

На правах рукописи

МАГДА Валерий Николаевич

**РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ КАК
ПОКАЗАТЕЛЬ УВЛАЖНЕНИЯ НА ЮГЕ СИБИРИ**

Специальность 03.00.16 – Экология



Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Красноярск - 2003

Научный руководитель: доктор биологических наук,
академик РАН Е.А. Ваганов

Официальные оппоненты: доктор биологических наук,
профессор, Г.А. Демиденко

кандидат географических наук,
доцент, М.Ф. Адаменко

Ведущая организация: Институт экологии растений и животных
УрО РАН (г. Екатеринбург)

Защита состоится "03" апреля 2003 г. в 14⁰⁰ часов на заседании диссертационного
совета Д 003.056.01 в Институте леса им. В.Н. Сукачева СО РАН по адресу:
660036, Красноярск, Академгородок.
e-mail: Institute@forest.akadem.ru; факс: +7 (3912) 433686

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института леса
им. В.Н. Сукачева СО РАН

Автореферат разослан "27" февраля 2003 г.

153134к



Ученый секретарь
диссертационного совета

Швакин А.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Исследования режима атмосферных осадков в различных регионах мира выявляют его изменения в связи с изменениями температуры воздуха (потепление климата XX века) (Дроздов, 1966; Будыко, Винников, 1983; Ефимова, 1987; Трофимова, 1988; Bradley et al., 1987a; Gleick, 1987 и др.). П. Глик (Gleick, 1987) указывает, что глобальное повышение температуры, независимо от его причин, может привести к уменьшению снеготаласа, почвенной влаги, речного стока, увеличению засушливости и другим последствиям. Последствия значительных изменений увлажненности, согласно принципу лимитирующих факторов и концепции экологической амплитуды, будут наиболее выражены в зонах контактов тех экосистем, которые существуют в условиях недостаточного увлажнения. Таковыми являются зоны контактов лесных экосистем со степными как на равнинах, так и в горных территориях Южной Сибири. Изменение режима увлажнения может обусловить изменения структуры и состава экологических сообществ, направление сукцессий и даже смещения ботанико-географических зон и поясов. Поскольку лесостепная зона является благоприятной для человека и обжитой им, значительные изменения климатических условий в ту или иную сторону могут привести к серьезным экологическим и хозяйственным последствиям. Это диктует необходимость проведения работ, направленных на изучение погодичной и длительной изменчивости увлажнения.

Цель работы: анализ пространственно-временной изменчивости радиального прироста древесных растений на юге Сибири в связи с колебаниями атмосферного увлажнения.

Задачи:

1. Создание региональной сети дендроклиматических станций на равнинных (Алтай, Минусинская котловина) и в горных районах (Горный Алтай, Республика Тыва) юга Сибири для исследования изменения режима увлажнения.
2. Построение древесно-кольцевых хронологий максимальной длительности.
3. Сравнительный статистический анализ древесно-кольцевых хронологий, оценка степени реакции на внешние условия древесных растений различных районов и высотных поясов.
4. Оценка влияния климатических факторов на радиальный прирост деревьев.
5. Анализ пространственно – временных связей между хронологиями горных районов, содержащими сигнал на температуру и на увлажнение для оценки стабильности климатического сигнала.
6. Дендроклиматические реконструкции характеристик увлажнения и сравнительный анализ изменчивости увлажнения в южных районах Сибири.

Научная новизна. Установлено, что климатический сигнал ливневых осадков сибирской, пронизывающей в засушливых условиях межгорных котловин Горного Алтая и Тывы, нестабилен во времени. В периоды похолоданий усиливается лимитирующее действие температуры воздуха на радиальный прирост. Исключение регионального температурного сигнала из древесно-кольцевых хронологий межгорных котловин позволяет выделить в них сигнал на увлажнение. Сопоставление реконструкций речного стока, рассчитанных по древесно-кольцевым хронологиям горных котловин Алтая и Тывы позволило установить, что изменчивость речного стока в этих районах за последние 227 лет носила, в основном, синхронный характер. Выявлены фазы синхронных изменений стока рек в Алтае-Саянском регионе с

регрессивными и трансгрессивными фазами увлажненности Западной Азии конца XIX начала XX веков, установленными А. В. Шнитниковым, а также с колебаниями уровня озера Байкал за последние 280 лет.

Практическое значение. Длительные и надежные реконструкции гидрологических характеристик для 7 рек Алтае-Саянского региона (среднегодовой сток) и Телецкого озера (колебания уровня) и выявленные в них циклические составляющие позволяют оценить диапазон и направленность (тенденции) изменчивости этих характеристик за последние 200 – 400 лет. Полученные результаты могут быть полезны для тех отраслей хозяйства, где требуется учитывать частоту экстремальных климатических событий, амплитуду и длительность колебаний увлажненности – сельского хозяйства, проектирования и обслуживания гидротехнических сооружений, автомобильных дорог, мостов и др.

Защищаемые положения:

1. Кластерный анализ древесно-кольцевых хронологий и метод скользящих корреляций позволяют определить особенности климатического отклика радиального прироста деревьев без непосредственного использования климатических данных.
2. Климатический отклик деревьев, произрастающих в сухих высокогорных котловинах Горного Алтая и Тывы, имеет нестабильный характер и отражает неоднократную смену лимитирующих факторов радиального роста (температуры воздуха и увлажненности) в течение последних столетий. Смена лимитирующих факторов обусловлена многолетней динамикой температуры воздуха теплого периода года.
3. Исключение регионального температурного сигнала из древесно-кольцевых хронологий высокогорных котловин позволяет значительно усилить их сигнал на увлажнение и получить адекватные модели реконструкции характеристик увлажнения.

Апробация работы. Материалы исследований были представлены на российских и международных конференциях: «Реакция растений на глобальные и региональные изменения природной среды», Иркутск 2000; «Экология Сибири, Дальнего Востока и Арктики», Томск, 2001; «Tree rings and people», Давос 2001 (Швейцария); «География на службе науки, практики и образования», Красноярск 2001; «Geographical studies of the Central Asia and Mongolia», Улан-Батор 2002 (Монголия), «Биоразнообразие и сохранение генофонда флоры, фауны и народонаселения Центрально-Азиатского региона», Кызыл, 2002; «Boreal forests and environment: Local, regional and global scales», Красноярск, 2002.

Публикации. Основное содержание работы изложено в 9 публикациях, в том числе в 2 статьях в рецензируемых журналах и одной в сборнике.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, основных результатов и выводов, списка литературы. Основной текст изложен на 173 страницах, работа включает 26 таблиц и 29 рисунков. Список литературы состоит из 169 наименований, в том числе 96 на иностранных языках.

Исследования были поддержаны грантами РФФИ 99-05-64182 «Научная школа» и 02-05-65119 «Длительные изменения характеристик увлажнения в южных районах Сибири по древесно-кольцевым хронологиям».

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Анализ изменчивости климатических условий по древесно-кольцевым хронологиям (Состояние вопроса).

В главе приводится обзор литературы. Рассматривается реакция биоценозов и некоторых других компонентов ландшафтов (например, ледников) горных районов на изменения климата (основные цитируемые источники: Шнятов, 1967, 1981, 1983; Абанмов и др. 1997; Монсеев, 2002; Kullman 1979, 1981; The Science of Climate Change, 1995; Stone, 1996 и др.). Анализ этого вопроса весьма важен для интерпретации результатов пространственно-временного анализа всего используемого в работе дендрохронологического материала. Представлен также обзор работ, посвященных непосредственно исследованиям изменчивости увлажненности дендроклиматическими методами в России и зарубежом (основные цитируемые источники: Рудаков, 1961, 1964; Валендик и др. 1993; Андреев и др., 1999; 2001a, б; Hughes et al., 1994; Villalba et al., 1998; Watson, Luckman, 2001 и др.). Рассмотрены теоретические основы и принципы дендрохронологии и дендроклиматологии как методов исследований (основные цитируемые источники: Лобжанидзе, 1961; Шнятов, 1973, 1986; Fritts, 1976; Schweingruber, 1986, 1996; Fritts, Swetnam, 1989; Methods of Dendrochronology, 1990; Баранов и др., 1996; и др.).

Глава 2. Физико-географическая характеристика района исследований (Алтай, Минусинская котловина, Тыва)

В главе дано краткое описание физико-географического положения, рельефа, климатических условий и почвенно-растительного покрова Алтае-Саянской горной страны. Описание выполнено на основании следующих основных источников: Справочник..., 1965, 1969; Поликарпов и др., 1986; Севастьянов, 1998 и др.

Глава 3. Материалы и методы

Сбор дендрохронологического материала был произведен в четырех крупных районах на юге Сибири, климат которых в той или иной степени характеризуется недостатком увлажнения. В Минусинской котловине и Алтайском крае (лесостепные районы) отбор образцов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) предполагал получение древесно-кольцевых хронологий с сигналом на увлажнение. В горных районах сбор образцов проводился с деревьев лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ldb.) на нижней границе леса в пределах замкнутых сухих горных котловин или на склонах ограничивающих их хребтов Алтая и Тывы, где предполагалось, что радиальный прирост также лимитируется условиями увлажнения. Кроме того, образцы отбирались и на верхней границе леса с деревьев лиственницы (*Larix sibirica* Ldb.) и сосны сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour), для получения древесно-кольцевых хронологий с преимущественно температурным сигналом (Овчинников и др., 2002).

Такая стратегия отбора образцов была выбрана с целью проследить длительные изменения прироста в лесостепной зоне, на нижней границе леса в остепненных котловинах и на верхнем пределе распространения древесной растительности, их характер и амплитуду в различные периоды. Нижний предел древесной

растительности в условиях горных котловин Алтая и Тывы находится на высоте большей, чем 1000 метров. В периоды похолоданий и потеплений абсолютная высота среднемесячных изотерм периода вегетации изменяется, что вызывает соответствующую реакцию горных экосистем, выражающуюся в деградации или экспансии древесной растительности, вблизи пределов ее распространения, колебаниях верхней границы леса и т.д. Это дает основание предположить, что в горных котловинах в отдельные периоды возможно усиление лимитирующего влияния температуры воздуха на радиальный прирост. Наличие в определенные периоды спихронности прироста на нижнем и верхнем пределе леса может подтвердить существование такого факта в прошлом. В этом случае попытка реконструкции динамики увлажнения по древесно-кольцевым хронологиям из горных котловин с использованием традиционных подходов может привести к нарушению принципа униформизма и получению неверной информации о реконструируемом параметре.

Таким образом, участки лесостепной зоны в верхней границы леса представляли собой своего рода «контроль» для оценки климатического сигнала древесно-кольцевых хронологий высокогорных котловин. Отбор образцов древесины производился в виде кернов посредством шведского возрастного бурава на высоте 0,3-1,3 м по одному радиусу с дерева. В лабораторных условиях была произведена подготовка образцов к измерениям по общепринятой методике (Fritts, 1976; Шиятов, 1986; Ваганов и др., 1996), измерена ширина годичных колец с точностью 0,01 мм с помощью измерительной установки LINTAB и специального программного пакета TSAP (Rinn, 1996) и проведена перекрестная датировка образцов, качество которой оценивалось с помощью программы COFESHA, входящей в пакет программ DPL (Holmes, 1998). Индивидуальные древесно-кольцевые хронологии стандартизировались с помощью негативной экспоненты или линейной функции, обобщенные хронологии были построены путем расчета взвешенных средних. Процедура стандартизации выполнялась с помощью программы ARSTAN (Holmes, 1998).

Для анализа пространственно-временных особенностей радиального прироста в трех типах экологических условий (лесостепь, горно-котловинные лесостепные экотоны и верхняя граница леса) был использован расчет скользящих коэффициентов корреляции и кластерный анализ. Связь прироста деревьев с климатическими факторами выявлялась при помощи расчета функций отклика (Fritts, 1976) в программе RESPO (Holmes, 1998).

Глава 4. Анализ древесно-кольцевых хронологий

Всего для исследуемого региона получено 40 обобщенных древесно-кольцевых хронологий. Был выполнен кластерный анализ хронологий, для интервала обеспеченного наибольшим их количеством (96 лет). Схема кластеризации приведена на рис. 1. На схеме хорошо видно четкое разделение хронологий на два крупнейших класса (первый уровень подразделения), которое можно связать с ведущими лимитирующими факторами роста. К первому классу, или группе (левая часть схемы) относятся хронологии верхней границы леса Алтая и Тывы. Главным лимитирующим фактором роста на верхней границе леса является температура воздуха (Шиятов, 1986; Schweingruber, 1996; Jacoby et al., 1999; 2001 и др.), что было установлено и для Горного Алтая (Адаменко, 1986; Овчинников, Ваганов, 1999; Магда, Ваганов, 2001).

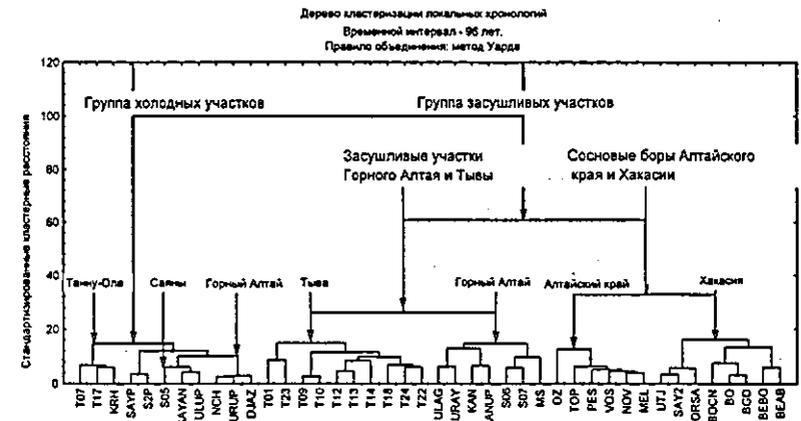


Рисунок 1. Схема кластеризации обобщенных хронологий за общий интервал (96 лет).

Участки, входящие в эту группу, в дальнейшем для удобства будут называться «холодными».

Во вторую группу (правая часть схемы) входят хронологии из сосновых боров Алтайского края и Хакасии. Основным лимитирующим фактором в лесостепной зоне - количество почвенной влаги в сезон роста, определяемое динамикой атмосферных осадков и температуры воздуха (Пугачев, 1986; Оленин, Мазепа, 1987; Андреев и др., 1999, 2001а, б). Это подтверждается как для Хакасии (Роговский, Черкашина, 1987; Ваганов, 1989; Магда, Зеленова, 2002), так и для равнинного Алтая. В данную группу входят также участки Алтая и Тывы, расположенные в межгорных котловинах. На более низких уровнях группирование хронологий происходит по региональному принципу. Участки данной группы будут в свою очередь называться «засушливыми».

Общий вид схемы кластеризации подтверждает верность стратегии выбора дендроклиматических участков в экологически полярных условиях (где прирост в основном лимитируется либо температурой воздуха («холодные» участки) либо количеством влаги («засушливые» участки). Крупнейшие группы, выделенные в схеме кластеризации, соответствуют трем типам экологических условий, в которых были заложены дендроклиматические участки. Кластерный анализ хорошо отражает и географическую структуру расположения участков, что свидетельствует о наличии четко выраженных региональных особенностей прироста. Дистанции между классами характеризуют качественные (по лимитирующему фактору) и региональные отличия между группами участков.

Для оценки стабильности кластеризации участков на протяжении более длительного времени был использован кластерный анализ на отдельных временных интервалах. В качестве окна была принята четвертая часть периода, обеспеченного наибольшим количеством хронологий - 25 лет. Шаг был выбран таким образом, чтобы окна перекрывались на интервалах 12 лет. Хронологии равнинного Алтая и Хакасии по причине их небольшой длительности были исключены, для того чтобы объем выборки (число хронологий) оставался относительно постоянным. Был проведен анализ за периоды 1970-1994, 1958-1982, 1945-1969, 1933-1957, 1920-1944,

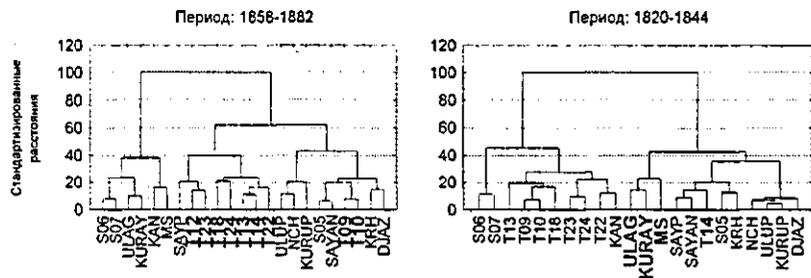


Рисунок 2. Примеры трансформации исходной схемы кластеризации в различные периоды. Жирным шрифтом выделены «мигрирующие» участки.

1908-1932, 1895-1919, 1883-1907, 1894-1870, 1858-1882, 1869-1845, 1833-1857, 1844-1820, 1808-1832, 1819-1795 и 1783-1807. Результаты анализа (рис. 2) выявили значительные перемены в структуре групп, проявляющееся в виде «миграции» хронологий между группами высшего уровня (разделяющихся по лимитирующему фактору), а также значительное изменение дистанций между группами всех уровней. Большая часть хронологий группы участков высокогорных котловин в тот или иной период «мигрирует» (перемещается) в группу холодных участков, или образует новую обособленную подгруппу.

Трансформации в общей структуре кластеризации и составе групп начинаются в XIX веке в период 1870-1894 гг. Наиболее же драматические изменения структуры групп наблюдаются в период с 1808 по 1882, когда происходит неоднократная и значительная перестройка большей части схемы кластеризации. Трансформации схем кластеризации в XIX веке вызвали предположение о связи прироста деревьев в высокогорных котловинах и на верхней границе леса, которая, вероятно, обусловлена изменением климата рассматриваемой территории. Для того чтобы проверить это предположение были выбраны 8 пар участков, при этом один из участков в каждой паре относился к группе холодных, а второй к группе засушливых участков. Пары подбирались по принципу географической близости участков.

Далее для каждой пары хронологий были рассчитаны скользящие коэффициенты корреляции с окном от 7 до 51 года и шагом 1 год. В результате расчетов получался непрерывный ряд значений. Было обнаружено, что скользящие коэффициенты корреляции для всех пар участков изменяются от значимых отрицательных до значимых положительных (рис.3). При этом формам их кривых характерно заметное визуальное сходство как при малых (7 лет) так и при больших (51 год) окнах. Синхронность скользящих коэффициентов корреляции между древесно-кольцевыми хронологиями удаленных друг от друга пар участков указывает на существование общей закономерности в их изменчивости.

Сопоставление скользящих коэффициентов корреляции со схемами кластеризации, полученными при пошаговом кластерном анализе, показало, что периодам высоких коэффициентов корреляции соответствуют периоды, когда происходит перестройка дерева кластеризации, увеличиваются дистанции внутри двух главных групп, схемы теряют четкость. Наиболее ярко выраженные изменения в структуре схем кластеризации происходят в период с 1833 по 1882 гг. В это же время наблюдается наибольшее количество «миграций» участков между группами высших уровней, хотя они имеют место и ранее. Минимумам скользящих коэффициентов корреляции наоборот соответствует стабильная структура кластеризации,

минимальные внутригрупповые дистанции и отсутствие «миграций» участков между группами высших уровней.

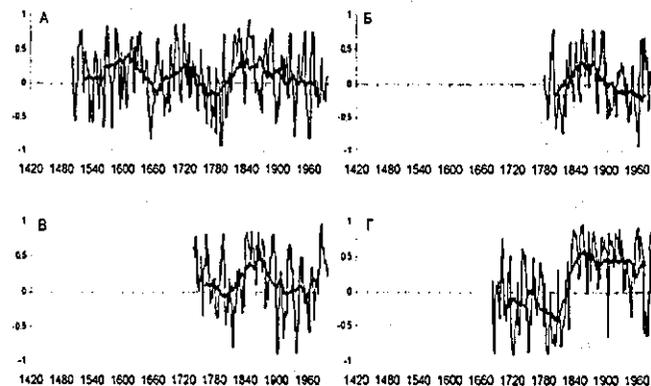


Рисунок 3. Скользящие коэффициенты корреляции с окном 7 и 51 год для пар холодных и засушливых участков Горного Алтая (А), Западного Саяна (Б, В) и Танну-Ола (Г). По оси абсцисс – годы, по оси ординат - значения коэффициентов корреляции.

Таким образом, на основании кластерного анализа и анализа скользящих коэффициентов корреляции между парами холодных и засушливых участков можно утверждать, что изменения в структуре кластеризации за перекрывающиеся 25-летние периоды и динамика кривых коэффициентов корреляции обусловлены действием одного и того же природного фактора, влияние которого проявилось на всей территории Горного Алтая и Западной Тывы. Наиболее вероятно, что таким фактором было изменение климата территории. Действительно, в середине XIX века в Горном Алтае был зафиксирован максимум похолодания, сопровождавшийся наступлением ледников и отступлением верхней границы леса (Адаменко, 1978, 1987).

На основании проведенного анализа сделан вывод о том, что связь между приростом деревьев в группе засушливых участков (горные котловины) Горного Алтая и Тывы с климатическими условиями является неустойчивой и изменяется с течением времени. Древесно-кольцевые хронологии межгорных котловин содержат не «чистый» сигнал на увлажнение, как это предполагалось, а смешанный, включающий влияние температуры, которое усиливается в периоды похолоданий. Это затрудняет использование хронологий горных котловин для климатических реконструкций, по крайней мере, с применением традиционных методов.

Глава 5. Выделение и анализ климатического сигнала

Предположение о том, что изменчивость скользящих коэффициентов корреляции между парами древесно-кольцевых хронологий засушливых и холодных участков определяется динамикой температуры воздуха в теплый период года обосновано анализом изменчивости скользящих коэффициентов корреляции с помощью множественных регрессионных моделей, в которые в качестве независимых переменных включены длительные (1838-1996) ряды наблюдений за температурой воздуха весенне-летнего периода, сглаженные 15-летним скользящим средним.

Полученные модели объясняют от 18 до 61% изменчивости скользящих коэффициентов корреляции и доказывают ведущую роль температуры теплого сезона года во временной изменчивости связи радиального прироста деревьев в межгорных котловинах и на верхней границе леса. Этот вывод подтверждается и при интерпретации результатов пошагового кластерного анализа на основе длительных инструментальных данных по температуре воздуха. Коэффициенты корреляции кластерных расстояний (усредненных для групп высшего уровня) на отдельных 25-летних периодах кластеризации с изменчивостью летних температур составляют 0,64 и выше и значимы при $p < 0,05$.

Группирование древесно-кольцевых хронологий межгорных котловин Горного Алтая и Тывы в общие кластеры с хронологиями равнинного Алтая и Хакасии свидетельствует о синхронности прироста между этими хронологиями, которая обусловлена действием общего лимитирующего фактора - увлажнения. В то же время проведенный выше анализ подтверждает наличие в хронологиях горных котловин и температурного сигнала. Древесно-кольцевые хронологии со смешанным сигналом не могут использоваться для климатических реконструкций, так как это приведет к нарушению принципа униформизма (Fritts, 1976). Следовательно, чтобы использовать хронологии межгорных котловин для реконструкции характеристик увлажнения необходимо сначала исключить из них температурный сигнал.

Для этого был использован следующий прием. Хронологии четырех удаленных друг от друга дендроклиматических участков, расположенных на верхней границе леса, были подвергнуты факторному анализу. Оказалось, что 72% дисперсии хронологий объясняется первой главной компонентой. Коэффициенты корреляции хронологий с главной компонентой (факторные нагрузки) составили, соответственно, 0,88, 0,90, 0,86 и 0,74. Поскольку прирост на верхней границе леса определяется, главным образом, температурой воздуха (Адаменко, 1986, 1987; Овчинников и др., 2002), выделенная главная компонента рассматривалась как региональный температурный сигнал.

Все древесно-кольцевые хронологии межгорных котловин были предварительно нормализованы по формуле $(X_i - X_{\text{mean}})/SD$, где X_i - индексы прироста в год i , X_{mean} - средняя ряда, SD - его стандартное отклонение. Затем главная компонента вычиталась из каждой хронологии, полученной для межгорных котловин. Таким образом, температурный сигнал из древесно-кольцевых хронологий высокогорных котловин был устранен.

Затем была произведена проверка надежности способа «фильтрации» сигнала. Для некоторых «фильтрованных» хронологий, были вновь рассчитаны скользящие корреляции с хронологиями верхней границы леса. На рис. 5. видно, что для «фильтрованных» хронологий пики корреляции, обусловленные похолоданием в середине XIX века, сильно сглаживаются. Корреляции хронологий горных котловин с хронологиями верхней границы леса становятся отрицательными. Это подтверждает то, что при вычитании из древесно-кольцевых хронологий межгорных котловин 1-й главной компоненты, выделенной из группы хронологий верхней границы леса, температурный сигнал первых устраняется, или значительно ослабляется.

Также проведен повторный пошаговый кластерный анализ с включением в него «фильтрованных» хронологий для тех 25-летних периодов, в которые ранее были отмечены трансформации схемы кластеризации (рис. 2). При включении в анализ «фильтрованных» хронологий не наблюдается ни значительного изменения кластерных дистанций, ни миграций участков между группами высшего уровня.

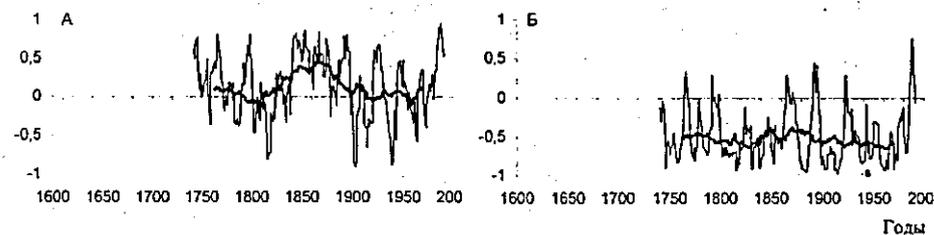


Рисунок 4. Пример расчетов 7 и 51-летних скользящих коэффициентов корреляции для одной и той же пары участков до (А) и после (Б) процедуры фильтрации климатического сигнала хронологии котловин.

Расчет функций отклика показал значительное усиление связи с увлажнением для «фильтрованных» хронологий по сравнению с исходными. Оценивая статистические параметры функций отклика можно отметить, что процент дисперсии, объясненной климатическими данными, для фильтрованных хронологий выше, а иногда значительно выше, чем для исходных. Климатический отклик «фильтрованных» хронологий горных котловин в целом соответствует отклику хронологий лесостепной зоны (рис. 5), что позволяет использовать «фильтрованные» хронологии для построения длительных реконструкций характеристик увлажнения.

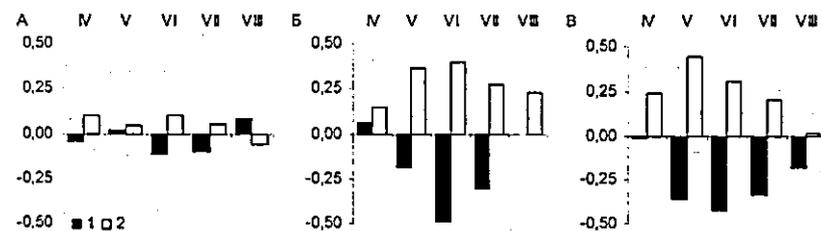


Рисунок 5. Коэффициенты корреляции прироста деревьев со среднемесячной температурой и суммой осадков апреля - августа по исходным (А) и «фильтрованным» (Б) хронологиям горных котловин, а также по хронологиям лесостепной зоны (В).

Таким образом, контрольный анализ фильтрованных древесно-кольцевых хронологий межгорных котловин позволяет считать, что температурный сигнал в них минимизирован. Это дает возможность использовать их в качестве фактического материала для исследования изменчивости увлажненности на территории Горного Алтая и Тывы.

Глава 6. Реконструкция характеристик увлажнения и анализ их длительных изменений

Зависимость ширины годичных колец деревьев лесостепной зоны и межгорных котловин от количества влаги позволяет связать годы наиболее низкого прироста с экстремально сухими условиями произрастания. Выделив годы минимумов прироста на каждом участке, можно установить частоту их повторяемости и их пространственную сопряженность, т.е. установить годы, которые характеризовались

минимумами прироста на обширной территории. Оценка пространственного распределения таких минимумов дает возможность выявить масштабы территории, одновременно охватываемой экстремальными климатическими явлениями. Для этой цели были использованы 6 древесно-кольцевых хронологии по равнинному Алтаю, 10 по Хакасии, 15 по Горному Алтаю и Туве, а также шесть наиболее длительных хронологий по Бурятии, полученных С.Г. Андреевым (2001а, б). Из каждой хронологии были выделены величины индексов прироста, лежащие в пределах первого квантиля (20% от максимальной величины). Выявлено совпадение лет экстремально низкого прироста с годами: экстремально низких годовых (с ноября прошлого по октябрь текущего года) сумм осадков по метеостанциям Барнаул, Минусинск, Кызыл и Кяхта. За период с 1800 по 2000 гг. выявлено 32 года, когда минимумы прироста наблюдались одновременно на большей части территории Южной Сибири (таблица 1).

Таблица 1. Годы, характеризующиеся синхронными минимумами прироста в двух и более районах.

	Алтай	Хакасия	Г. Алтай и Тыва	Бурятия		Алтай	Хакасия	Тыва	Бурятия
1803		+	+	+	1904	+		+	
1805	+		+		1910	+	+	+	
1809			+	+	1924	+		+	
1811	+	+	+		1930		+	+	
1815		+	+	+	1934		+	+	
1829	+	+			1945	+	+	+	
1838		+		+	1946		+	+	
1844	+			+	1951	+	+	+	
1858		+	+	+	1953	+			+
1863		+	+	+	1955	+			+
1867	+	+			1965		+		+
1879			+	+	1969	+			+
1881	+		+		1974	+	+		
1893			+	+	1980	+			+
1896	+	+	+		1981	+		+	
1900	+		+						

Примечание: серым маркером помечены годы, когда минимумы прироста проявлялись одновременно в трех районах.

Минимумы прироста, наблюдавшиеся практически на всей территории юга Сибири, повторялись приблизительно через 50-60 лет. В проявлении экстремальных по увлажненности лет прослеживается географическая непрерывность, которая заключается в том, что наиболее экстремальные события происходят только в пределах соседних районов и никогда в рассматриваемых временных рамках не охватывают сразу всю территорию юга Сибири.

В качестве характеристик увлажненности для реконструкций были избраны сток рек и колебания уровня озер. Речной сток и уровень озер сильно зависят от количества атмосферных осадков (Шнитников, 1969; Максимов, 1989) и, более того, являются интегральными показателями осадков для больших территорий, что позволяет считать сток и колебания уровня озер более надежными характеристиками увлажненности.

Модели реконструкции гидрологических характеристик (среднегодового расхода воды, годового объема стока и погодичных колебаний уровня) по древесно-кольцевым хронологиям были рассчитаны для стока рек Обь, Бия, Чулышман, Ануй,

модели объясняют от 37 до 63% изменчивости гидрологических показателей, длительность реконструированных рядов составила до 380 лет.

Таблица 2а. Коэффициенты корреляции между рядами стока и уровнем Телецкого озера, реконструированными по древесно-кольцевым хронологиям и данными наблюдений за речным стоком и уровнем озера. Горный Алтай.

Реконструированные данные	Данные наблюдений за стоком рек и уровнем Телецкого озера								
	Обь	Бия	Чулышман	Ануй	Чарыш	Чуя	Алей	Катунь	Тел. оз.
Обь	0,68	0,60	0,70	0,71	0,44	0,59	0,42	0,56	0,68
Телецкое	0,60	0,61	0,64	0,62	0,50	0,62	0,58	0,54	0,80
Чулышман	0,44	0,44	0,75	0,55	0,23	0,57	0,35	0,39	0,61
Бия	0,73	0,79	0,59	0,68	0,59	0,69	0,48	0,70	0,78
Ануй	0,65	0,64	0,68	0,69	0,54	0,64	0,54	0,62	0,76
Алей	0,24	0,25	0,09	0,40	0,37	0,12	0,67	0,20	0,46

Примечание: N=35, жирным шрифтом выделены коэффициенты корреляции, значимые при $p < 0,05$.

Таблица 2б. Коэффициенты корреляции между данными наблюдений за речным стоком и данными, реконструированными по древесно-кольцевым хронологиям. Тыва.

Реконструированные данные	Данные наблюдений за стоком		
	Элегест ¹	Шагонар ¹	Енисей ²
Элегест	0,77	0,69	0,47
Шагонар	0,57	0,69	0,43

Примечание: для 1 N=31, для 2 N=49; все коэффициенты корреляции значимы при $p < 0,05$.

Высокие значения коэффициентов корреляции реконструированных гидрологических характеристик с данными наблюдений, приводимые в таблицах 1а и 1б, свидетельствуют о хорошем качестве полученных реконструкций, за исключением реконструкции стока р. Алей, выполненной по древесно-кольцевой хронологии ленточных боров.

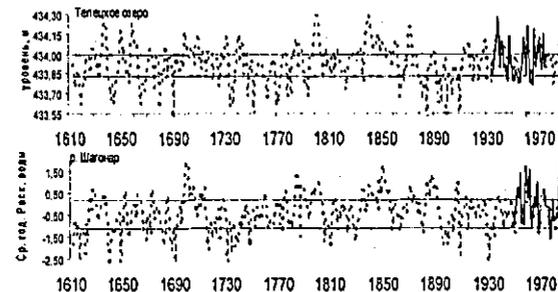


Рисунок 6. Реконструкции колебаний уровня Телецкого озера и годового расхода воды р. Шагонар. Сплошными линиями показан интервал стандартной ошибки относительно средней инструментальной ряда.

Реконструкции уровня Телецкого озера и стока р. Шагонар, приведенные на рис. 6, а также других рек свидетельствуют, что за период реконструкции в отдельные годы и периоды значения гидрологических характеристик значительно превышали или наоборот, были существенно ниже среднего значения за период наблюдений. Максимальная амплитуда изменчивости гидрологических параметров для рек Чулым, Элегест, Шагонар, Чулышман, Бия и для Телецкого озера превышает, иногда значительно, амплитуду за инструментальный период. Спектральный анализ полученных рядов показал, что они содержат циклические составляющие длительностью 11-12, 14, 22-23, 42-46, 64 и 128 лет.

Сравнивая полученные реконструкции речного стока со стоком рек Западной Азии по данным А. В. Шнитникова (1969) начиная с 1890 г можно отметить определенную сходства и различия. К сходствам можно отнести совпадение отдельных глубоких минимумов стока, какие имели место в 1900-1901, 1909-1911, 1930, 1945-1946 гг. Наиболее значительное отличие – отсутствие в стоке рек Алтае-Саянского региона длительной и глубокой депрессии 1930-х годов, которая имела место в Западной Азии. На Алтае, в Туве и в Хакасии в это время развивался цикл с минимумами в 1930 и 1946 гг. и максимумом в 1938 г.

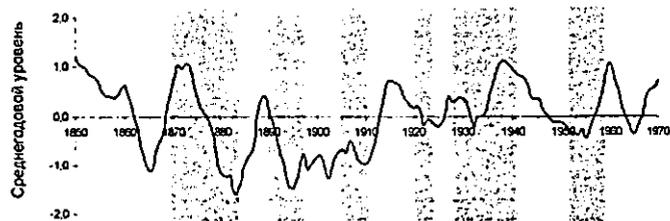


Рисунок 7. Регрессивные (затененные) и трансгрессивные фазы увлаженности Западной Азии, выделенные А.В. Шнитниковым и сглаженная кривая колебаний уровня Телецкого озера.

Сопоставление динамики речного стока Алтае-Саянского региона с регрессивными и трансгрессивными фазами водного режима озер Западной Азии установленными Шнитниковым (1969) показывает, что в период с 1870 по 1930-е годы регрессивные фазы увлажнения в Западной Азии в основном соответствовали нисходящим отрезкам кривой колебания уровня Телецкого озера (как в прочем и речного стока) (рис. 7). Можно отметить более или менее выраженную согласованность изменчивости речного стока в Алтае-Саянском регионе с первыми четырьмя регрессивными и трансгрессивными фазами внутривековой изменчивости водного режима озер Западной Азии, выделенными Шнитниковым. Границы фаз в точности не совпадают и прослеживаются их сдвиги, но, как считает Шнитников (1969) полной синхронности изменчивости увлаженности на столь больших территориях не приходится ожидать. Значительное рассогласование изменчивости речного стока Алтая и Тывы с регрессивными и трансгрессивными фазами Западной Азии начинается с 1930-х гг., что приводит к его почти противоположному ходу относительно этих фаз в более поздние периоды.

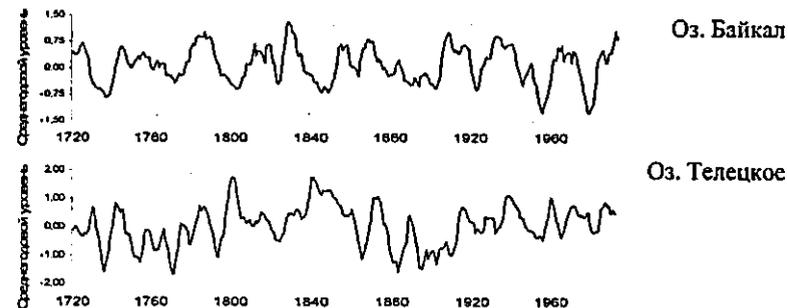


Рисунок 8. Реконструированные по древесно-кольцевым хронологиям колебания уровней озер Телецкое и Байкал.

Сравнение полученных нами реконструкций с реконструкцией уровня оз. Байкал, построенной по древесно-кольцевым хронологиям лесостепной зоны Забайкалья С. Г. Андреевым (1999, 2001а, б) свидетельствует, что середина XVIII века (1720-1771) характеризуется длительными синхронными изменениями (рис. 8). Уровень Телецкого озера отражает общие закономерности речного стока в Алтае-Саянском регионе. В начале XVIII в. происходит постепенное падение уровня озера и речного стока с минимумом в конце 1730 гг., а затем его увеличение к 1745 г. и снова падение с минимумом в 1771 г. Хотя в деталях эти интервалы кривых различаются, общая тенденция их хода четко видна. Следующий период синхронных изменений – 1780-1795 гг. На Байкале этот период отмечается высоким стоянием уровня, а на реках Алтая и Тывы полным циклом с минимумами в 1780 и 1795 гг. и максимумом в 1786-1788 гг. Далее синхронная фаза изменений уровня Байкала и речного стока на Алтае и в Туве наблюдается в период 1810-1825 гг. Имеется длительная (1830-1885гг.) фаза синхронных колебаний стока р. Чулым и уровня Байкала. Синхронность стока алтайских и тувинских рек с уровнем озера наблюдается лишь в конце этой фазы – в период 1871- 1885 гг. Синхронными колебаниями стока рек Алтая и уровня воды на Байкале отмечается период 1917-1927 гг., когда на крайние годы приходится максимумы стока и уровня, а на 1924 г. – их минимум. Прослеживаются также синхронные колебания в период 1939-1951 гг. При этом в уровне Байкала и стоке Чулыма на 1946 г. приходится минимум, а на 1951 максимум уровня и стока. На реках Алтая и Тывы минимум более продолжителен, а максимум 1951 г. не выражен, либо выражен весьма слабо. Последняя синхронная фаза была в 1970-1980-х гг., ее максимумы приходятся на 1973 и 1987, а минимум на период 1978-1982 гг. Отметим, что фазы 1871 – 1885, 1939-1951, 1973-1987 гг., были так или иначе отражены в колебаниях всех водоемов, что можно отметить и для фазы 1780-1795 гг., которую нельзя наблюдать лишь на Чулыме по причине недостаточной длительности реконструированного ряда. Примечательно, что выделенные выше фазы динамики стока на юге Сибири в большинстве своем совпадают с фазами стока рек Монголии, выявленными по дендроклиматическим реконструкциям (Pederson et al., 2001).

Причиной совпадений отдельных экстремальных лет прироста деревьев и речного стока, а также синхронных и несинхронных фаз водного режима рек и озер на столь обширной территории, измеряемой в масштабах тысяч километров, является, вероятно, характер атмосферной циркуляции.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Для четырех районов Алтае-Саянской горной страны (Миусинская котловина, равнинный Алтай, Горный Алтай и западная часть Тывы) создана региональная сеть дендроклиматических станций, состоящая из 40 участков.
2. Древесно-кольцевые хронологии всех районов содержат хорошо выраженный региональный климатический сигнал.
3. Радиальный прирост сосны Миусинской котловины и ленточных боров Алтая лимитируется режимом увлажнения первой половины текущего сезона вегетации и конца прошлого сезона вегетации.
4. Радиальный прирост лиственницы высокогорных районов горного Алтая и Тывы лимитируется температурным режимом первой половины текущего сезона вегетации.
5. Климатическая реакция радиального прироста деревьев в межгорных котловинах Горного Алтая и Тывы неустойчива во времени. В периоды похолоданий в котловинах усиливается лимитирующая роль температуры.
6. Исключение регионального температурного сигнала из древесно-кольцевых хронологий высокогорных котловин позволяет значительно усилить сигнал на увлажнение.
7. Получены надежные модели реконструкции основных гидрологических характеристик для восьми рек Алтае-Саянского региона и Телецкого озера с использованием в качестве независимых переменных комбинации хронологий степной зоны, высокогорных котловин и верхней границы леса. Регрессионные модели объясняют до 63% дисперсии в изменчивости гидрологических показателей.
8. Построена шкала лет экстремально низкого прироста деревьев, обусловленного сильными засухами, для равнинного и Горного Алтая, Тывы, Миусинской котловины и Бурятии для периода 1800 – 1999 гг. Выявлено 32 года, когда минимумы прироста регистрировались на большей части территории Южной Сибири от равнинного Алтая до Забайкалья.
9. В колебаниях речного стока Алтае-Саянского региона выявлены циклы длительностью 11-12, 14, 22-23, 42-46, 64 и 128 лет.
10. Изменчивость речного стока в Горном Алтае и Туве за последние 227 лет носила в основном синхронный характер. Выявлены фазы синхронных изменений стока рек в Алтае-Саянском регионе с регрессивными и трансгрессивными фазами увлажненности Западной Азии в конце XIX начале XX веков, а также с колебаниями уровня озера Байкал за последние 280 лет.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи:

Магда В.Н., Ваганов Е.А. Климатические факторы, определяющие изменчивость радиального прироста лиственницы в межгорных котловинах Алтая // География и природные ресурсы. 2001, № 3. - С. 76 – 81.

Магда В.Н., Зеленова А.В. Радиальный прирост сосны как индикатор атмосферного увлажнения в Миусинской котловине // Известия Русского географического общества. 2002, Том 134. Вып. 1. – С. 73-79.

Зеленова А.В., Магда В.Н. Реконструкция динамики температуры воздуха и атмосферных осадков по древесно-кольцевым хронологиям в Миусинской котловине // Основные закономерности глобальных и региональных изменений климата и природной среды в позднем кайнозое Сибири. Издательство Ин-та археологии и этнографии СО РАН. 2002. – С. 205-212.

Тезисы докладов:

Магда В.Н. Климатическая составляющая радиального прироста лиственницы сибирской в межгорных котловинах Алтая // Реакция растений на глобальные и региональные изменения природной среды. – Тезисы докладов всероссийского совещания. Иркутск, 2000. – С. 58.

Магда В.Н., Андреев С.Г. Уровень воды в оз. Байкал как показатель общей увлажненности Бурятии и его 280-летняя реконструкция по годичным кольцам сосны обыкновенной // География на службе науки, практики и образования. Материалы VII научно-практической и методической конференции, посвященной 100-летию Красноярского отдела РГО. Красноярск 2001. – С. 114.

Магда В.Н. Региональные компоненты радиального прироста сосны лесостепных зон юга Сибири как индикатор пространственно-временной изменчивости климата // международная конференция «Экология Сибири Дальнего Востока и Арктики». Тезисы докладов. Томск, Россия 5-8 сентября 2001. - С. 26.

Magda V.N., Zelenova A.V. and Andreev S.G. A 280-year reconstruction of Baikal Lake water level from tree rings // Tree rings and people. International Conference on the Future of Dendrochronology. Davos, Switzerland, September 22-26, 2001. - P. 184.

Magda V., Block J. Oydupaa O. Spatial-temporal relations between tree-growth on upper and lower timberline in central Asia // Geographical study of Central Asia and Mongolia. Extended abstracts. International conference, September 6-11, 2002, Ulaanbaatar, Mongolia. – P. 53.

Ovchinnikov D.V., Magda V.N. Influence of site conditions on tree-ring growth in the Altai Mountains // Boreal forests and environment: Local, regional and global scales. XI International conference IBRFA Workshop GOFCA. Abstracts. August 5-9, 2002, Krasnoyarsk, Russia. – P. 63.

153134K

