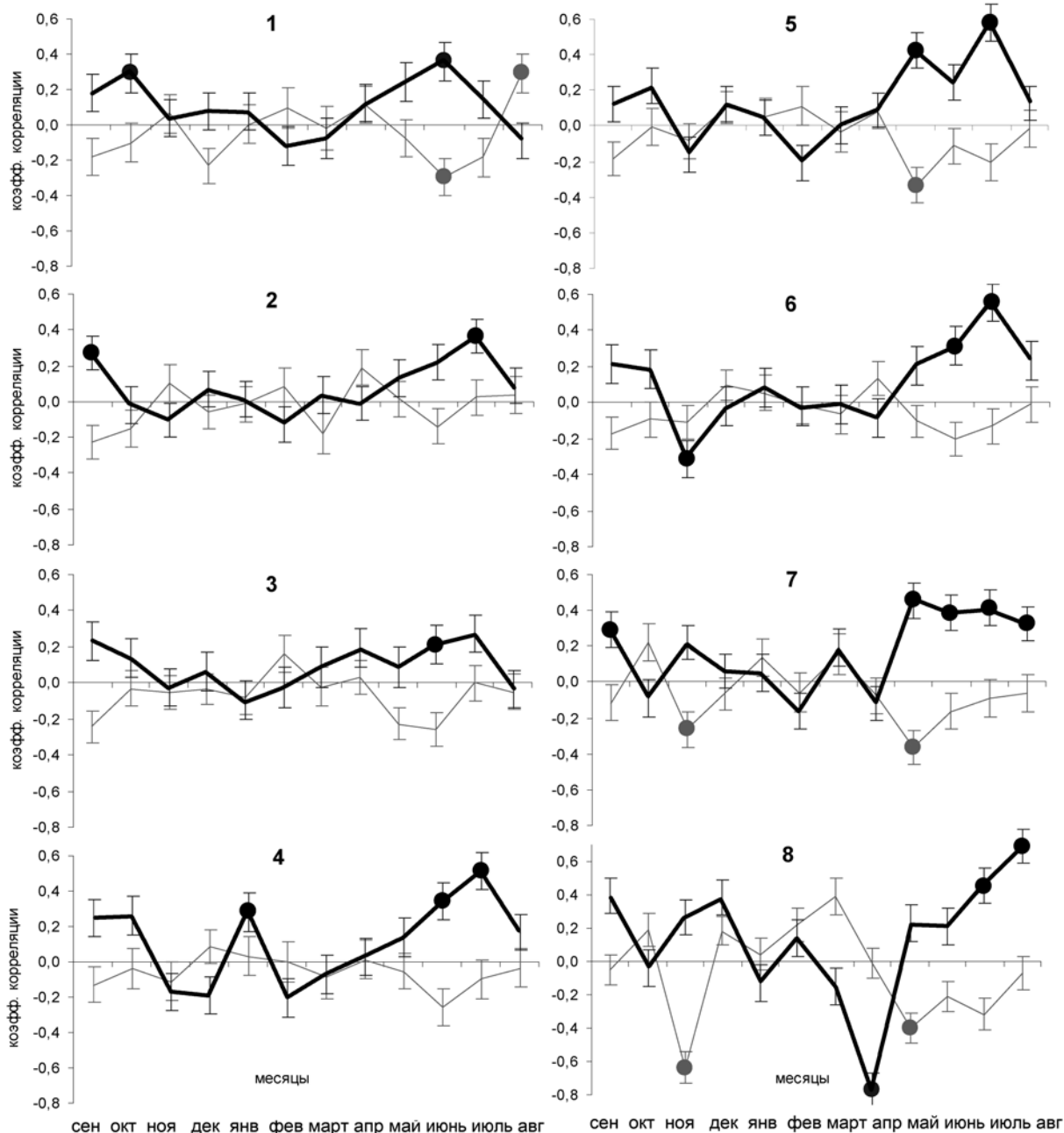


Рисунок 3 – Функции отклика индексов прироста поздней древесины на температуру воздуха (тонкая линия) и количество осадков (жирная линия) с сентября предшествующего по август текущего года. Значимые коэффициенты выделены кружками ( $p < 0,05$ ;  $N=68$ ).

### 5.3 Влияние климатических условий на ширину годичного кольца

Отклик ШГК на всех рассматриваемых тест-полигонах является схожим с откликом ранней древесины, главным образом это связано с тем, что ранняя древесина составляет 80% от общей ширины годичного кольца. Характерной чертой отклика ШГК на всех рассматриваемых тест-полигонах является отсутствие одного фактора, определяющего величину прироста (рис. 4). Температура воздуха и количество осадков вносят примерно равные вклады в изменчивость ШГК (табл. 3).

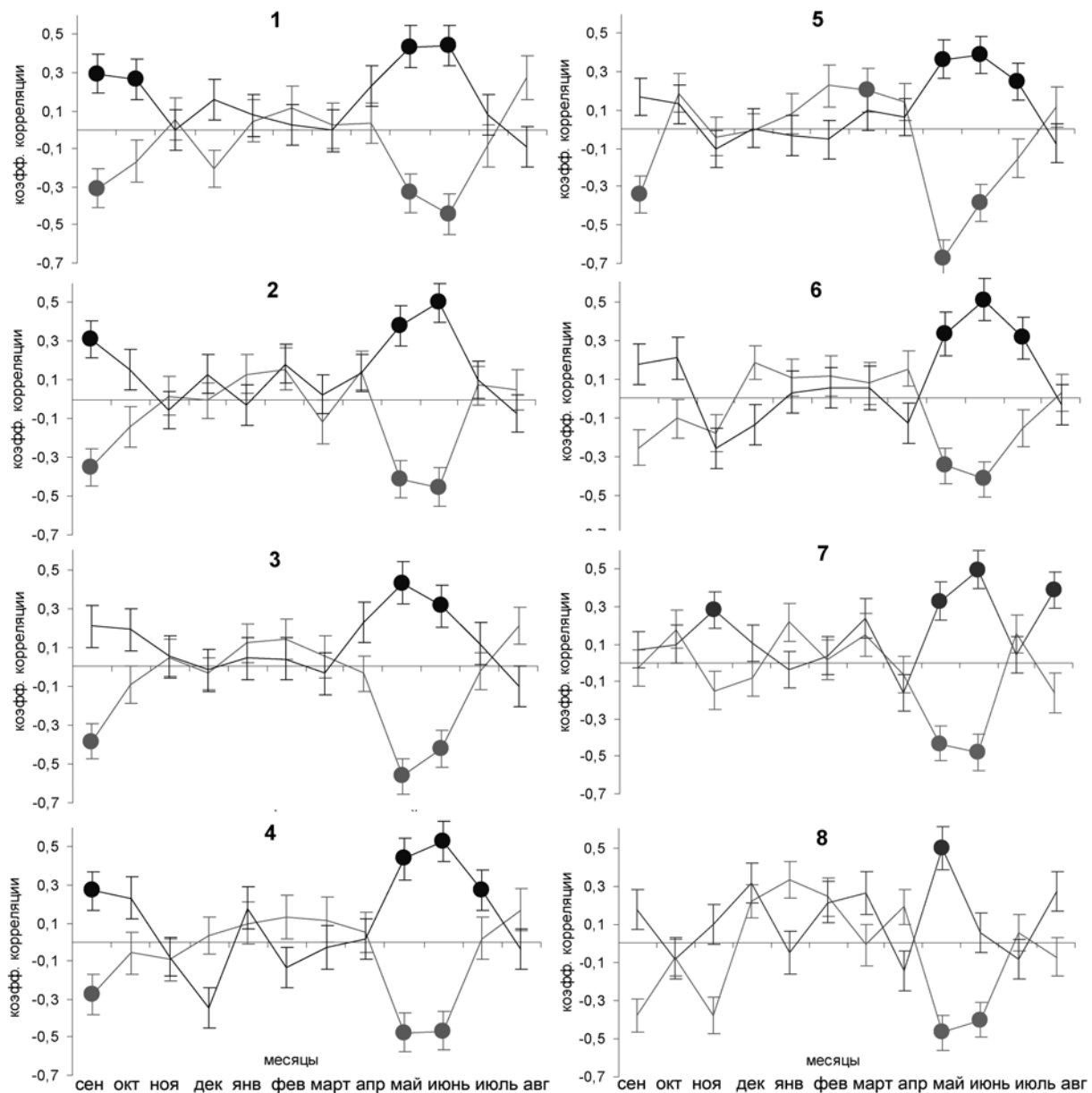


Рисунок 4 – Функции отклика индексов прироста ширины годичного кольца на температуру воздуха (тонкая линия) и количество осадков (жирная линия) с сентября предшествующего по август текущего года. Значимые коэффициенты выделены кружками ( $p < 0,05$ ;  $N=68$ ).

Таблица 3 – Доли дисперсии индексов ширины годичного кольца, объясняемые климатическими переменными

№ хронологии	температура воздуха	Осадки
подзона южной лесостепи		
<b>1</b>	<b>0,34</b>	<b>0,38</b>
<b>2</b>	<b>0,36</b>	<b>0,35</b>
<b>3</b>	<b>0,46</b>	0,26
подзона северной степи		
<b>4</b>	<b>0,41</b>	<b>0,39</b>
<b>5</b>	<b>0,56</b>	<b>0,36</b>
<b>6</b>	<b>0,37</b>	<b>0,32</b>
<b>7</b>	<b>0,38</b>	<b>0,44</b>
<b>8</b>	<b>0,58</b>	<b>0,38</b>

Примечание — Значения, выделенные жирным шрифтом, достоверны при  $p < 0,05$ ;  $N=68$

## 5.4 Отклик радиального прироста на гидротермические показатели

Поскольку в условиях лесостепной и степной зон Южного Урала на радиальный прирост сосны оказывают влияние как температура воздуха, так и количество осадков, была предпринята попытка поиска гидротермического показателя, который отражает комплексное влияние соотношения тепла и влаги на радиальный прирост.

ШРД и ШГК хронологий, расположенных в *подзоне южной лесостепи (1, 2, 3)*, проявляет наиболее тесную связь с показателем, отражающим отношение суммы осадков с сентября предшествующего по июль текущего года к сумме температур мая-июля текущего года (табл. 4). При этом связь с условиями только вегетационного сезона (май-август) выражена гораздо слабее, что свидетельствует о значительном влиянии осадков, выпадающих в сезон, предшествующий вегетации, на прирост ранней древесины.

Таблица 4 – Коэффициенты корреляции хронологий лесостепной зоны с гидротермическими показателями (1936-2004 гг.)

Хронология	Гидротермический показатель			
	$\frac{\sum_{осад} \text{май} - \text{авг}}{\sum_{темп} \text{май} - \text{авг}}$	$\frac{\sum_{осад} \text{окт} - \text{авг}}{\sum_{темп} \text{май} - \text{авг}}$	$\frac{\sum_{осад} \text{окт} - \text{июль}}{\sum_{темп} \text{май} - \text{июль}}$	$\frac{\sum_{осад} \text{сен} - \text{июль}}{\sum_{темп} \text{май} - \text{июль}}$
ранняя древесина				
1	0,38	0,52	0,61	0,63
2	0,32	0,44	0,53	0,59
3	0,43	0,49	0,59	0,61
поздняя древесина				
1	0,31	0,42	0,49	0,53
2	0,41	0,27	0,31	0,34
3	0,45	0,36	0,44	0,51
ширина годичного кольца				
1	0,39	0,55	0,63	0,65
2	0,34	0,50	0,59	0,64
3	0,41	0,50	0,60	0,64

Примечание — Коэффициенты корреляции достоверны при  $p < 0,05$ ;  $N=68$

По сравнению с ранней древесиной и общей шириной годичного прироста условия предшествующего года в меньшей степени влияют на величину поздней древесины.

Отклик хронологий, расположенных в северной части *подзоны северной степи (4, 5, 6)*, схож с таковым у хронологий подзоны южной лесостепи. Наиболее тесная связь наблюдается между приростом (ШРД и ШГК) и показателями, характеризующими гидротермические условия текущего сезона роста и предшествующего ему холодного периода (табл. 5). Гидротермические условия только вегетационного сезона (май-август) в большей степени оказывают влияние на ШГК, чем на ШРД, что свидетельствует о том, что прирост ранней древесины достаточно сильно зависит не только от условий текущего сезона роста, но и от количества осадков, выпадающих в предшествующий ему холодный период.

Таблица 5 — Коэффициенты корреляции хронологий степной зоны с гидротермическими показателями

Хронология	Гидротермический показатель			
	$\frac{\sum_{осад} май - авг}{\sum_{тем} май - авг}$	$\frac{\sum_{осад} окт - авг}{\sum_{тем} май - авг}$	$\frac{\sum_{осад} окт - июль}{\sum_{тем} май - июль}$	$\frac{\sum_{осад} сен - июль}{\sum_{тем} май - июль}$
ранняя древесина				
<b>4</b>	0,36	0,33	0,41	0,49
<b>5</b>	0,41	0,52	0,59	0,63
<b>6</b>	0,33	0,35	0,42	0,51
<b>7</b>	0,45	0,53	0,50	0,49
<b>8</b>	0,20	<b>0,31</b>	<b>0,37</b>	<b>0,49</b>
поздняя древесина				
<b>4</b>	0,55	0,49	0,47	0,50
<b>5</b>	0,53	0,53	0,54	0,54
<b>6</b>	0,56	0,42	0,38	0,41
<b>7</b>	0,68	0,60	0,59	0,56
<b>8</b>	<b>0,59</b>	<b>0,54</b>	<b>0,52</b>	<b>0,50</b>
ширина годичного кольца				
<b>4</b>	0,49	0,45	0,50	0,59
<b>5</b>	0,47	0,58	0,62	0,65
<b>6</b>	0,52	0,47	0,50	0,57
<b>7</b>	0,58	0,63	0,60	0,57
<b>8</b>	0,33	<b>0,41</b>	<b>0,48</b>	<b>0,56</b>
плотность древесины				
<b>8</b>	0,36	0,35	0,34	0,29

Примечание — Коэффициенты корреляции достоверны при  $p < 0,05$ ;  $N=68$ ; выделенные жирным – при  $p < 0,05$ ;  $N=29$ ; курсивом выделены недостоверные значения при  $p < 0,05$ ;  $N=29$

Наиболее тесная связь хронологий по ШПД (тест-полигоны **4**, **5** и **6**) наблюдается с показателем, отражающим гидротермические условия вегетационного сезона (отношение суммы осадков мая-августа к сумме температур за тот же период). При включении в формулу расчёта осадков с сентября предшествующего по апрель текущего года теснота связи не увеличивается, что может свидетельствовать об отсутствии значимого влияния этих переменных на ШПД.

Величина поздней древесины в условиях тест-полигона **7** главным образом определяется гидротермическими условиями вегетационного сезона. Коэффициент корреляции ШПД с соотношением осадков май-август достигает 0,68, что является максимальным значением как для степной, так и лесостепной зон.

Отклик хронологий **8** в целом соответствует отклику хронологий из подзоны северной степи.

Хронология по плотности древесины (тест-полигон **7**) проявляет невысокую статистически достоверную связь с гидротермическими условиями мая-августа

( $r=0,36$ ), что согласуется со слабовыраженным откликом этого параметра радиального прироста на климатические переменные (температуру воздуха и количество осадков).

Рассматривая отклик хронологий по ШПД и ШГК вдоль широтного градиента, стоит отметить следующее: с севера на юг усиливается влияние гидротермических условий вегетационного периода на величину поздней древесины.

Индекс Иванова, предложенный отечественным климатологом Н.Н. Ивановым (1948), является одним из гидротермических показателей, характеризующих степень аридности территории, и учитывает не только термический режим и количество выпадающих осадков, но и влажность воздуха. Для хронологий **8** расчёт связей параметров прироста с индексом Иванова не проводился ввиду отсутствия данных по влажности воздуха с ближайшей к тест-полигону метеостанции.

Хронологии по ШРД и ШГК тест-полигонов, расположенных в *подзоне южной лесостепи* (**1, 2, 3**), характеризуются наличием положительных связей с индексом Иванова за май и июнь. Для ШПД не выявлено статистически достоверных связей с индексами Иванова за отдельные месяцы (табл. 6).

Таблица 6 – Корреляция хронологий лесостепной зоны с индексами Иванова (1979-1990 гг.)

Хронология	Индекс Иванова				
	май	июнь	июль	Август	сред. май-июнь
ранняя древесина					
<b>1</b>	<b>0,39</b>	<b>0,48</b>	-0,04	0,07	<b>0,50</b>
<b>2</b>	<b>0,51</b>	<b>0,56</b>	-0,07	0,02	<b>0,62</b>
<b>3</b>	<b>0,57</b>	<b>0,56</b>	0,01	0,07	<b>0,68</b>
поздняя древесина					
<b>1</b>	0,38	0,38	-0,02	-0,12	<b>0,46</b>
<b>2</b>	0,15	0,07	0,24	0,05	0,15
<b>3</b>	0,22	0,31	0,36	0,11	0,29
ширина годичного кольца					
<b>1</b>	<b>0,43</b>	<b>0,47</b>	0,05	0,06	<b>0,53</b>
<b>2</b>	<b>0,48</b>	<b>0,49</b>	0,10	0,01	<b>0,57</b>
<b>3</b>	<b>0,55</b>	<b>0,54</b>	0,08	0,08	<b>0,66</b>

Примечание — Коэффициенты корреляции, выделенные жирным шрифтом, достоверны при  $p < 0,05$ ;  $N=24$

Для *подзоны северной степи* характерны те же зависимости между ШРД, ШГК и рассматриваемым индексом, что и для юга лесостепной зоны. Наиболее тесные связи наблюдаются между этими параметрами и коэффициентами мая-июня. Корреляционная связь между ШРД, ШГК и средним значением индекса Иванова за май-июнь выражена гораздо сильнее, чем со значениями отдельных месяцев. Прирост поздней древесины также проявляет сильную корреляционную связь с коэффициентами как отдельных месяцев, так и средним значением за май-июнь (табл. 7).

Таблица 7 – Коэффициенты корреляции хронологий степной зоны с индексами Иванова (1979-1990 гг.)

Хронология	Индекс Иванова				
	май	июнь	июль	Август	сред. май-июнь
ранняя древесина					
4	0,28	<b>0,40</b>	0,01	0,02	<b>0,49</b>
5	<b>0,46</b>	0,33	0,10	0,02	<b>0,60</b>
6	0,33	<b>0,41</b>	0,09	-0,09	<b>0,53</b>
7	0,26	<b>0,41</b>	0,10	0,13	<b>0,43</b>
поздняя древесина					
4	0,28	<b>0,44</b>	0,05	0,28	<b>0,51</b>
5	<b>0,53</b>	0,23	0,08	0,22	<b>0,60</b>
6	0,30	0,32	0,04	<b>0,51</b>	<b>0,45</b>
7	<b>0,51</b>	0,14	<b>0,43</b>	0,23	<b>0,50</b>
ширина годичного кольца					
4	0,31	<b>0,46</b>	0,04	0,10	<b>0,54</b>
5	<b>0,54</b>	0,32	0,09	0,07	<b>0,66</b>
6	<b>0,42</b>	<b>0,45</b>	0,10	0,15	<b>0,63</b>
7	0,39	<b>0,42</b>	0,26	0,20	<b>0,53</b>
плотность древесины					
7	0,32	<b>0,42</b>	0,11	0,05	<b>0,51</b>

Примечание — Коэффициенты корреляции, выделенные жирным шрифтом, достоверны при  $p < 0,05$ ;  $N=24$

Хронология по плотности древесины характеризуется достаточно сильной связью со средним значением индекса Иванова за май-июнь.

Ещё одним показателем, характеризующим гидротермические условия района исследований, является дефицит влажности воздуха. Хронологии по ШРД и ШГК подзоны южной лесостепи (1, 2, 3) проявляют сильную отрицательную корреляционную связь с дефицитом влажности воздуха мая и июня. ШПД проявляет более слабую связь с дефицитом влажности воздуха (табл. 8).

Таблица 8 – Коэффициенты корреляции хронологий лесостепной зоны с дефицитом влажности воздуха (1979-1990 гг.)

Хронология	Средний дефицит влажности воздуха					
	май	июнь	июль	ср. май-июнь	ср. май-июль	ср. июль-июль
ранняя древесина						
1	<b>-0,68</b>	<b>-0,55</b>	-0,32	<b>0,67</b>	<b>-0,61</b>	<b>-0,49</b>
2	<b>-0,70</b>	<b>-0,70</b>	-0,31	<b>0,77</b>	<b>-0,74</b>	<b>-0,61</b>
3	<b>-0,80</b>	<b>-0,58</b>	-0,33	<b>-0,76</b>	<b>-0,70</b>	<b>-0,53</b>
поздняя древесина						
1	<b>-0,47</b>	-0,25	-0,32	<b>-0,44</b>	-0,40	-0,31
2	-0,30	-0,10	-0,35	-0,18	-0,29	-0,25
3	<b>-0,57</b>	-0,34	<b>-0,50</b>	<b>-0,45</b>	<b>-0,56</b>	<b>-0,47</b>

Хронология	Средний дефицит влажности воздуха					
	ширина годичного кольца					
	май	июнь	июль	ср. май-июнь	ср. май-июль	ср. июнь-июль
<b>1</b>	<b>-0,67</b>	<b>-0,46</b>	-0,42	<b>-0,63</b>	<b>-0,62</b>	<b>-0,50</b>
<b>2</b>	<b>-0,67</b>	<b>-0,57</b>	-0,39	<b>-0,69</b>	<b>-0,71</b>	<b>-0,58</b>
<b>3</b>	<b>-0,80</b>	<b>-0,57</b>	-0,40	<b>-0,75</b>	<b>-0,72</b>	<b>-0,55</b>

Примечание — Коэффициенты корреляции, выделенные жирным шрифтом, достоверны при  $p < 0,05$ ;  $N=24$

Для хронологий *подзоны северной степи* характерно наличие сильных отрицательных связей ШРД и ШГК с дефицитом влажности мая и июня, при этом связь с дефицитом влажности июня выражена в большей степени по сравнению с подзоной южной лесостепи. Для ШПД этой части района исследований характерна наиболее тесная связь со средним значением дефицита влажности воздуха за июнь-июль (табл. 9).

Таблица 9 – Коэффициенты корреляции хронологий степной зоны с дефицитом влажности воздуха (1979-1990 гг.)

Хронология	Ср. дефицит влажности воздуха					
	май	июнь	июль	ср. май-июнь	ср. май-июль	ср. июнь-июль
ранняя древесина						
<b>4</b>	<b>-0,50</b>	<b>-0,61</b>	-0,33	<b>-0,67</b>	<b>-0,66</b>	<b>-0,47</b>
<b>5</b>	<b>-0,60</b>	<b>-0,71</b>	-0,43	<b>-0,79</b>	<b>-0,79</b>	<b>-0,67</b>
<b>6</b>	<b>-0,52</b>	<b>-0,75</b>	-0,36	<b>-0,78</b>	<b>-0,78</b>	<b>-0,51</b>
<b>7</b>	-0,34	<b>-0,70</b>	-0,07	<b>-0,65</b>	<b>-0,65</b>	<b>-0,36</b>
поздняя древесина						
<b>4</b>	-0,34	<b>-0,54</b>	<b>-0,57</b>	<b>-0,47</b>	<b>-0,46</b>	<b>-0,64</b>
<b>5</b>	<b>-0,50</b>	-0,44	<b>-0,61</b>	<b>-0,51</b>	<b>-0,50</b>	<b>-0,63</b>
<b>6</b>	-0,39	<b>-0,47</b>	<b>-0,58</b>	<b>-0,46</b>	<b>-0,44</b>	<b>-0,65</b>
<b>7</b>	<b>-0,47</b>	-0,06	-0,22	<b>-0,41</b>	<b>-0,42</b>	<b>-0,48</b>
ширина годичного кольца						
<b>4</b>	<b>-0,50</b>	<b>-0,64</b>	-0,43	<b>-0,69</b>	<b>-0,70</b>	<b>-0,60</b>
<b>5</b>	<b>-0,64</b>	<b>-0,67</b>	<b>-0,49</b>	<b>-0,77</b>	<b>-0,77</b>	<b>-0,71</b>
<b>6</b>	<b>-0,55</b>	<b>-0,73</b>	<b>-0,46</b>	<b>-0,81</b>	<b>-0,81</b>	<b>-0,70</b>
<b>7</b>	-0,43	<b>-0,63</b>	-0,14	<b>-0,68</b>	<b>-0,69</b>	<b>-0,46</b>
плотность древесины						
<b>7</b>	-0,23	-0,18	-0,01	<b>-0,49</b>	<b>-0,54</b>	-0,32

Примечание — Коэффициенты корреляции, выделенные жирным шрифтом, достоверны при  $p < 0,05$ ,  $N=24$

Корреляция плотности древесины (тест-полигон 7) с показателями дефицита влажности выражена слабее по сравнению с другими характеристиками прироста (табл. 9).

Рассматривая изменчивость связи параметров прироста с показателями дефицита влажности воздуха, следует отметить, что хронологии лесостепной зоны проявляют более тесную связь с условиями начала вегетационного сезона (май), а хронологии степной зоны сильнее коррелируют с условиями середины сезона роста (июнь, июль).



Проявление сильных корреляционных связей между параметрами прироста в пределах всего района исследований и комплексными гидротермическими показателями (табл. 4-9) свидетельствует о том, что рассматриваемые в работе показатели достаточно точно описывают комплексное влияние температуры воздуха и количества осадков на радиальный прирост сосны в условиях лесостепной и степной зон Южного Урала, и могут быть использованы для реконструкции климатических условий.

## **ГЛАВА 6. СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В ЛЕСОСТЕПНОЙ И СТЕПНОЙ ЗОНАХ ЮЖНОГО УРАЛА**

Для анализа многолетней динамики климатических условий были использованы среднемесячные данные по температуре воздуха и количеству осадков с м\с Троицк, Карталы и Бреды за период с 1936 по 2004 гг. Рассматриваемый временной промежуток был разделён на два равных интервала: 1936-1970 гг. и 1971-2004 гг.

**6.1 Динамика осадков.** На всех метеостанциях увеличилось количество осадков холодного периода, предшествующего сезону вегетации (сумма осадков с сентября прошлого по апрель текущего года увеличилась на 16-21%). Количество осадков, выпадающих в течение вегетационного сезона, не изменилось.

**6.2 Динамика температуры воздуха.** С середины 1930-х годов на всей территории района исследования наблюдается увеличение среднегодовой температуры воздуха на 1°C. Наибольший относительный рост температуры отмечен на м\с Бреды. Период 1971-2004 гг. был на 45% теплее многолетней нормы. Как и в случае с осадками, основные изменения произошли в холодный период года. Рост средних температур января-марта составил 1,7-1,9°C. При этом изменений температуры воздуха в вегетационный период (май-август) обнаружено не было.

## **ГЛАВА 7. ДИНАМИКА ОТКЛИКА РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ЛЕСОСТЕПНОЙ И СТЕПНОЙ ЗОНАХ ЮЖНОГО УРАЛА В СВЯЗИ С СОВРЕМЕННЫМИ ИЗМЕНЕНИЯМИ КЛИМАТА**

На основе общности расположения и отклика радиального прироста на климатические переменные обобщённые ДКХ были сгруппированы следующим образом: хронологии 1, 2 и 3 были объединены в генерализованную хронологию лесостепной зоны, хронологии 4, 5 и 6 в генерализованную хронологию степной зоны. Построение генерализованных хронологий проводилось отдельно для каждого параметра прироста (ШГК, ШРД, ШПД). Отклик хронологий тест-полигона 7 на изменение климатических условий рассматривался отдельно от остальных ДКХ в силу особенности расположения этого тест-полигона. Анализ изменений отклика прироста сосны на тест-полигоне 8 не проводился, поскольку период метеонаблюдений на ближайшей к данному полигону метеостанции составляет всего 29 лет.

На большей части района исследований современные изменения климата не оказали значимого влияния на отклик радиального прироста сосны обыкновенной на климатические переменные, о чём свидетельствует доли дисперсии, объясняемые температурой воздуха и количеством осадков.

Отклик радиального прироста на современные изменения климата выявлен только для деревьев, произрастающих в наиболее неблагоприятных для роста условиях (табл. 10). В юго-восточной части района исследований (тест-полигон 7) произошли заметные изменения в отклике радиального прироста. В период 1971-2004 гг. изменчивость ШГК и ШРД была обусловлена температурой воздуха. Влияние количества осадков, напротив, уменьшилось по сравнению с периодом 1936-1970 гг. Температуры воздуха не оказывали значимого влияния на ШПД ни в один из рассматриваемых периодов. При этом, как и в случае с ШГК и ШРД, в период 1971-2004 гг. ослабевает связь ШПД с количеством осадков. Таким образом, наблюдаемые современные изменения климата в пределах района исследований привели к перераспределению влияния климатических переменных на параметры радиального прироста сосны обыкновенной на тест-полигоне 7 (табл. 10). Это свидетельствует о том, что в юго-восточной части исследуемого района климатические изменения привели к улучшению влагообеспеченности, параллельно этому произошло усиление лимитирующего влияния температур воздуха на радиальный рост сосны обыкновенной.

Таблица 10 – Доли дисперсии индексов прироста сосны обыкновенной, объясняемые климатическими переменными, в различные периоды времени

Параметр прироста	температура		осадки	
	1936-1970 гг.	1971-2004 гг.	1936-1970 гг.	1971-2004 гг.
подзона южной лесостепи				
ШГК	<b>0,52</b>	<b>0,62</b>	<b>0,37</b>	<b>0,43</b>
ШРД	<b>0,69</b>	<b>0,62</b>	<b>0,41</b>	<b>0,41</b>
ШПД	0,24	<b>0,36</b>	0,1	0,12
подзона северной степи				
ШГК	<b>0,64</b>	<b>0,61</b>	0,17	0,09
ШРД	<b>0,69</b>	<b>0,61</b>	0,11	0,01
ШПД	0,11	<b>0,31</b>	0,02	0,2
тест-полигон 7				
ШГК	0,24	<b>0,46</b>	<b>0,62</b>	<b>0,3</b>
ШРД	0,17	<b>0,37</b>	<b>0,57</b>	0,15
ШПД	0,26	0,15	<b>0,59</b>	<b>0,47</b>
Плотность	<b>0,35</b>	<b>0,31</b>	0,01	<b>0,34</b>

Примечание — Значения, выделенные жирным шрифтом, достоверны при  $p < 0,05$ ;  $N = 34$

На основании полученных данных можно сделать заключение, что на большей части района исследований наблюдаемые изменения климатических условий в период с 1936 по 2004 гг. не привели к значительному изменению отклика радиального прироста сосны на климатические переменные. Вероятно, это объясняется тем, что повышение температуры компенсировалось увеличением количества осадков. В районе тест-полигона 7 отклик радиального прироста претерпел существенные изменения, что, вероятно, связано с тем, что в неблагоприятных для роста сосны условиях даже незначительные изменения климатических условий могут приводить к изменению влияния климата на радиальный прирост.

## ВЫВОДЫ

1. Радиальный прирост сосны обыкновенной в условиях лесостепной и степной зон Южного Урала определяется гидротермическими условиями (температурой воздуха и количеством осадков) вегетационного сезона и предшествующего ему холодного периода.

2. Прирост ранней древесины и ширина годичного слоя прироста в равной степени определяется температурой воздуха и количеством осадков. Прирост поздней древесины главным образом зависит от количества осадков текущего сезона вегетации.

3. В пределах района исследования с севера на юг наблюдается усиление связи параметров годичного прироста с гидротермическими показателями вегетационного периода. При этом в градиенте климатических условий выявлено перераспределение влияния температуры и осадков на параметры прироста.

4. Изменение отклика радиального прироста на климатические переменные в условиях изменения климата последнего столетия наиболее выражено на самом юго-востоке района исследований.

5. Выявлены климатические переменные (дефицит влажности воздуха, индекс сухости Иванова, сезонные гидротермические коэффициенты), наиболее полно отражающие комплексную связь радиального прироста с осадками и температурой воздуха в районе исследования.

6. Выявленные связи параметров радиального прироста с климатическими показателями в дальнейшем могут быть использованы для построения климатических реконструкций.

## Список работ, опубликованных по теме диссертации

— в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Агафонов Л.И. Изменения климата прошлого столетия и радиальный прирост сосны в степи Южного Урала / Л.И. Агафонов, **В.В. Кукарских** // Экология. 2008. № 3. С. 173-180.

— в прочих изданиях:

2. **Кукарских В.В.** Радиальный прирост сосны обыкновенной в островном бору степной зоны Оренбуржья / В.В. Кукарских // Экологические механизмы динамики и устойчивости биоты: материалы конф. молодых ученых. Екатеринбург, 2004. С. 110-111.

3. Agafonov L. Scots pine in Ural forest steppe / L. Agafonov, **V. Kukarskih** // Tree rings in Archeology, Climatology and Ecology: Abstr. of conf. Fribourg, Switzerland, 2005. P. 31.

4. Агафонов Л.И. Изменения климата и радиальный прирост сосны обыкновенной в степи Южного Урала. / Л.И. Агафонов, **В.В. Кукарских** // Изучение и сохранение природных экосистем заповедников лесостепной зоны: материалы международной науч.-практ. Конф., посвященной 70-летию Центр.-Чернозем. заповедника. Курск, 2005. С. 172-177.

5. **Кукарских В.В.** Что влияет на радиальный прирост деревьев в условиях сухого климата? / В.В. Кукарских // Экология в меняющемся мире: материалы конференции молодых ученых. Екатеринбург, 2006. С. 120-122.

6. **Kukarskih V.** Climate impact on radial growth of trees in South Ural forest-steppe / V. Kukarskih // Abstracts of Workshop on Climate change, the tree growth response, and reconstruction of climate, V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, 2006. P.29-30.

7. **Кукарских В.В.** Анализ древесно-кольцевых хронологий таёжной и степной зон Южного Урала / В.В. Кукарских // Демидовские чтения на Урале: тез. докл. науч. конф. Екатеринбург, 2006. С. 255-256.

8. Agafonov L.I. Climate and radial tree growth of trees in South Ural forest-steppe / L.I. Agafonov, **V.V. Kukarskih** // Climate changes and their impact on Boreal and Temperate forest. Abstr. of Intern. Conf. Ekaterinburg, 2006. P.6.

**Кукарских В.В.** Исследование связей различных параметров радиального прироста сосны с климатом / В.В. Кукарских Л.И. Агафонов // Экология: от Арктики до Антарктики: материалы конф. молодых ученых. Екатеринбург, 2007. С. 154-162.

---

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

---

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