

На правах рукописи

МАЛЫШЕВА НАТАЛЬЯ ВИКТОРОВНА

**ДЕНДРОИНДИКАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ЛЕНТОЧНЫХ БОРОВ АЛТАЙСКОГО КРАЯ**

25.00.25 – геоморфология и эволюционная география

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Москва - 2010

Работа выполнена в Учреждении Российской Академии наук Институте водных и экологических проблем Сибирского отделения РАН, Барнаул

Научный руководитель

Кандидат географических наук, доцент

Николай Иванович Быков

Официальные оппоненты

Доктор географических наук, чл. - корр. РАН

Ольга Николаевна Соломина

Кандидат географических наук, доцент

Николай Николаевич Михайлов

Ведущая организация

Сибирский федеральный университет,
Красноярск

Защита состоится 12 марта 2010 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета (Д 002.046.04) в Учреждении Российской Академии наук Институте географии РАН по адресу 119017, Москва, Старомонетный пер., 29.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Учреждения Российской Академии наук Института географии РАН.

Текст объявления и автореферат размещены на сайте Института Географии РАН www.igras.ru

Автореферат разослан 11 февраля 2010 г.

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах), заверенные печатью, просим отправлять по адресу: 119017, Москва, Старомонетный пер., 29. Факс: (495) 959-00-33 E-mail: igras@igras.geonet.ru; direct@igras.geonet.ru

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат географических наук



И.С. Зайцева

Актуальность

В последние десятилетия большое внимание уделяется изучению вопросов трансформации структуры ландшафтной оболочки Земли, вызванной изменением климата [Величко, 1991; Израэль и др., 2007]. Важной задачей является определение современных климатических тенденций на основе анализа их реконструкций в прошлом [Котляков, 2005]. Сложность также заключается в том, что направленность и интенсивность климатических колебаний неодинаково проявляется в разных частях планеты [Оценочный доклад об изменениях климата..., 2008]. Чтобы судить о глобальных природных изменениях, необходимо исследовать динамику климата на региональном уровне.

Использование дендроиндикационного метода для реконструкций природных обстановок прошлого, в частности, климатического режима является обоснованным и достаточно перспективным [Fritts, 1976; Schweingruber, 1993; Ваганов, Шиятов, Мазепа, 1996]. Количественные и качественные характеристики годовых колец деревьев, произрастающих в пессимальных климатических условиях, являются источником информации о произошедших колебаниях климата. Полученные реконструкции на основе метода дендроиндикации обладают высоким временным разрешением (до года), что делает их основой анализа динамических и эволюционных процессов природной среды.

Ленточные боры, сформировавшиеся в долинах древнего стока, представляют собой реликтовую интразональную природную систему, протягивающуюся от подзоны южной лесостепи до сухой степи. На сегодняшний момент ленточные боры недостаточно изучены в дендроклиматическом отношении [Магда, 2003, Оленин, Мазепа, 1987]. В то время как проведение подобных исследований дает возможность восстановить климатический режим, и, прежде всего, режим увлажнения для данной территории. Это особенно ценно потому, что выпадение атмосферных осадков в континентальных условиях, зачастую, происходит локально. Для построения действительной картины увлажнения территории необходимо иметь плотную сеть метеостанций. Альтернативой в данном случае может быть организация сети дендроиндикационных участков в лесостепной и степной зонах.

Целью работы является исследование пространственной дифференциации дендроклиматических связей сосны ленточных боров для реконструкции гидротермического и гидрологического режимов лесостепной и степной зон Алтайского края.

Для этого были поставлены следующие **задачи**:

1) исследовать пространственную и временную изменчивость ширины радиального прироста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) ленточных боров;

2) проанализировать реакцию радиального прироста сосны обыкновенной на изменения режима осадков и температуры воздуха лесостепной и степной территории Алтайского края;

3) выявить косвенные связи изменения прироста деревьев, произрастающих в условиях недостаточного увлажнения, с колебаниями уровней озер и объемов расхода рек степной зоны Алтайского края;

4) построить дендроиндикационные (корреляционные) карты;

5) на основе выявленных дендроиндикационных зависимостей провести реконструкцию некоторых гидрометеорологических показателей для территории южной лесостепи и Кулундинской степи Алтайского края.

Объектом исследования выступают ленточные боры (в пределах Алтайского края).

Предметом исследования являются дендроклиматические связи ленточных боров на территории лесостепной и степной зон Алтайского края.

Новизна

Впервые проведены детальные дендроклиматические исследования ленточных боров. Модельные участки были заложены по протяжению четырех лент на расстоянии около 50 км друг от друга, что позволило изучить пространственно-временную дифференциацию дендроиндикационного потенциала хронологий от зоны лесостепи до сухой степи.

На основе кластеризации разновременных отрезков хронологий сосны проведена реконструкция динамики климатической границы, обуславливающая соотношение лесостепной и степной зон.

Уточнены лимитирующие факторы радиального прироста деревьев в условиях недостаточного увлажнения, отмечена высокая значимость локальных факторов местообитаний. Установлена зависимость минимального прироста сосны от засух в начале вегетационного периода и морозных зим на территории Алтайского края. Выявлена возможность индцировать степень засухи по приросту деревьев.

Анализ изменения индикационных свойств хронологий внутри интразональной лесной геосистемы был проведен с использованием картографического метода. Составлены дендроиндикационные карты, которые представляют собой модели пространственного изменения дендроклиматического потенциала. Анализ этих карт позволяет судить о том, на какую территорию можно достоверно распространить результаты дендроиндикации.

Практическое значение:

1) пополнение дендрохронологической базы данных по территории с недостаточным увлажнением в рамках дендроклиматического мониторинга [Ваганов и др., 1996, Шиятов, Ваганов, 1998]. Это поможет уточнить региональные и глобальные оценки изменения геосистемных связей во времени и пространстве;

2) с хозяйственной точки зрения данная работа полезна и может быть применима в лесном и сельском хозяйстве края. Большее значение работа имеет для растениеводства, так как в результате были выявлены тесные связи прироста сосны и рядов колебания осадков для территории равнинных степей Алтая, которые возможно использовать для реконструкции последних и для прогноза изменения увлажнения. Был проведен сравнительный анализ

засушливых лет и минимумов прироста сосны ленточных боров, что позволит также говорить о прогнозе засух на территории края;

3) были выявлены тесные связи колебаний уровня воды степных озер и объемов стока рек Алтайского края с древесно-кольцевыми рядами отдельных местообитаний, что позволяет говорить об индикации гидрологического режима в южной лесостепи и степи;

4) древесно-кольцевые хронологии ленточных боров могут быть использованы для датирования различных деревянных сооружений, памятников деревянной архитектуры на территории Алтайского края. Продленные древесно-кольцевые ряды для данной территории (прежде всего, на основе перекрестного датирования древесины старых деревянных строений) можно использовать для определения возраста археологических находок периода освоения предалтайских равнин.

Фактический материал исследования представляет собой буровые керны сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), которые были взяты в четырех ленточных борах Алтайского края (Бурлинском, Кулундинском, Касмалинском, Барнаульском) в экспедициях 1997, 2003-2007 гг.. Для пространственного анализа изменения силы климатического сигнала в годичных кольцах модельные участки были заложены по боровой ленте на расстоянии, примерно, 50 км друг от друга с севера-востока на юго-запад.

В процессе исследования было проанализировано около 640 буровых образцов сосны обыкновенной. На основе этого было построено 25 обобщенных хронологий индексов ширины годичных колец. Средняя продолжительность рядов составила 143 года, максимальная – 203 года.

Для дендроклиматического анализа были использованы метеорологические данные метеостанций Барнаул, Баево, Ребриха, Хабары, Мамонтово, Волчиха, Ключи, Угловское (при построении дендроиндикационных карт дополнительно использовались данные метеостанций Алейск, Благовещенка, Родино, Кулунда, Славгород). Для нахождения связей изменения прироста сосны с динамикой отдельных гидрологических характеристик были использованы ряды уровней Кулундинского и Горького-Перешеечного озер и расхода рек Бурла, Кулунда, Кучук, Касмала.

Методы исследования

Методика проведения дендроиндикационного исследования подразделяется на полевые работы и камеральные. Последние представляют собой комплекс общенаучных (математические, статистические методы) и специальных методов: сравнительно-географический, картографический и дендрохронологический как особый инструмент данной научной области [Шиятов и др., 2000].

Измерение ширины годичных колец было проведено на установках LINTAB 3 и 5 с точностью до 0,01 мм (в лаборатории структуры древесных колец Института Леса им. Сукачева, г. Красноярск и, частично, на кафедре физической географии в университете им. Мартина Лютера, г. Галле, Германия). Обработка древесно-кольцевых серий проводилась с

использованием программ TSAP и программного пакета DPL (Cofecha, ARSTAN и др.). При стандартизации индивидуальных хронологий в качестве аппроксимирующих кривых были приняты линейная функция, негативная экспонента и кубический сплайн.

Личный вклад автора состоит в сборе и обработке фактического материала по общепринятым в данной научной области методикам, в проведении пространственно-временного анализа древесно-кольцевых серий, построении геоинформационных карт и реконструкций отдельных показателей климатического и гидрологического режимов для территории ленточных боров Алтайского края.

Апробация работы

Промежуточные и основные результаты исследования докладывались на XXX, XXXI и XXXIII научных конференциях студентов, магистрантов, аспирантов и учащихся лицейских классов (Барнаул, 2003, 2004, 2006), в IV Всероссийском школе-семинаре «Теоретические и прикладные вопросы современной географии» (Томск, 2005), на международной научно-практической конференции «Рельеф и природопользование предгорных и низкогорных территорий» (Барнаул, 2005), на научной конференции «Алтай на пороге третьего тысячелетия» (Бийск, 2005), на всероссийской конференции «Дендрэкология и лесоведение» (Красноярск, 2007), на IX конференции молодых ученых ИВЭП СО РАН (Барнаул, 2009).

Публикации

По теме диссертации опубликовано 11 работ. Две из них в рецензируемых журналах (одна статья была опубликована в 2006 году в журнале, входившем в действительный, на тот момент, список ВАК).

Структура и объем диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 167 источников, и приложения. Объем диссертации – 142 страницы, приложение занимает 17 страниц.

Основные положения работы, выносимые на защиту:

1) Динамика ленточных боров, индикаторами которой являются древесно-кольцевые хронологии сосны обыкновенной, определяется увлажнением первой половины вегетационного периода. Усиление значимости зонального климатического фактора происходит в юго-западном направлении.

Дендрохронологический материал является потенциальным источником информации об условиях окружающей среды. Установлено, что прирост деревьев в условиях недостатка увлажнения ограничен количеством выпадающих осадков [Пугачев, 1975, Schweingruber, 1993]. Однако правильнее говорить о комплексном лимитирующем факторе, который определяет увлажнение территории (соотношение количества осадков и температуры воздуха).

Реликтовые ленточные боры, сформировавшиеся на песках древних долин стока [Лютцау, 1970], представляют собой интразональную геосистему.

Ленточные боры Алтайского края с севера-востока на юго-запад пересекают две физико-географические зоны (лесостепи и степи) (рисунок 2), в том же направлении происходит увеличение континентальности климата. Если климатический фактор представляет для нас интерес и его проявление в годовых кольцах является сигналом, то локальный фактор вносит «шум». Он обусловлен, прежде всего, холмисто-грядовым рельефом долин древнего стока, что определяет различные типы местообитаний в ленточном бору.

Исследование дендроиндикационных свойств годовых колец сосны проведено в два этапа. Сначала анализировались собственно древесно-кольцевые серии, затем была исследована связь рядов прироста с климатическими условиями лесостепной (левый берег Оби) и степной частями Алтайского края.

Согласованность изменения ширины прироста на одном модельном участке не одинакова в пространственном отношении. Уменьшение общей межсерийной изменчивости указывает на доминирование климатической составляющей над локальным «шумом» в древесно-кольцевых сериях одного участка [Schweingruber, 1993]. Высокие межсерийные коэффициенты корреляции (до 0,8) более характерны для модельных участков степной зоны, однако абсолютной зависимости от зонального фактора нет. Низкая связь (0,3-0,5) рядов прироста отдельных деревьев на одном участке говорит о том, что локальные условия произрастания сосны достаточно разнообразны. Причины изменчивости прироста сосны нужно искать на уровне урочищ и фаций, так как анализ на уровне типов местностей не обнаружил четких зависимостей. Можно сказать лишь то, что согласованность прироста для склонового типа местности несколько ниже, по сравнению с другими участками.

Коэффициент чувствительности, как главный дендроиндикационный показатель [Шиятов, 1986; Schweingruber, 1993], в основе которого лежит оценка величины межгодовой изменчивости радиального прироста деревьев, для индивидуальных серий ширины колец удовлетворителен (колеблется от 0,21 до 0,3, при пороговом значении 0,2 [Ваганов, Шиятов, Мазепа, 1996, Магда, Зеленова, 2002]). В его пространственном изменении закономерности выражены достаточно слабо. Высокие коэффициенты чувствительности отмечены как для хронологий сухой степи, так и южной лесостепи. Что еще раз указывает на значимость локальных микроусловия для роста сосны ленточных боров.

Для оценки связей рядов прироста в различных частях ленточных боров был использован кластерный анализ за общий период с 1903 г. по 1997 г. Правилom кластеризации принят метод Уарда (Варда), мерой дистанции – коэффициент 1-г Пирсона [Боровиков, 2003]. Дерево кластеризации для периода 1950-1997 гг. приведено на рисунке 1.

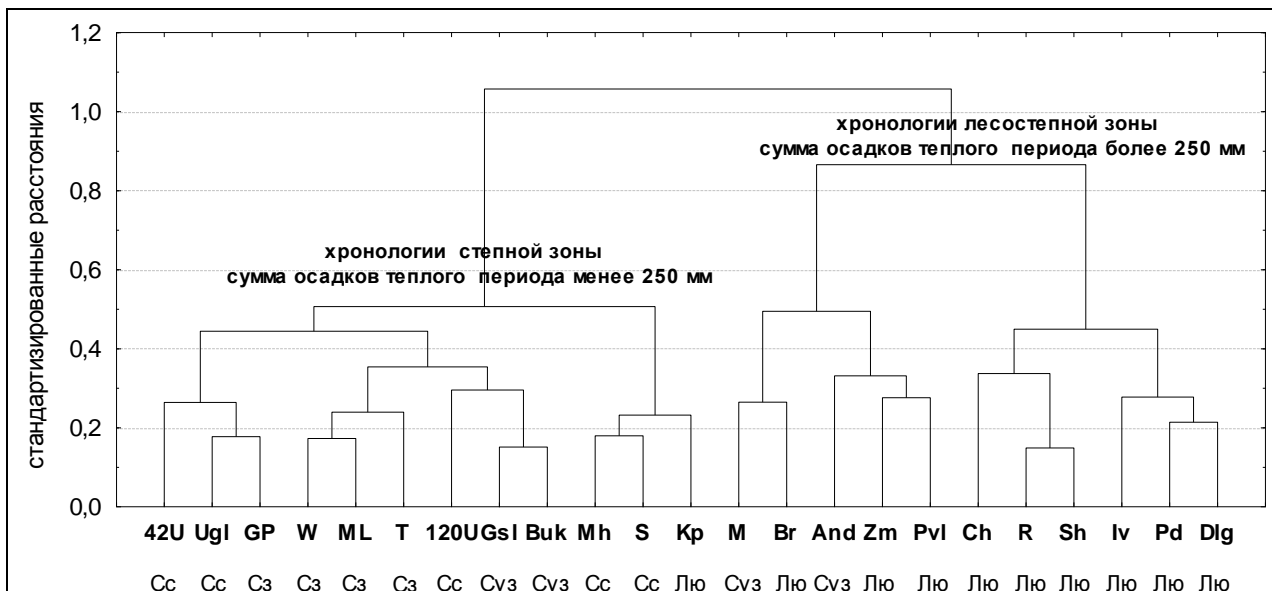


Рисунок 1 – Дерево кластеризации обобщенных хронологий сосны ленточных боров Алтая за период 1950-1997 гг.

(Сс – сухая степь; Сз – засушливая степь; Суз – умеренно засушливая степь; Лю – южная лесостепь)

На первом уровне кластеризации выделяются два крупных кластера на основе главного лимитирующего фактора – режима осадков (рисунок 2). Правая группа хронологий (лесостепная) принадлежит территории с количеством осадков теплого периода более 250 мм, левая группа хронологий – с осадками теплого периода менее 250 мм (степная).

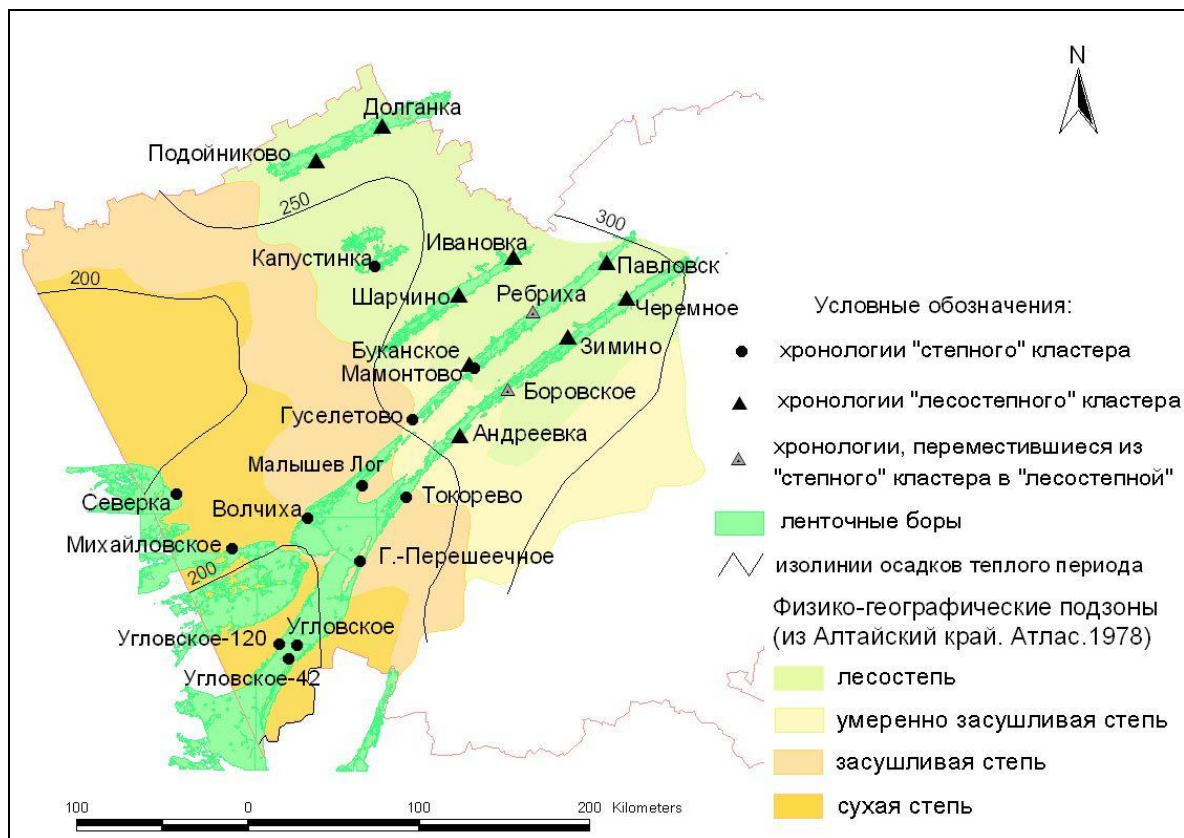


Рисунок 2 – Карта групп хронологий ленточных боров (с учетом их динамики в XX в.) (картографическая основа [Алтайский край. Атлас, 1978])

В разделении хронологий на локальные кластеры играют роль уже два климатических фактора – осадки и температура воздуха. Зачастую границы между отдельными группами совпадают с изотермами июля.

Кластерный анализ хронологий за более ранний период (1903-1950 гг.), показал, что выделяемые группы нестабильны во времени. Хронологии Ребриха и Боровское, в первой половине XX в. принадлежавшие степному кластеру, во второй половине XX в. переместились в лесостепной. Перегруппировка древесно-кольцевых рядов в кластерном дереве, наиболее характерна для хронологий южной лесостепи и умеренно засушливой степи. Это указывает на изменение климатических условий, определяющие соотношения лесостепной и степной физико-географических зон. Таким образом, по результатам кластерного анализа разновременных отрезков хронологий ленточных боров можно судить о динамике естественных физико-географических границ.

Дендроклиматический анализ проводился на основе вычисления коэффициентов корреляции индексов прироста с рядами метеорологических показателей за определенный период (месяц, сезон, год). Во внимание принимались только коэффициенты высокой статистической значимости (при $p < 0,005$).

Температурный режим в условиях недостаточного увлажнения, как правило, ограничивает прирост (рисунок 3). Повышение температуры в мае увеличивает дефицит влажности в почве и сдерживает прирост сосны в южных частях ленточных боров (в сухой степи и, частично, в засушливой степи). Лимитирующее влияние температуры на прирост сосны в лесостепной зоне проявляется в июне.

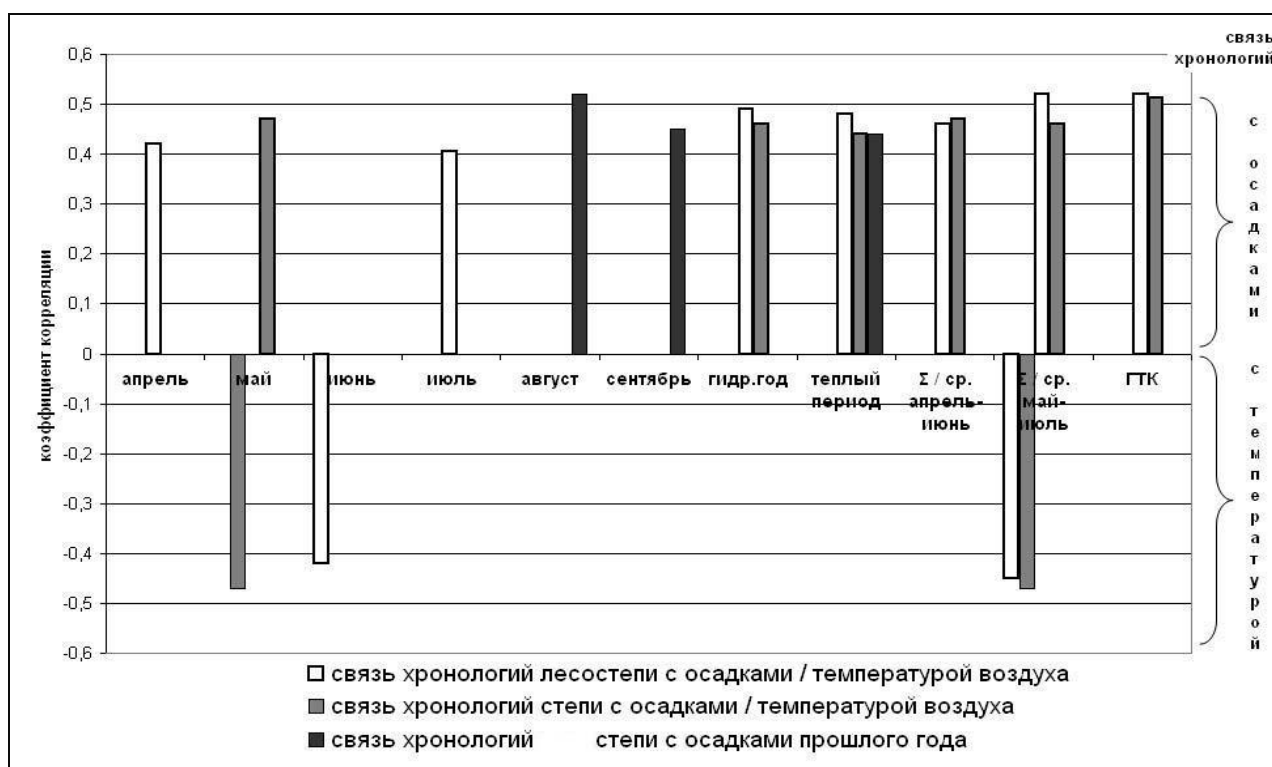


Рисунок 3 – Связь древесно-кольцевых хронологий ленточных боров с термическим режимом и режимом увлажнения лесостепной и степной части Алтайского края (значимость при $p < 0,005$)

Тесные связи древесно-кольцевых хронологий установлены со значениями температуры, осредненными за несколько месяцев первой половины вегетационного периода. Наиболее значимой для прироста является средняя температура за период май-июль (максимальная связь $-0,56$ с хронологией Буканское).

Увлажнение в условиях степи стимулирует прирост дерева в ширину, это подтверждают установленные прямые зависимости древесно-кольцевых серий от рядов осадков. Наиболее значимо для роста сосны увлажнение с апреля по июль, при этом не выявлено единой реакции на осадки того или иного месяца. Более согласовано прирост сосны реагирует на изменение количества осадков нескольких месяцев. Тесные связи отмечены с суммой осадков апреля-мая и апреля-июня, преимущественно, у степных хронологий. Практически, для всех хронологий значима сумма осадков за период май-июль (начало вегетационного периода), когда дерево максимально растет в ширину.

Осадки августа определяют прирост деревьев в следующем году. Абсолютно у всех хронологий степной зоны (и у хронологии Боровское, лесостепной зоны) отмечена тесная связь с осадками августа прошлого года (коэффициент корреляции от $0,41$ до $0,63$). Наблюдаемое временное смещение реакции прироста на изменение отдельных климатических факторов закономерно и отмечалось ранее [Матвеев, 2004]. Это говорит о том, что увлажнение в конце вегетационного периода прошлого года создает запас влаги в почве, повышает уровень грунтовых вод, что благоприятно отражается на приросте дерева на следующий год.

Дополнительно были рассмотрены ряды поздней и ранней древесины по трем модельным участкам (в подзонах лесостепи, засушливой степи и сухой степи). Отмечена зональная зависимость связей сезонного радиального роста сосны и климатического режима. Так, для хронологии ранней древесины лесостепной зоны не обнаружено реакций на изменения температуры отдельных месяцев. Для хронологии засушливой степи была обнаружена умеренная связь с температурой июня, а для хронологии сухостепной подзоны с температурой мая и июня. Температура июля значима при формировании зоны поздней древесины сосны, произрастающей в сухой степи. Для формирования зоны ранней древесины годичного кольца значима сумма осадков за май-июль в лесостепной зоне, за апрель-июнь в степной зоне. Образование поздней древесины в лесостепной и засушливой степной подзонах зависит от осадков июля, в сухостепной – от осадков августа. Большое значения имеет увлажнение на протяжении трех месяцев (май – июнь), также за теплый период (максимальная связь с хронологией поздней древесины Ребриха ($r = 0,70$) и годовой суммой осадков). Таким образом, для восстановления режима увлажнения перспективно использовать ряды поздней древесины.

Установленная значимость осадков и температуры для роста сосны ленточных боров позволяет говорить о комплексном влиянии гидротермического режима. Для его характеристики были использованы такие показатели увлажнения, как гидротермический коэффициент увлажнения (ГТК) Селянинова Г.Т. [Батталов, 1980] и радиационный индекс сухости Будыко

[Будыко, 1955]. Для хронологий лесостепной зоны более высокие связи выявлены с коэффициентом увлажнения Селянинова (максимальные – до 0,60 с хронологией Долганка), для прироста сосны степной зоны – с коэффициентом сухости Будыко (максимальная корреляция -0,49 с хронологиями Северка, Михайловское).

Также проведен анализ прироста в отдельные годы, когда были образованы узкие кольца у сосны. Сопоставление лет экстремально малого прироста сосны и засух позволило выявить определенные зависимости. Засухи в начале вегетационного периода (установленные по уменьшению ГТК в период с мая по июль менее 0,5 для степи и 0,6 для лесостепи [Алексеева, 1970]) в большинстве случаев определяют минимальный прирост сосны ленточных боров (рисунок 4). Отмечено, что сосна, произрастающая в зоне степи, чувствительней реагирует на наступление засух. Другим несколько менее значимым фактором формирования узких колец является предыдущая холодная зима. Так, минимальный прирост в 1945, 1967, 1969, 1985 гг. при относительно благоприятных условиях вегетационного периода был обусловлен низкими температурами декабря 1966; 1984 и декабрь-февраль 1944/45 и 1968/69 (среднемесячные температуры были ниже нормы на 10-15°C).

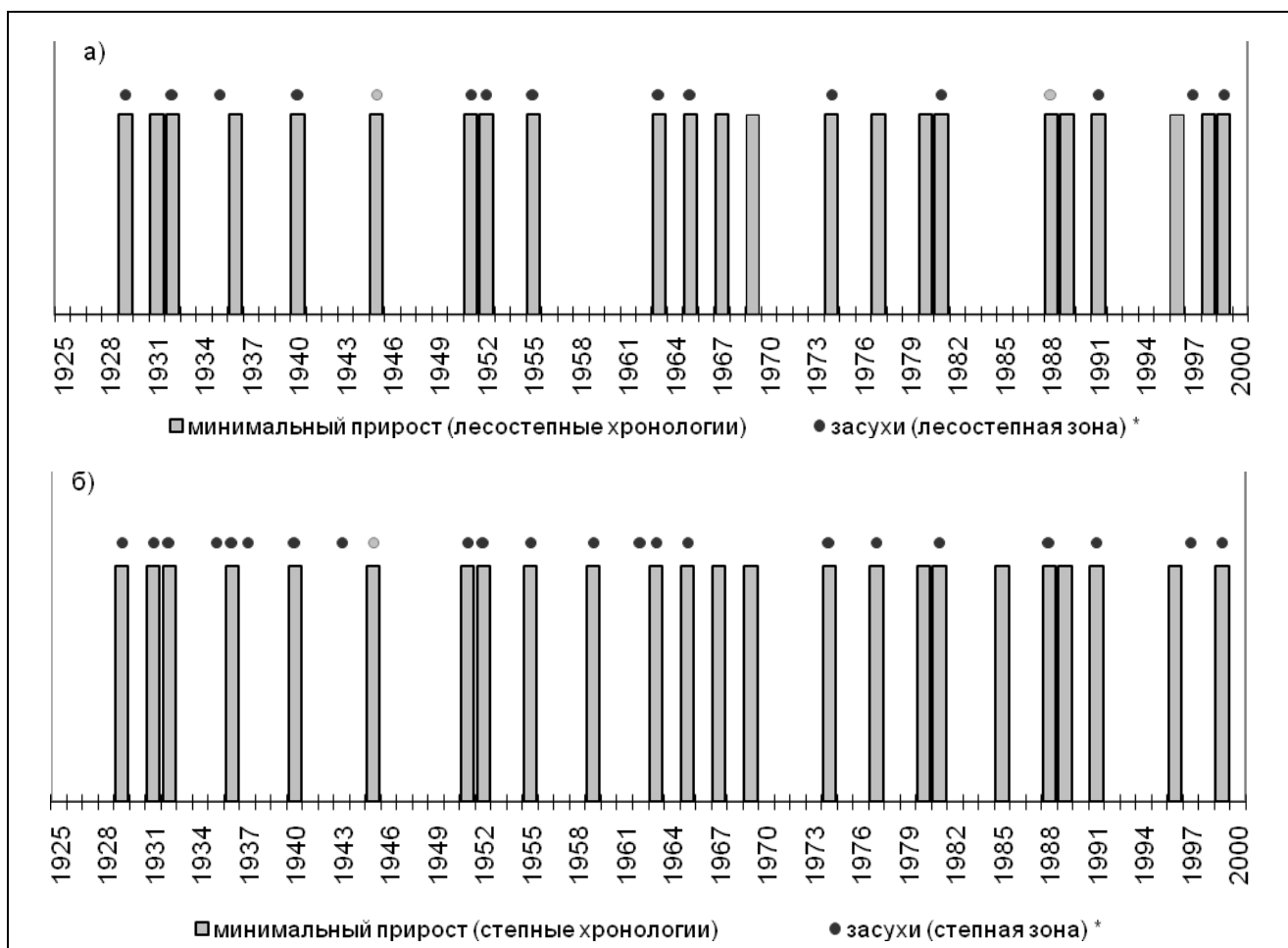


Рисунок 4 – Связь минимального прироста сосны с засухами в начале вегетационного периода (май-июль) в лесостепной (а) и степной (б) зонах

* светлый пунсон – засуха зафиксирована в июне

Крупные засухи приводят к формированию узких годовичных колец практически у всех деревьев. Этот факт, с одной стороны, является основой перекрестного датирования (год образования узкого кольца является реперным), с другой стороны, дает возможность восстановить динамику засух для территории исследования. Минимальный прирост сосны, выделяемый практически у всех хронологий ленточных боров, приходился на 1862, 1878, 1881, 1896, 1900, 1904, 1907, 1929, 1936, 1951-52, 1955, 1963, 1967, 1969, 1974, 1977, 1980-81, 1996, 2003 годы.

Более детальное изучение значений прироста отдельных лет, характеризующихся различной степенью засушливости, позволил говорить об индикации силы засухи по величине индексов древесно-кольцевых хронологий. Был проанализирован прирост сосны в годы различных градаций засушливости [Ревякин, Харламова, 2003]: в умеренно засушливые годы: 1916-17, 1920, 1965 гг. (уменьшение осадков относительно нормы < 25%), значительно засушливые: 1910, 1932, 1945, 1951 1955, 1973-74, 1997 гг. (уменьшение осадков более чем на 25%). Средние значения индексов прироста групп лет по подзонам показал, что реакция на слабую засуху во всех физико-географических подзонах одинаковая (таблица 1). Однако существенные зональные различия отмечаются при значительной засушливости. Так, если индекс прироста сосны ленточных боров опускается ниже величины 0,97, есть основание говорить о засушливых условиях данного года (умеренная засушливость). Понижение индексов прироста сосны ниже 0,90 в лесостепи и 0,84 в зоне сухой степи может говорить о значительной засухе.

Таблица 1 – Средние значения индексов прироста хронологий различных природных подзон в годы засух разных градаций

градации засух	хронологии подзоны		
	лесостепи	засушливой степи	сухой степи
умеренная засушливость	0,97	0,97	0,97
значительная засушливость	0,90	0,87	0,84

На сегодняшний момент можно говорить лишь о возможности использования деревьев, произрастающих в условиях лесостепи и степи, для восстановления динамики и интенсивности засух. Реконструкции требуют более детальной проработки этой проблеме: необходима база данных по повторяемости и интенсивности засушливых лет для подзон лесостепи и степи за последнее столетие.

На основе установления высоких дендроклиматических связей (коэффициент корреляции от $\pm 0,55$ до $\pm 0,70$, при $p < 0,005$) была предпринята попытка восстановить режим увлажнения на территории лесостепной (южной) и степной зон Алтайского края.

Был восстановлен ряд ГТК Сеянинова для территории засушливой степи (рисунок 5) на основе древесно-кольцевой хронологии Буканское (коэффициент

чувствительности данной хронологии составляет 0,25, коэффициент корреляции с рядом ГТК, построенным по инструментальным данным на метеост. Хабары, равен 0,63 при $p < 0,005$). Восстановление ряда ГТК основано на построении регрессионной модели за период 1950-2000 г., вида $X_i = 0,161 + 1,4908 * I_i$, где X_i – реконструируемая величина в год i , I_i – индекс прироста в год i . Коэффициент детерминации составляет 0,39. Небольшой верификационный период (в 10 лет) обусловлен короткими рядами наблюдений на метеостанции Хабары. Корреляция между реконструированным рядом ГТК и рядом, построенным по инструментальным данным метеост. Хабары за весь период наблюдения (1940-2000 г.), составляет 0,51.

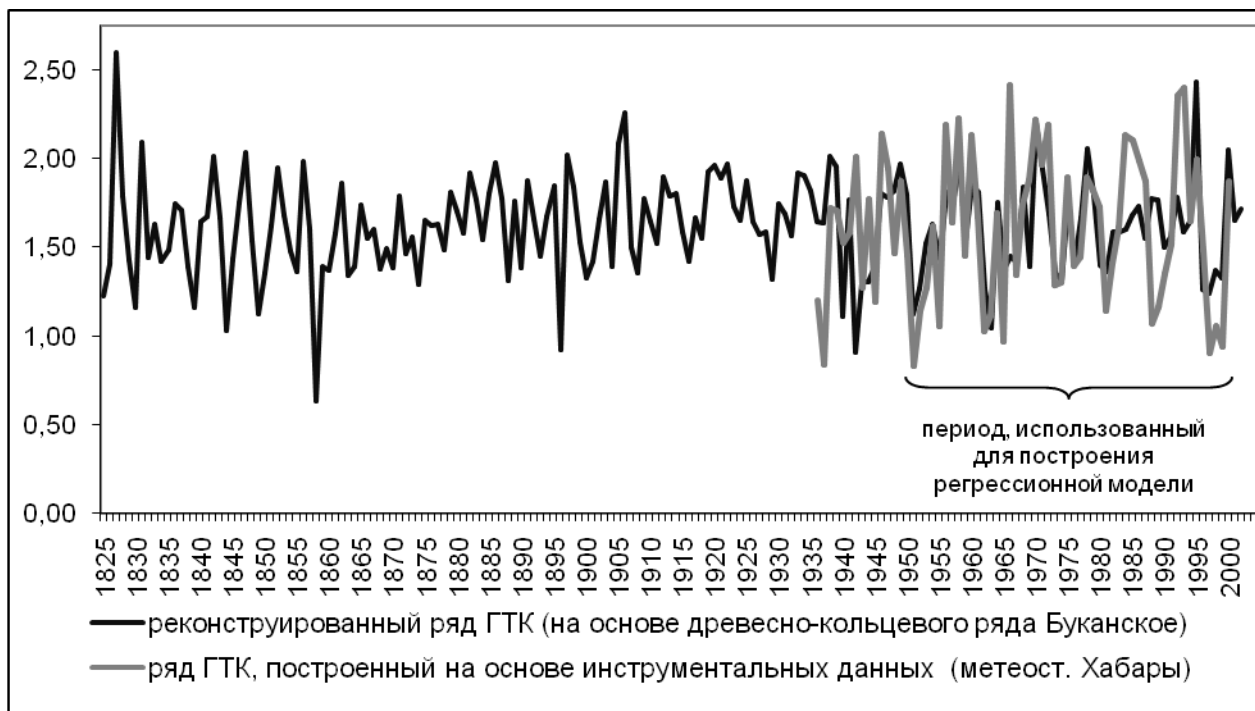


Рисунок 5 – Реконструкция ГТК Селянинова для территории засушливой степи Алтайского края

Так как для реконструкции была использована остаточная хронология (с удаленным автокорреляционным шумом), то речь может идти только о реконструкции высокочастотной составляющей (погодичной динамики) климата. Выделение длительных колебаний (низкочастотной составляющей) на основе данного реконструированного ряда проблематично. Можно только с большой долей приближения выделить периоды пониженного (до 80-х гг. XIX в., 90-е гг. XIX в., 50-60-е гг. и 80-е - сер.90-х гг. XX в.) и повышенного (в 80-х гг. XIX в., ~1900-1925 гг., 70-е гг. XX в.) увлажнения. Пониженное увлажнение территории в XIX в. приходится на завершающую стадию Малого ледникового периода. В первой половине XIX в. отмечено повышение амплитуда колебания коэффициента Селянинова. Это возникает по причине снижения репликации обобщенной хронологии (наполняемости индивидуальными сериями).

Для восстановления режима осадков была использована хронология поздней древесины (рисунок б), которая на данный момент показала

максимальную корреляцию ($r = 0,7$; $R^2 = 0,49$; уравнение регрессии $y = 76,5559 + 220,174 \cdot x$). Верификация полученной модели была выполнена на основе сравнения ее с рядом осадков теплого периода метеостанции Барнаул. Корреляция реконструированного ряда (на основе хронологии поздней древесины Ребриха) и ряда инструментальных наблюдений по Барнаулу за весь период (119 лет) составила 0,34 при $p < 0,005$.

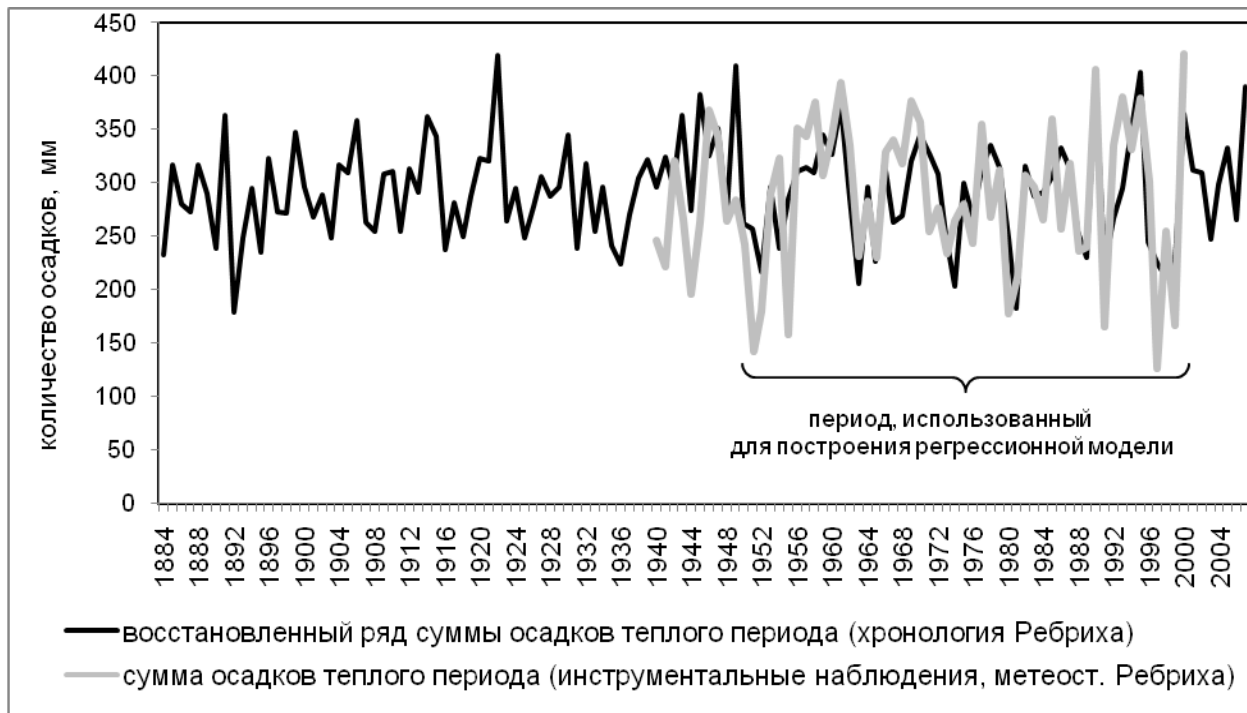


Рисунок 6 – Реконструкция количества осадков теплого периода для подзоны южной лесостепи

На данном этапе работы произведены только ретроспективные реконструкции погодичной динамики климатических показателей. Выявлены проблемные моменты реконструкций природных условий на основе древесно-кольцевых серий: проблема верификации полученных моделей динамики климата (ряды инструментальных наблюдений по территории Алтайского края непродолжительны, а использование рядов по метеостанции Барнаул ограничено лесостепной зоной из-за высокой изменчивости величины количества осадков по территории края); увеличение амплитуды колебаний индексов прироста из-за низкой репликации обобщенной серии в последние десятилетия. Вышеуказанное характерно и достаточно типично для многих дендроиндикационных реконструкций.

2) Древесно-кольцевые хронологии ленточных боров содержат информацию об изменении гидрологического режима лесостепи и степи Алтайского края и могут быть использованы для его реконструкции

Наряду с годичными кольцами показателями общей увлажненности территории являются реки и озера. Исследование косвенных связей между этими природными процессами позволит не только выявить закономерности

динамики компонентов геосистемы, но и производить реконструкции колебания гидрологического режима территории [Андреев, Ваганов, Наурзбаев, Тулохонов, 2001, Пакальнис, 1972], тесно связанного с климатическим. В работе для выявления связей были использованы значения уровней озер Алтайского края: Кулундинского (бессточное) и Горького-Перешеечного (расположенное в Барнаульском ленточном бору) и расход воды рек Бурла, Кучук, Кулунда, Касмала.

Увеличение осадков в засушливых условиях способствует радиальному приросту дерева, а также повышению уровня озера. При поиске связей в функционировании разномасштабных систем стоит учитывать асинхронность реакции на внешние факторы. Для того чтобы изучить естественную синхронность реакций гидрологических и биологических объектов на изменение климата нами были использованы не выбеленные стандартизированные древесно-кольцевые серии.

Колебание уровня озер происходит более инертно с запаздыванием на 1-2 года по отношению к изменчивости ширины годичных колец деревьев. Максимально высокие связи рядов прироста и уровней озер отмечаются на следующий год относительно года формирования годичного кольца и сохраняются на второй год. Большая акватория Кулундинского озера (740 км² [Абрамович, 1960]) и тот факт, что оно расположено в открытой степи в удалении от ленточных боров, определяют слабые связи его уровня с хронологиями сосны, в отличие от оз. Горького-Перешеечного, расположенного в южной части Барнаульского бора. Так, если с уровнем озера Кулундинского высокие связи ($r=0,5-0,67$) отмечены у одной трети хронологий, то для рядов уровня оз. Горького-Перешеечного высокие связи (коэффициент корреляции до 0,8) отмечены с двумя третьими хронологий ленточных боров.

Расход воды рек Кулундинской степи и прилегающей лесостепной зоны более динамичный гидрологический показатель. Была проанализирована связь объемов стока рек Бурла, Кулунда, Касмала (протекающих в одноименных ленточных борах) и реки Кучук (долина которой расположена в степи, в удалении от боровых массивов). Значимые связи прироста сосны ленточных боров и объемов стока рек данной территории наблюдаются, преимущественно, в один и тот же год. Наиболее тесные связи хронологий отмечены с расходом воды рек с июня по сентябрь. Чаще всего ряды прироста сосны находят связь с объемами стока в июле, когда, как правило, выпадает максимальное количество осадков.

Высокие коэффициенты корреляции хронологий и некоторых показателей гидрологического режима позволили восстановить среднегодовой уровень воды Кулундинского озера и объемов расхода воды р. Касмала. Реконструкция уровня оз. Кулундинского (рисунок 7) проведена на основе хронологии Угловского района Угловское42 (97) ($r = 0,67$; $R^2 = 0,45$; $y = 96,826+0,849*x$). Анализируя колебание уровня воды бессточного озера как интегрированного показателя увлажнения, можно обозначить периоды повышения и понижения увлажнения для данной территории. Повышение

уровня отмечено с ~70-х гг. XIX в. до конца века; в 20-х годах.; с середины 40-х годов до начала 50-х гг. Пониженный уровень озера отмечен, преимущественно, в первой половине XX в. (~1900-1920 гг. и с конца 20-х гг по начало 40-х; 50-60е гг.). С 70-х гг. XX в. фиксируется некоторое выравнивание многолетнего тренда изменения уровня оз. Кулундинского.

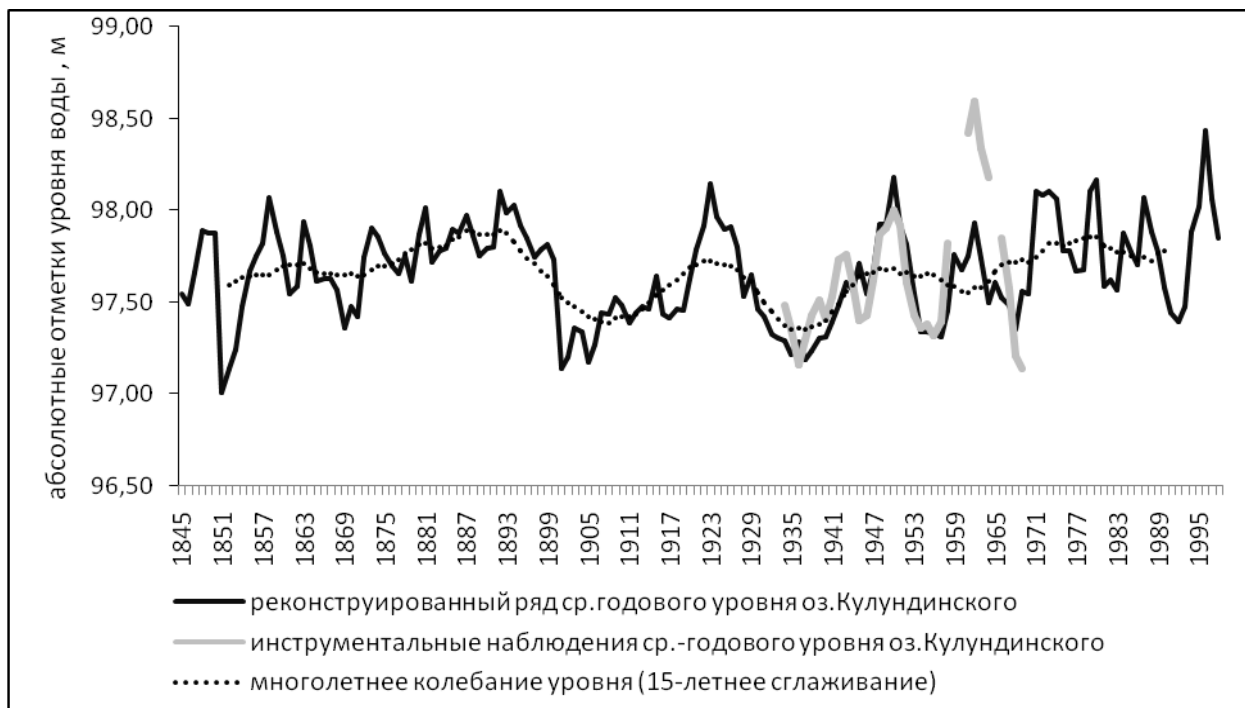


Рисунок 7 – Реконструкция уровенного режима оз. Кулундинского (на основе хронология Угловская 42 (97))

На основе восстановленного ряда расхода воды р. Касмала (по гидрологическому посту Рогозиха на основе древесно-кольцевой хронологии Буканское; $r = 0,61$; $R^2 = 0,37$) были обозначены периоды колебания стока реки. Минимальный сток отмечался в XIX в. до 70-х гг. В многолетнем колебании расхода реки Касмала выделяются также периоды его уменьшения (с 90-х гг XIX в. по начало 20-х гг., в 40-х и 50-х гг.) и увеличения (80-е гг. XIX в. и в 20-х – 30-х гг. XX в.). С 70-х годов XX в. по настоящее время отмечена стабилизация стока реки Касмала, при котором имеют место кратковременные как положительные, так и отрицательные колебания расходов воды.

Полученные реконструкции позволили выделить периоды колебания увлажнения, показателями которого являются уменьшение/увеличение уровня озер и расхода рек лесостепи и степи Алтайского края. Минимальное увлажнение территории было характерно для первой половины XIX в. (вплоть до 70-х гг. XIX в.), также фазы пониженного увлажнения приходились на первые десятилетия XX в. (с начала века до начала 20-х гг.), 50-60-е гг.; фазы повышенного увлажнения – 20-е гг XX в. Визуальный анализ колебания водности озер и рек за последние десятилетия показал преобладание выровненного тренда изменения увлажнения, при положительных и отрицательных среднегодовых колебаниях.

3) Картографирование дендроклиматических связей позволяет оценить дендроиндикационный потенциал и пространственную репрезентативность древесно-кольцевых хронологий;

Одним из способов выражения результатов, полученных в ходе дендроклиматического исследования, является построение корреляционных карт. Картографический анализ достаточно эффективен при выявлении пространственных закономерностей. Данный метод позволяет не только визуализировать полученные результаты (обзорно оценить территориальное изменение явления), а также проанализировать взаимосвязь явлений.

В нашем случае, картографической основой выступили коэффициенты корреляции лимитирующих прирост метеорологических показателей с древесно-кольцевыми хронологиями. Таким образом, используя значения коэффициента корреляции как основную картографическую информацию, мы получаем корреляционную карту, по сути представляющей дендроиндикационную карту изучаемой территории.

Построение модели пространственного изменения индикационного потенциала хронологий было произведено в программе ArcView GIS 3.2 3D Analyst Version 1.0 [Марусин, Ситников, 2006] методом пространственной аппроксимации сплайн. Применение этого метода оптимально в случаях, когда опорные точки распределены по площади неравномерно. В пределах определенной территории строится поверхность наилучшего приближения на основе уравнений полиномов (сплайнов), которые представляют собой нелинейные зависимости [ДеМерс, 1999].

Были исследованы корреляционные связи одной хронологии со всеми метеостанциями, а также хронологий ленточных боров с одной из метеостанций. В первом случае анализировались индикационные свойства отдельных хронологий, их территориальный охват (на какую территорию возможно распространение результатов дендроиндикации). Во втором случае, прирост в различных частях ленточных боров рассматривался во взаимосвязи с данными отдельно взятой метеостанции.

Наибольший интерес представляет зависимость от климатических факторов наиболее чувствительных древесно-кольцевых серий. Данные хронологии могут отражать не только микроклиматические изменения (в районе произрастания деревьев), но и нести мезоклиматический сигнал. Так, на карте (рисунок 8), в основу которой положены коэффициенты корреляции хронологии Буканское и рядов гидротермического коэффициента Селянинова для метеостанций лесостепи и Кулундинской степи, представлено изменение тесноты связи по территории посредством изокоррелят (линий, соединяющих точки с одинаковой корреляцией [Червяков, 1998]). Вдоль Касмалинского и Барнаульского ленточных боров связь меняется достаточно слабо. Максимум связи приходится на засушливую и сухостепную зоны, характеризующиеся экстремальными климатическими условиями (Хабары-Кулунда-Ключи). Теснота связи уменьшается на восток (к Оби). Локальная зона падения связи приходится на лесостепную зону между Бурлинской и Кулундинской лентами.

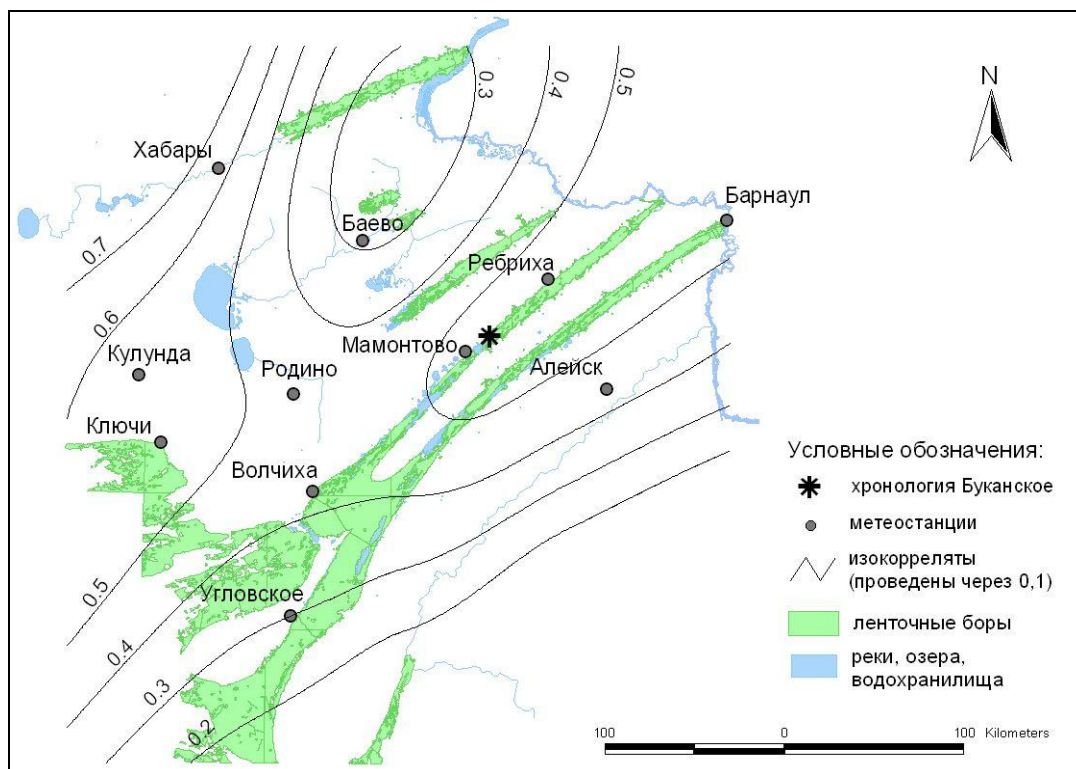


Рисунок 8 – Карта тесноты связи радиального прироста сосны ленточных боров с ГТК Селянинова в лесостепной и степной зонах Алтайского края

На основе построенной корреляционной карты связи хронологии Михайловское и температуры мая южной лесостепной и степной зон Алтайского края (рисунок 9) составлена схема изменения дендроклиматического потенциала хронологии в пространстве (рисунок 10).

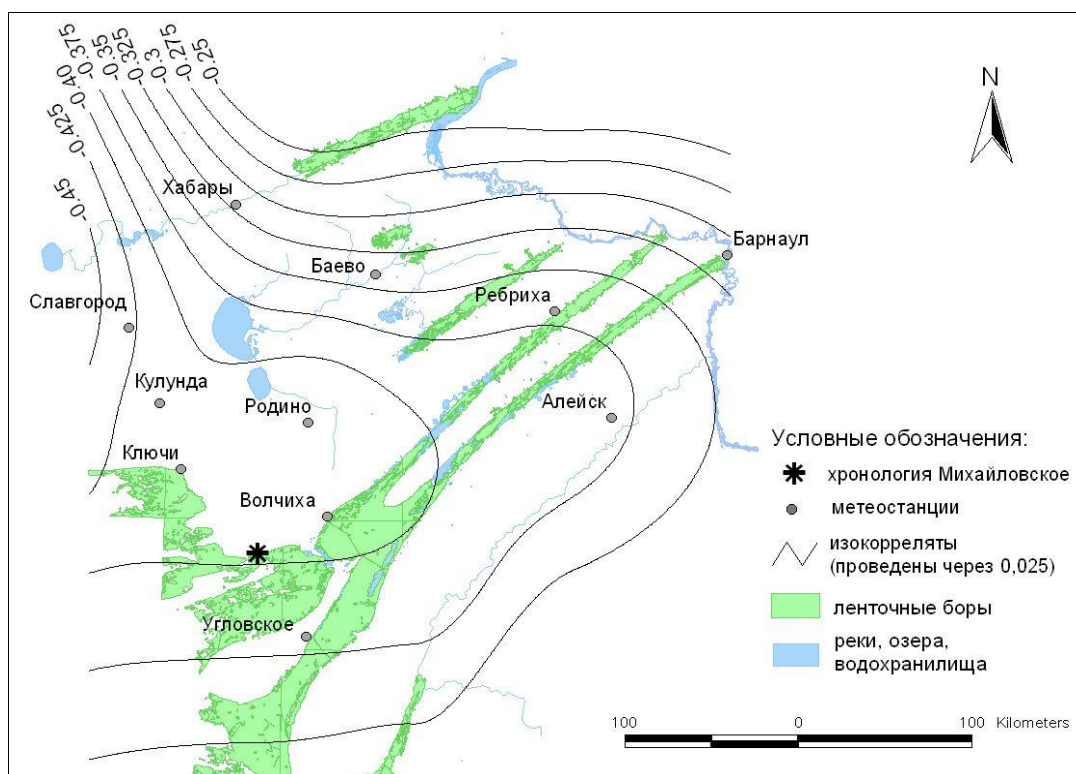


Рисунок 9 – Карта связи прироста сосны в южной части ленточных боров со среднемесячной температурой мая по территории Кулундинской степи

Теснота связи уменьшается, перпендикулярно смене природных зон и достигает минимума в лесостепной зоне, в этом же направлении происходит рост осадков и уменьшение континентальности климата [Бугаев, Косарев, 1988]. Изменение связи вдоль природной зоны зачастую происходит незначительно. Также на распределение сигнала может влиять залесенность местности. По территории ленточных боров падение тесноты связи происходит медленнее, чем по территории, лишенной лесной растительности (см. также рисунок 8).

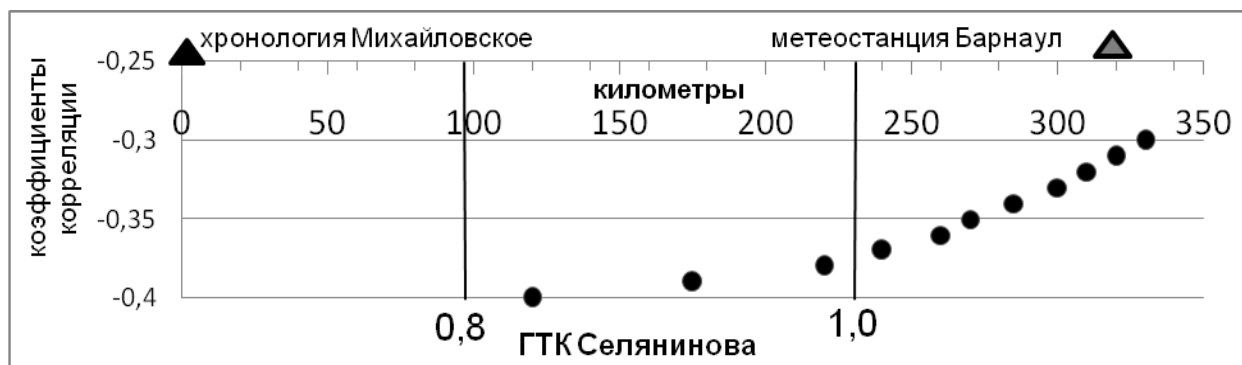


Рисунок 10 – Схема уменьшения тесноты связи хронологии Михайловское со среднемесячной температурой мая с юго-запада на северо-восток

Графический анализ (рисунок 10) показал изменение скорости падения связи прироста и климатических условий при удалении. Изменение скорости падения связи приходится на границы агроклиматических районов, характеризующихся разными значениями ГТК [Алтайский край. Атлас, 1978]. Из этого следует, что различные климатические зоны характеризуются разным пространственным градиентом падения дендроклиматической связи.

Составление карт на основе корреляции рядов прироста и климатических данных позволяет ответить на вопрос о возможности территориального распространения результатов индикации в пространстве. Таким образом, с помощью дендроиндикационных карт можно провести оценку пространственной репрезентативности древесно-кольцевых хронологий.

Основные выводы:

1) Пространственная дифференциация чувствительности прироста сосны свидетельствует об увеличении климатического влияния на функционирование интразональных ленточных боров от зоны лесостепи к сухой степи, которое в наибольшей степени проявляется в степных борах Касмалинской ленты и локальных боровых массивах, расположенных на границе лесостепной и степной зон.

2) Отмечены нарушения в зональном распространении (от подзоны южной лесостепи к сухой степи) климатического сигнала годовых колец сосны ленточных боров локальными условиями местообитания. Значимую роль играет холмисто-грядовый рельеф долин древнего стока (где сформировались ленточные боры), который определяет доступность грунтовых вод и перераспределение атмосферных осадков;

3) Древесно-кольцевые хронологии ленточных боров по основному лимитирующему фактору можно условно разделить на две группы: лесостепную и степную. Первая объединяет хронологии, которые построены для территории с суммой осадков теплого периода более 250 мм, вторая группа включает хронологии юго-западной части ленточных боров, где за теплый период года выпадает осадков менее, чем 250 мм. Более детальное деление на группы определяется средней температурой летних месяцев;

4) Прирост сосны ленточных боров в лесостепной и степной зонах лимитирован осадками первой половины вегетационного периода (суммой осадков мая-июля), для роста сосны в степной части ленточных боров значимы осадки августа (частично и сентября) прошлого года. Выявлены значимые обратные связи прироста сосны с термическим режимом мая в степной зоне и июня – в лесостепной;

5) Формирование узких колец сосны ленточных боров обусловлено засухами первой половины вегетационного периода. На основе анализа величины прироста в годы засух различной интенсивности, были установлены пороговые значения древесно-кольцевых индексов, которые делают возможным индексировать силу засух;

6) Реакция уровня озер Кулундинского и Горького-Перешеечного на климатические колебания запаздывает относительно прироста сосны ленточных боров. Максимальная связь древесно-кольцевых хронологий с колебаниями уровня озер отмечается через два года. Изменение во времени прироста сосны и расхода рек Бурла, Касмала, Кулунда происходят синхронно;

7) Построение дендроиндикационных (корреляционных) карт позволяет смоделировать пространственную дифференциацию индикаторного потенциала хронологий и оценить территориальную репрезентативность выделенного климатического сигнала древесно-кольцевой хронологии. На основе анализа построенных карт были установлены градиенты изменения тесноты связи прироста сосны одного модельного участка ленточных боров с температурным режимом южной лесостепи и степи Алтайского края;

8) Реконструкции климатического и гидрологического режимов лесостепной и степной зон Алтайского края позволили установить периоды повышенного и пониженного увлажнения данной территории в XIX – XX вв. Общее понижение увлажнения территории отмечалось в первой половине XIX в. (до 70-х годов XIX в.), с начала века XX в. до 20-х годов, 50-60-е года. Четко выделяется одна фаза повышенного увлажнения в 20-х годах XX в.

Список работ, опубликованных по теме диссертации:

Статьи

Малышева, Н.В. Дендроклиматический анализ прироста сосны обыкновенной ленточных боров Алтайского края / Н.В. Малышева // Известия Бийского отделения Русского географического общества.– Бийск : РИО БПГУ им. В.М. Шукшина, 2005. – Вып. 25. – С. 12-15.

Малышева, Н.В. Влияние климатического режима на радиальный рост сосны обыкновенной на южной границе леса (в пределах Алтайского края) /

Н.В. Малышева, Н.И. Быков // География и природопользование Сибири: сборник научных статей / под ред. Г.Я. Барышников. – Барнаул : Изд-во Алт. Ун-та, 2006. – Вып.8. – С.117-124.

Малышева, Н.В. Дендроиндикация изменений природных процессов юга Западной Сибири / Н.В. Малышева, Н.И. Быков // Вестник КрасГУ. – 2006. - № 5/1. – С. 154-158.

Малышева, Н.В. Территориальная дифференциация радиального роста сосны обыкновенной на юге Западно-Сибирской равнины / Н.В. Малышева // География и природопользование Сибири: сборник научных статей / под ред. Г.Я. Барышников. – Барнаул : Изд-во Алт. Ун-та, 2007. – Вып.9. – С. 146-153.

Малышева, Н.В. Территориальная дифференциация дендроиндикационных связей на южной границе леса / Н.В. Малышева, Н.И. Быков // Проблемы региональной экологии. – М., 2008.–№6.–С. 136-139.

Материалы конференций и тезисы докладов:

Малышева, Н.В. Дендроклиматические исследования южной границы леса (на примере ленточных сосновых боров Алтайского края) / Н.В. Малышева // Материалы XXXI научной конференции студентов, магистрантов, аспирантов и учащихся лицейских классов / под ред. Н.Н. Михайлова. – Барнаул : Изд-во Алт. Ун-та, 2004. – С. 162-163.

Быков, Н.И. Радиальный прирост сосны обыкновенной в ленточных борах Алтайского края / Н.И. Быков, **Н.В. Малышева** // Вопросы горного страноведения: Материалы региональной конференции.– Барнаул : Изд-во Алт. Ун-та, 2005. – С. 18-23.

Малышева, Н.В. Дендроклиматические исследования ленточных боров Алтайского края / Н.В. Малышева // Теоретические и прикладные вопросы современной географии: Материалы всероссийской школы-семинара.– Томск : Дельтаплан, 2005 – С. 234-236.

Харламова, Н.Ф. Дендроклиматические исследования ленточных боров Алтая / Н.Ф. Харламова, Н.И. Быков, **Н.В. Малышева** // Рельеф и природопользование предгорных и низкогорных территорий. Материалы международной научно-практической конференции. – Барнаул : Изд-во Алт. Ун-та, 2005. – С. 325-328.

Малышева, Н.В. Системно-экологический подход в дендроклиматических исследованиях / Н.В. Малышева // Интеллектуальный потенциал ученых России: труды Сибирского института знания / отв. ред. Е.В. Ушакова, Ю.И. Коллюжев. – Барнаул : Изд-во Алт. Ун-та, 2006. – Вып. VI. – С. 329-331.

Малышева, Н.В. Использование картографического метода в дендроклиматических исследованиях / Н.В. Малышева // Дендрэкология и лесоведение. Материалы Всероссийской конференции. – Красноярск : Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2007. – С. 81-84.

Подписано в печать 01.02.2010.
Печать – цифровая. Усл.п.л. 1,39.
Тираж 100 экз. Заказ 2010 – 12

Отпечатано в типографии АлтГТУ,
656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46
Тел.: (8–3852) 36–84–61

Лицензия на полиграфическую деятельность
ПЛД №28–35 от 15.07.97 г.