

На правах рукописи



Бочкарев Юрий Николаевич

**Дендроиндикация динамики ландшафтов
на северной и высотной границах леса**

25.00.23 – физическая география и биогеография,
география почв и геохимия ландшафтов.

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Москва - 2012

Работа выполнена на кафедре физической географии и ландшафтоведения географического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

Научный руководитель: доктор географических наук,
член-корреспондент РАН
Дьяконов Кирилл Николаевич

Официальные оппоненты: **Ловелиус Николай Владимирович**, доктор биологических наук, профессор, географический факультет Санкт-Петербургского государственного педагогического университета имени А.И. Герцена, профессор

Шполянская Нелли Александровна, доктор географических наук, географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, ведущий научный сотрудник

Ведущая организация: факультет географии и геоэкологии ФГБОУ ВПО «Тверской государственный университет»

Защита состоится «30» мая 2012 г. в 17 часов на заседании диссертационного совета Д 501.001.13 в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, Москва ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, Главное здание МГУ, географический факультет, 18 этаж, ауд. 18-07.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова на 21 этаже.

Автореферат разослан «27» апреля 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Горбунова Ирина Алдаровна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Одной из фундаментальных проблем ландшафтоведения выступает выявление взаимосвязи иерархически организованного ландшафтного пространства и времени. Проблема была поставлена и исследована В.Б. Сочавой, Н.Л. Беручашвили, А.А. Крауклисом, В.А. Снытко, И.И. Мамай, Ю.Г. Пузаченко, К.Н. Дьяконовым, А.Н. Ивановым и др. Разработаны основы пространственно-временной организации геосистем на базе стационарных исследований.

Практически единственный путь изучения смен многолетних состояний природных комплексов представляет дендрохронология. Преимущество дендрохронологического метода заключается в возможности получения достоверной информации об изменении условий произрастания деревьев с временным разрешением от года до сотен и тысяч лет. Актуальность исследования обусловлена потребностью развития функционально-динамического направления и ландшафтного прогноза.

Цель работы:

Выявление пространственно-временной организации лесных геосистем на северном и высотном пределах их существования с помощью дендрохронологического метода.

Задачи исследования:

1. Выявление различий в динамике прироста деревьев в зависимости от свойств геосистем.
2. Определение степени влияния внешних факторов на динамику годичного радиального прироста деревьев в типичных геосистемах.
3. Выявление ведущих факторов, определяющих высокочастотную и среднечастотную (внутривековую) изменчивость прироста, сравнение этих факторов для разных пород деревьев между геосистемами.
4. Установление соотношения ведущих внешних и внутренних факторов в динамике различных природных комплексов.

Объекты и материалы исследования. Объектами исследования выступают высоко- и среднегорные лесные ландшафты Центрального Кавказа (Приэльбрусье) и северотаежные ландшафты Западной Сибири (район г. Надым).

Проанализированы данные по годовичному радиальному приросту, полученные автором в пяти урочищах ландшафта озерно-аллювиальной равнины в ходе полевых работ 2000 г. в районе стационара «Надым» Института криосферы земли РАН, а также в 14 фациях в Приэльбрусье во время экспедиции 2004 года. В районе г. Надым в анализ были включены ряды приростов 142 деревьев трех видов - сосны сибирской (кедра), сосны обыкновенной и лиственницы сибирской, в Приэльбрусье - 120 деревьев сосны Сосновского (Крючковой).

Научная новизна:

В работе решена актуальная теоретическая и методическая задача функционально-динамического направления ландшафтоведения - дендрохроноиндикация пространственно-временной организации ландшафтов на северной и высотной границах леса.

Колебания годовичного радиального прироста деревьев были разделены на различные временные иерархические ранги (по разным частотам) и впервые анализировались по отдельности в связи с динамикой внешних факторов.

Предложен новый коэффициент синхронности (КС), который рассчитывается одновременно между несколькими дендрохронологическими рядами. КС использован для сравнения различных геосистем по степени воздействия внешних факторов на их динамику.

Установлена зависимость годовичного радиального прироста текущего года от климатических условий предшествующих лет, а также свойств геосистем. Определена связь величины запаздывания радиального прироста по отношению к колебаниям климатических условий, с иерархическим рангом этих колебаний. Показано, что величина запаздывания - мера инерции геосистем.

Выявлена значимость совместного влияния климатических факторов, солнечной и геомагнитной активности на динамику продуктивности высокогорных ландшафтов.

Прослежена связь пространственной и временной иерархической организации ландшафтов в Приэльбрусье и на севере Западной Сибири.

Научно-практическая значимость результатов. Исследование выполнено в рамках тем НИР географического факультета и при финансовой поддержке грантов РФФИ № 03-05-65024, № 05-05-64706 № 08-0500152, №11-05-01203 и

УР, проект 8.03. Разработаны новые методы изучения пространственно-временной организации геосистем и выявлены закономерности в динамике и функционировании ландшафтов на северном и верхнем пределах лесной растительности. Полученные результаты можно использовать для составления долгосрочных прогнозов динамики лесных ландшафтов и оптимизации ведения лесного хозяйства. Выяснение закономерностей дифференциации отклика прироста на внешние воздействия у геосистем с разными свойствами важно для построения дендрохронологий, поскольку позволяет устранить информационный шум, который возникает при осреднении данных по группам деревьев.

Положения, выносимые на защиту.

1. Годичный радиальный прирост деревьев как интегральный показатель функционирования геосистем, отражает совокупность внешних (прежде всего климатических) и внутренних (ландшафтных) факторов, которые во многом обусловлены их состояниями.
2. Реакции геосистем на внутривековые колебания климатических показателей характеризуется запаздыванием (инерцией) соответствующих колебаний годового радиального прироста. Величина инерции – функция иерархического уровня колебаний.
3. Степень зависимости динамики годового радиального прироста хвойных пород от факторов внешней среды различна на северном и высотном пределах леса.
4. В экстремальных условиях северной тайги Западной Сибири выявлена связь между пространственной и временной иерархическими организациями геосистем. В более мягких климатических условиях Приэльбрусья связь проявляется слабее.
5. Изменение КС годового радиального прироста деревьев во времени может служить индикатором при выявлении климатических смен многолетних состояний ландшафтов, т.к. в экстремальные климатические периоды КС прироста увеличивается.

Апробация работы и публикации. Результаты работы доложены на XI Международной ландшафтной конференции, Москва, 2006 г.; на Всероссийской научной конференции «Новые методы в дендрэкологии», Иркутск, 2007 г.; на Международной конференции «Взаимодействие человека и окружающей среды в

бореальной лесной зоне: прошлое, настоящее и будущее», ЦЛГЗ, 2008 г.; на Всероссийской конференции «Окружающая среда и устойчивое развитие регионов: новые методы и технологии исследований», Казань, 2009 г.; Международном симпозиуме по ландшафтной экологии, Чехия, 2010 г. По теме диссертации опубликовано 8 работ, в том числе 4 - в рецензируемых журналах из списка ВАК.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 7 глав, выводов, списка литературы, включающего 171 наименование, 13 из которых на иностранных языках. Работа изложена на 171 стр. машинописного текста, содержит 4 таблицы и 27 рисунков, в том числе 2 карты.

Благодарности. Автор выражает благодарность научному руководителю, член-корр. РАН К.Н. Дьяконову и профессору А.Ю. Ретеюму за всестороннюю помощь; Л.И. Агафонову, М.Н. Петрушиной, Ю.Г. Пузаченко, А.В. Хорошеву и С.Г. Шиятову за предоставленные материалы; Н.Г. Москаленко, А.Д. Олейникову за предоставленные материалы и содействие в проведении полевых работ; Д.Н. Козлову – за консультации.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Развитие динамического направления в ландшафтоведении и обоснование использования дендрохронологического метода

Рассмотрены появление и развитие динамического направления в ландшафтоведении, взгляды на понятия «динамика», «развитие», «состояние» геосистемы. Охарактеризованы работы В.Б. Сочавы, Н.Л. Беручашвили, А.Г. Исаченко, А.А. Крауклиса, А.А. Макуниной, Ф.Н. Милькова, В.И. Орлова, К.Н. Дьяконова, В.А. Снытко, И.И. Мамай и др.

Для изучения динамики сезонноталого слоя в 60-70-е гг. XX в. в России была создана сеть геокриологических стационаров, в том числе «Надым». На ряде из них велись ландшафтные исследования (Павлов, Москаленко, 2001 и др.)

В Приэльбрусье наибольшую историю имеют наблюдения и картографирование ледников, которые начались уже в середине XIX века Г.В. Абихом (Abich, 1871). Фундаментальны исследования Г.К. Тушинского (Тушинский, 1958, 1959 и др.), Лукьяновой и Брукштуса (1987); Турманиной, (1971,1979); Е.А. Золотарева и И.Б. Сейновой (1983, 1985, 1988; 2001), широко

использовавших дендрохронологический метод для изучения динамики ледников, селей и лавин. Высокотгорный геофизический институт вел работы по изучению структуры, динамики и функционированию ландшафтов Приэльбрусья (Коломыц, 1984, 1985). В настоящее время в Приэльбрусье и других районах Кавказа дендроклиматологические изыскания производят сотрудники ИГ РАН (Долгова, Соломина, 2010; Долгова, 2011).

Динамическое направление в ландшафтоведении достигло успехов в изучении внутригодовых и годовых состояний геосистем. Изучать многолетние состояния на стационарах практически невозможно. Фактически единственным способом, позволяющим изучать многолетние состояния геосистем с древесной растительностью и моменты их смен, выступает дендрохронологический метод.

Глава 2. Современное состояние дендрохронологических исследований

Современная дендрохронология в основном представлена отраслевыми направлениями. Наиболее распространенными остаются дендроклиматические исследования. Выявлены связи с колебаниями солнечной активности (Битвинскас, 1974; Ловелиус, 1979 и др.). Известен опыт дендроклиматического районирования больших территории (Семенов, Хачатуров, 1992; Полозова и Шиятов, 1979; Ваганов, Шиятов и др., 1996; Панюшкина, Ваганов и др., 1996). Комплексных ландшафтных работ с использованием дендрохронологического метода в литературе не много. К.Н. Дьяконов использовал метод при изучении влияния водохранилищ и мелиоративных систем на прилегающие ландшафты (Дьяконов, 1975;). Метод применен для изучения пространственно-временной организации геосистем в районе Архангельской УНС МГУ и на стационаре «Белое озеро» в центральной Мещере (Беляков, 2002, 2003; Дьяконов, 1997), а также в районе стационара «Надым» и в Приэльбрусье (Бочкарев, 2006; Бочкарев, Дьяконов, 2009; Дьяконов, Бочкарев, 2010).

Глава 3. Физико-географическая характеристика районов исследования, исходный материал и методика

В работе использованы данные по годичному радиальному приросту деревьев, полученные автором в 2000 г. в пяти урочищах ландшафта озерно-аллювиальной равнины в районе стационара “Надым” Института криосферы Земли РАН и в 14 фациях в Приэльбрусье (экспедиция 2004 г.), (табл. 1). В

районе г. Надым в анализ были включены ряды приростов 142 деревьев трех видов – сосны сибирской (кедра) (*Pinus sibirica* L.), сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и лиственницы сибирской (*Larix sibirica* L.), в Приэльбрусье – 120 деревьев сосны Сосновского (Крючковатой) (*Pinus sosnovskyi* (Ramata) L.) (табл.1). На пробных площадях выполнены ландшафтные описания.

В качестве метеорологических показателей взяты: средние месячные и средние летние температуры воздуха и атмосферные осадки весны и лета текущего и прошлого по отношению к приросту деревьев годов; конца лета и осени прошлого года; средние летние и зимние температуры и осадки за летний период текущего и прошедшего годов. Ряды показателей рассчитывались с помощью регрессионных моделей по метеостанциям Надым и Салехард (для севера Западной Сибири) и Терскол, Нальчик, Владикавказ, Тбилиси (для Приэльбрусья).

Основной метод полевых исследований – заложение пробных площадей в типичных фациях для отбора кернов деревьев буром Пресслера, от 10 до 25 (с двух радиусов ствола). Ширина колец измерялась с помощью сканера и компьютера (использовалась программа *Cybis Coorecorder*) и полуавтоматизированной системы измерения ширины годовичных колец *LINTAB 5*, после чего проводилось перекрестное датирование. Для обработки рядов годовичного прироста была применена методика стандартизации (индексирование) и построения обобщенных хронологий (Cook, 1985; Cook et. al., 1990). Колебания прироста ранжировали с помощью периодограмм Фурье-анализа обобщенных хронологий, которые разделялись на колебания каждого временного иерархического уровня и исследовались по отдельности. Вычленены низкочастотные колебания (с периодом около 50 лет и более), среднечастотные (с периодом около 20 - 30 лет), высокочастотные (с периодом 10–15 лет), межгодовые (с периодом 1 – 5 лет).

Таблица 1

Характеристика пробных площадей

Номер площади, порода деревьев	Местоположение, крутизна и экспозиция склонов	Высота над уровнем моря, м	Тип леса, сомкнутость крон (СК)	Средняя высота дерева, м	Возраст деревьев, лет
Кавказ (Приэльбрусье)					
1. Сосны	Вершинная поверхность моренной гряды в верховьях долины р. Баксан. Экспозиция юго-восточная.	2350 – 2380	Сосновое редколесье разнотравно-злаковое на горных лугово-лесных суглинисто-щебнистых почвах, СК <0,05.	12	40 - 60
2. Сосны	Покатый склон моренной гряды в верховьях долины р. Баксан. Экспозиция юго-восточная.	2300 – 2350	Сосняк разнотравно-злаковый на горно-лесных суглинисто-щебнистых бурых почвах, СК 0,3 – 0,5.	15	40 - 60
3. Сосны	Покатый склон долины р. Баксан в районе пос. Терскол, сложенный кристаллическими сланцами. Экспозиция юго-западная	2300 - 2400	Сосняк зеленомошно-разнотравно-злаковый на горно-лесных бурых супесчано-щебнистых почвах, СК 0,05 – 0,3.	15 - 25	40 – 60 и 150 - 230
4. Сосны	Слабонаклонная поверхность селевого конуса Гарабаши в районе пос. Терскол, сложенная пролювием. Экспозиция юго-юго-восточная	2280 2320	Сосняк зеленомошно-разнотравно-злаковый на горно-лесных дресвяно-щебнистых пролювиальных почвах, СК 0,3 – 0,5.	20 - 25	100 - 200
5. Сосны	Незадернованное селевое русло в пределах слабонаклонной поверхности селевого конуса Гарабаши, сложенное крупнообломочным пролювием.	2280 – 2320	Сосняк по границе селевых русел с пятнами разнотравья и злаков на примитивных дресвяно-щебнистых пролювиальных почвах, СК 0,2 – 0,3.	20 - 25	100 - 220
6. Сосны	Слабонаклонная и покатая краевая задернованная часть селевого конуса Гарабаши, сложенная пролювием. Экспозиция южная.	2300 – 2320	Сосняк зеленомошно-разнотравно-злаковый на горно-лесных дресвяно-щебнистых пролювиальных почвах, СК 0,3 – 0,5.	20 - 25	200- 300
8. Сосны	Плоское и слабонаклонное днище верхней части долины р. Баксан, сложенное аллювием, подверженное периодическому влиянию лавин.	2150	Сосняк разнотравно-злаковый на сильнощебнистых аллювиальных почвах, СК 0,3 – 0,4.	20	80 – 100
9. Сосны	Нижняя часть крутого склона долины р. Баксан, сложенная кристаллическими сланцами. Экспозиция южная.	2300 – 2350	Разреженный сосняк разнотравно-злаковый на горных лугово-лесных супесчаных почвах, СК 0,2 - 0,3.	20 - 25	150 - 200
10. Сосны	Верхняя граница леса на покатом склоне северной экспозиции, сложенным кристаллическими сланцами (массив Чегет).	2450 2500	Сосняк разнотравно-злаковый на горно-лесных бурых суглинисто-щебнистых почвах, СК 0,3 - 0,4.	20 - 25	150 - 200

Продолжение таблицы 1

11. Сосны	Средняя покатая и крутая склона северной экспозиции, сложенного кристаллическими сланцами в долине реки Баксан в районе пос. Терскол (массив Чегет).	2200 – 2300	Сосняк разнотравно-злаковый на горно-лесных бурых суглинисто-щебнистых почвах, СК 0,5 - 0,7.	25 - 30	100 - 170
13. Сосны	Плоское и слабонаклонное днище верхней части долины р. Баксан, сложенное аллювием (район пос. Терскол).	2120 2140	Сосняк мертвопокровный с пятнами мхов, брусники, разнотравья и злаков на аллювиальных дресвяно-щебнистых почвах, СК 0,6 - 0,7.	25 - 30	150 - 260
14. Сосны	Средняя часть крутого склона северо-западной экспозиции в долине р. Баксан (район г. Тырнауз), сложенная кристаллическими сланцами.	1450 1500	Сосновое остепненное редколесье с разреженным травяным покровом, на горных лугово-лесных дресвяно-щебнистых почвах, СК <0,05.	8 - 12	80 - 100
Сибирь (Север Западно-Сибирской низменности, район г. Надым)					
1. Сосны, 1. Листвен- ницы 1. Кедр	Плоские и слабонаклонные дренированные поверхности озерно-аллювиальной равнины без вечной мерзлоты, сложенные с поверхности песками. Мощность торфянистого горизонта около 10 см.	20- 30 м	Березово-лиственнично-сосновые и кедрово-лиственнично-сосновые кустарничково-зеленомошно-лишайниковые леса на иллювиально-гумусово-железистых почвах, СК 0,3.	12 - 15	120 - 200
9. Кедр	Торфяно-минеральные бугры пучения с глубиной сезонного протаивания около 40-60 см. Мощность торфа более 1 м.		Кедровое редколесье с ерниково-бруснично-багульниковым и морошково-осоковым и лишайниковым покровом на торфяно- и торфянисто-мерзлотных почвах, СК <0,05.	10 - 15	250 - 430
10. Кедр	Высокая пойма р. Лонг-Юган на бугристой поверхности с вечной мерзлотой. Глубина протаивания составляет 40 см. Мощность торфянистого горизонта более 40 см.		Березово-елово-кедровый лес с бруснично-вейниково-морошковым сфагновым покровом на перегнойно-глеевых мерзлотных почвах, СК 0,4 - 0,5.	17	100 - 150
13. Кедр	Слабонаклонная заболоченная поверхность озерно-аллювиальной равнины без вечной мерзлоты. Мощность торфянистого горизонта 40 – 50 см.		Кедровое редколесье с кустарничково-осоковым, политрихово-сфагновым покровом на торфянисто-глеевых почвах, СК 0,05 - 0,15.	10 - 15	120 - 270
14. Сосны	Слабоволнистые хорошо дренированные поверхности без вечной мерзлоты, сложенные с поверхности песками. Торфянистый горизонт отсутствует.		Лиственнично-сосновые беломошные (лишайниковые) редколесья и леса на иллювиально-железистых подзолах, СК 0,01 – 0,15.	8 - 10	120 - 160

Предложен коэффициент синхронности (КС), который в отличие от используемых аналогов (Huber, 1943 и др.), рассчитывается одновременно по нескольким рядам колебаний прироста деревьев, и, следовательно, статистически более значимо позволяет оценить степень влияния внешних факторов на прирост в фации.

Пусть N – число деревьев данного вида на пробной площади, Y – начальный год, от которого отсчитывается прирост, L – количество учитываемых лет прироста; $k(N, Y+i)$ – коэффициент синхронности прироста N деревьев за i год,

$k(N, Y, L)$ – коэффициент синхронности N деревьев за L лет.

Тогда $k(N, Y+i) = (\max(\Delta_i^+ + \Delta_i^0, \Delta_i^- + \Delta_i^0))/N$,

где Δ_i^+ – число деревьев на данной пробной площади, у которых годичный радиальный прирост увеличился от $i-1$ к i году, Δ_i^- – число деревьев на данной пробной площади, у которых годичный радиальный прирост уменьшился от $i-1$ к i году, Δ_i^0 – число деревьев на данной пробной площади, у которых годичный радиальный прирост не изменился от $i-1$ к i году;

$$k(N, Y, L) = \sum_Y^L k(N, Y+i)/L$$

Коэффициент принимает значение от 0.5 до 1. Также можно рассчитать КС между обобщенными хронологиями (средними рядами прироста по N деревьям).

Аналогичный коэффициент ввел В.В. Шишов (2009), назвав его обобщенным коэффициентом согласованности.

Приняты следующие начальные положения:

1. Если динамика прироста деревьев дифференцирована между геосистемами, то средний КС рядов прироста деревьев, принадлежащих одной геосистеме, должна быть выше, чем КС между обобщенными хронологиями по геосистемам в данном регионе. Это доказывается совместным сравнительным анализом КС внутри и между геосистемами и результатами факторного анализа (см. гл. 4, 6)

2. КС годичного радиального прироста находится в прямой зависимости от степени воздействия на него внешних факторов, и, следовательно, является *мерой чувствительности геосистемы*. Это доказано построением регрессионных моделей зависимости прироста температуры отдельно для всех лет и для лет с КС

более 0.75. Во втором случае коэффициенты множественной корреляции оказались всегда выше, чем в первом.

Проведен сравнительный анализ КС колебаний общих хронологий между пробными площадями и среднего КС индивидуальных хронологий по всем геосистемам. Для проверки статистической значимости различий использован непараметрический метод сравнения двух выборок – критерий Уилкоксона. Выявлена степень различия в динамике прироста в зависимости от геосистемы на разных временных иерархических уровнях колебаний. Используются также многомерные методы математической статистики: факторный анализ и множественная пошаговая регрессия.

Роль экзогенных геоморфологических процессов в динамике геосистем выявлена на примере селевой активности. Для этого был использован метод датирования селей по крену древесины и поранениям ствола (Турманина, 1979)

Глава 4. Динамика радиального прироста как индикатор пространственно-временной организации ландшафтов на севере Западной Сибири

В районе Надыма КС между геосистемами у низко- и среднечастотных колебаний ниже, чем средний КС внутри каждой из геосистем, причем это различие максимально в случае низкочастотных колебаний. Динамика различных геосистем отличается в основном по реакции на климатические изменения. В течение XX в. у низкочастотных и среднечастотных колебаний КС между деревьями внутри геосистем выше, чем между ними (рис. 1). Следовательно в это время существовали различия в динамике прироста между геосистемами. Во время малого ледникового периода в начале и середине XIX в. у среднечастотных колебаний КС между пробными площадями был выше, чем внутри них, а у низкочастотных колебаний эти величины были практически одинаковы. Таким образом, выявлена специфика динамики прироста в геосистемах, о чем свидетельствует бóльший КС внутри пробных площадей, чем КС между пробными площадями. В условиях малого ледникового периода различия сглаживались из-за экстремальных температурных условий.

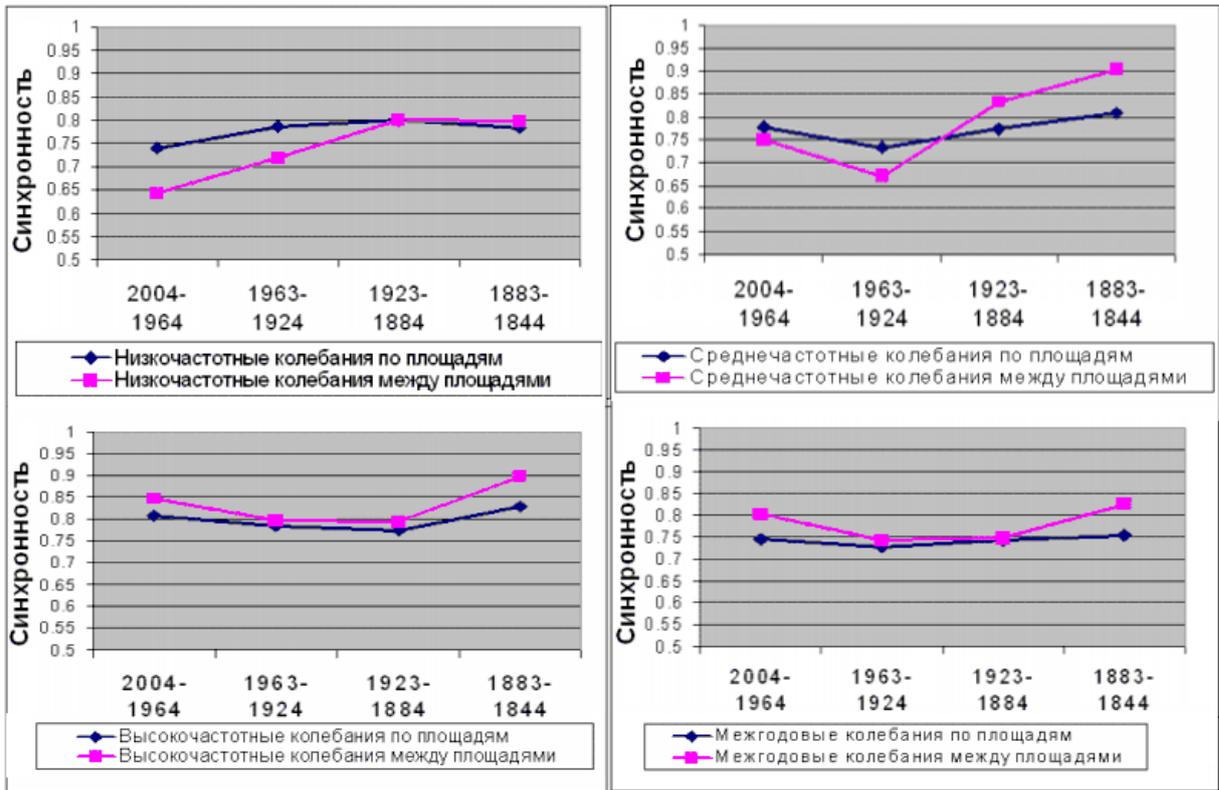


Рис. 1. Изменения среднего КС колебаний прироста деревьев по пробным площадям и КС между общими хронологиями по пробным площадям на севере Западно-Сибирской низменности.

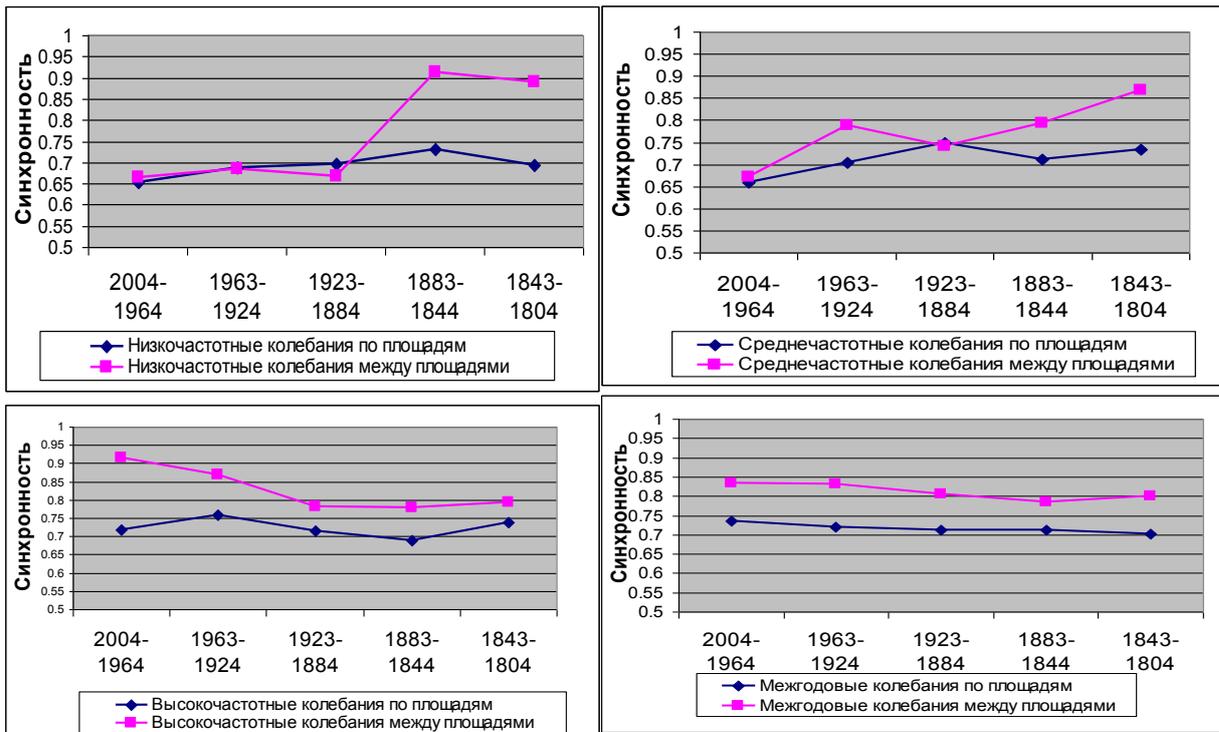


Рис. 2. Изменения среднего КС колебаний прироста деревьев по пробным площадям и КС между общими хронологиями по пробным площадям в Приульбрусье.

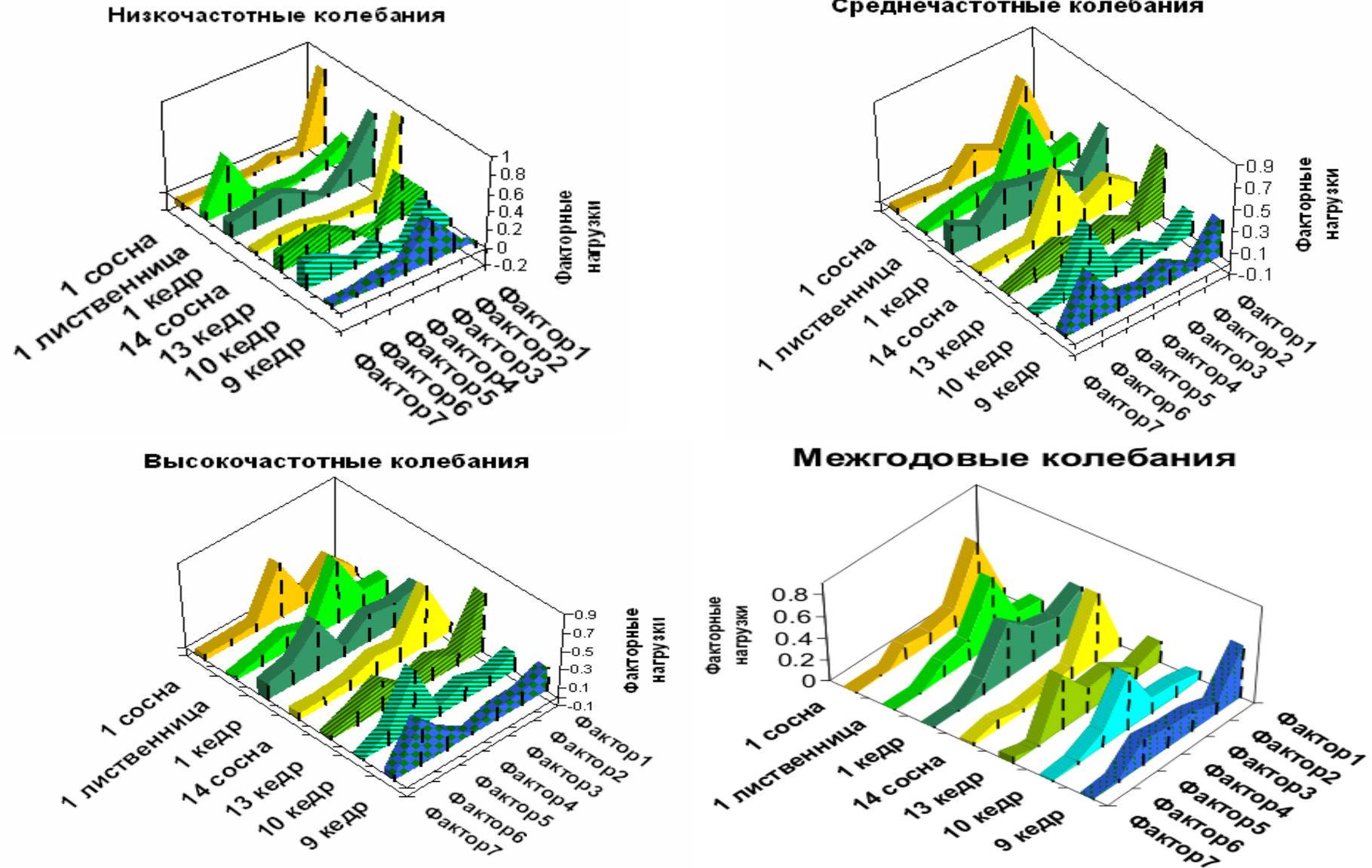


Рис. 3. Средние по пробным площадям факторные нагрузки по 7 выделенным факторам для колебаний прироста различных иерархических рангов по отдельности (район Надыма).

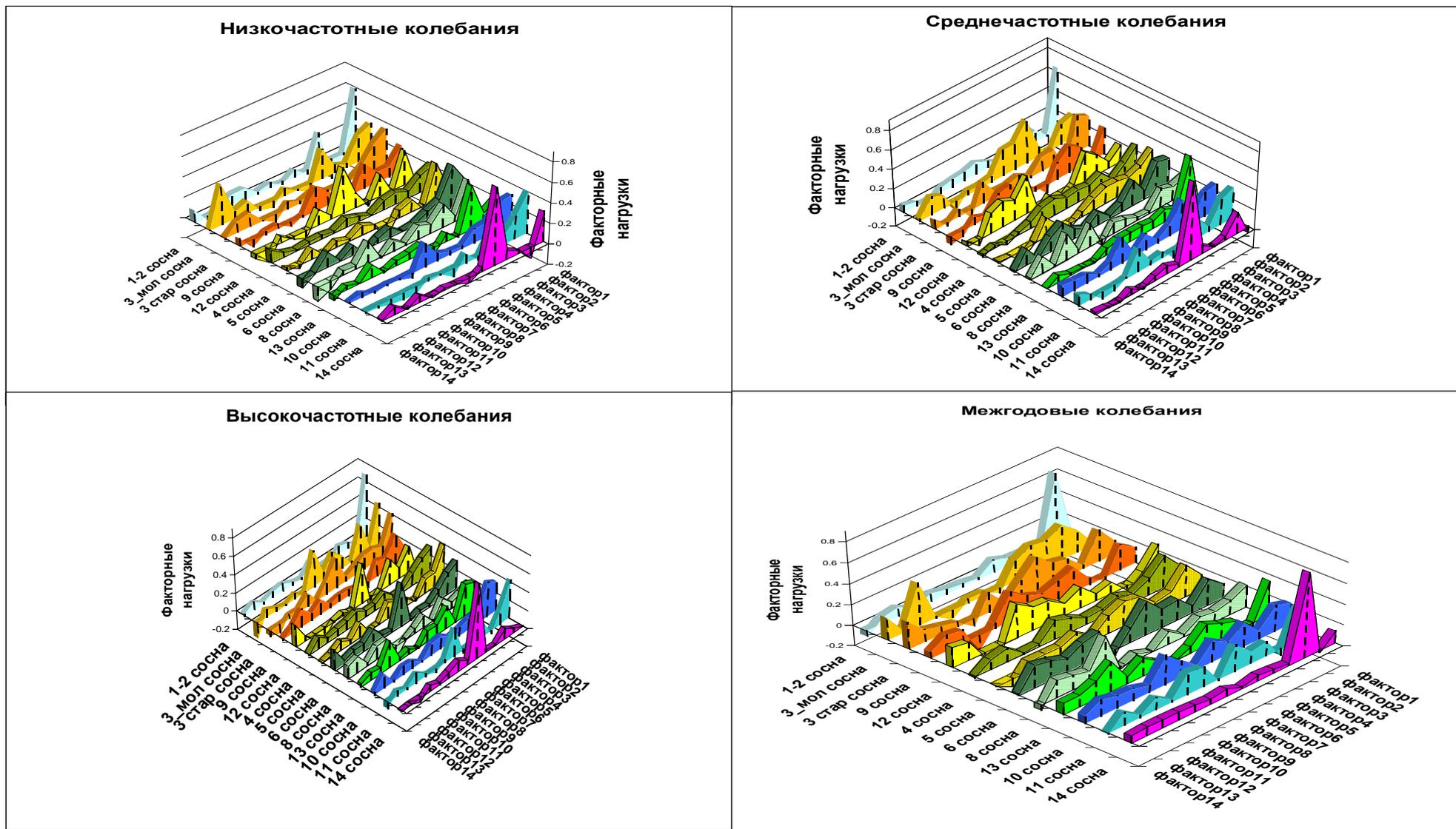


Рис. 4. Средние по всем 14 пробным площадям факторные нагрузки по 14 выделенным факторам для колебаний прироста различных иерархических рангов по отдельности (Приэльбрусье).

Факторный анализ показал, что в районе Надыма геосистемы четко группируются по факторам прироста деревьев. Эта закономерность прослежена почти на всех временных иерархических рангах колебаний приростов (рис. 3), что подтверждает результаты, полученные по КС.

КС прироста между деревьями по геосистемам высок (0,72–0,85), что определяется близостью северной границы лесной зоны, где динамика годовичного прироста деревьев прежде всего зависит от температуры. КС низкочастотных колебаний либо выше, либо существенно не отличается от колебаний других иерархических рангов (табл. 2). Это свидетельствует, что они обусловлены внешними факторами. Исключение составляют дренированные участки с лиственничниками (поскольку они гораздо более устойчивы к колебаниям температуры в почвах), а также пойменные кедровники. У лиственничников максимален КС средне- и высокочастотных колебаний, которые определяются в основном колебаниями температуры воздуха в период роста дерева.

Таблица 2.

КС разночастотных колебаний прироста между деревьями по пробным площадям на севере Западной Сибири

№ пробной площади, порода дерева	Низкочастотные колебания	Среднечастотные колебания	Высокочастотные колебания	Межгодовые колебания
1. Кедры	0,84	0,78	0,82	0,79
1. Лиственничники	0,73	0,85	0,82	0,74
1. Сосны	0,85	0,72	0,78	0,72
14. Сосны	0,84	0,85	0,82	0,75
13. Кедры	0,81	0,83	0,82	0,80
10. Кедры	0,66	0,67	0,78	0,72
9. Кедры	0,72	0,71	0,73	0,73

При анализе распределения среднего КС прироста деревьев по геосистемам различных иерархических рангов можно заключить, что на фациальном уровне различия практически не проявляются. Они выражены на местном уровне. КС прироста во времени достоверно меняется только у средне- и низкочастотных колебаний у кедра и лиственничника, а в остальных случаях он меняется незначительно. Это свидетельствует об одинаковой климатической обусловленности колебаний прироста за весь период роста деревьев. КС среднечастотных колебаний прироста кедра и лиственничника выше в середине и второй половине XIX в. (малый

ледниковый период), а также за последние десятилетия, что указывает на увеличение климатической зависимости прироста со временем.

Закономерности в изменении КС низкочастотных колебаний прироста не выражены. Отметим только увеличение КС низкочастотных колебаний прироста у кедра с припойменного заболоченного урочища в первой половине XX в., когда произошло его заболачивание. Итак, различия в динамике КС прироста деревьев внутри пробных площадей между различными геосистемами проявляются слабо на уровне урочищ и сильнее на более высоком иерархическом уровне ландшафта.

Глава 5. Роль климатических факторов, солнечной и геомагнитной активности в динамике прироста деревьев на севере Западной Сибири

Высокочастотная составляющая колебаний прироста деревьев во всех геосистемах достоверно описывается совокупностью климатических факторов. Воздействие многих из климатических факторов можно объяснить только через призму динамики ландшафта – сначала они влияют на состояние литогенной основы ландшафта (через тепловой и водный режим), которое в свою очередь отражается на приросте. Наиболее существенными из этих факторов являются температурные условия переходных сезонов – осени предшествующего года и ранней весны настоящего года, когда формируется ранняя древесина, составляющая значительную часть прироста. Важную роль играет режим образования и схода снежного покрова.

Средне- и низкочастотные колебания прироста деревьев в значительной степени обусловлены колебаниями климатических параметров, но с запаздыванием на несколько лет в отличие от высокочастотных колебаний. Величина запаздывания и корреляции зависит как от породы, так и от геосистемы.

Очевидно, в районе исследований тепловые потоки в ландшафте при относительной однородности почвообразующих пород (пески и супеси) в значительной степени контролируются мощностью торфяных или перегнойных горизонтов почв, а также глубиной снежного покрова, которые являются теплоизоляторами и выступают одними из главных факторов существования многолетней мерзлоты (Павлов, 1979, 1980; Крицук, 1983; Павлов, Москаленко, 2001; и др.).

На поверхности озерно-аллювиальной равнины, где мощность оторфованных горизонтов около 5 см и на слабоволнистой хорошо дренированной ее поверхности,

где такие горизонты отсутствуют, внутривековые колебания прироста сосен и кедров зависят от колебаний средней годовой температуры с запаздыванием в 3 года. В урочищах, где мощность торфа велика – на заболоченном участке (до глубины около 40 см), на пойме (более 60 см), на торфяно-минеральных буграх пучения (30 – 60 см), связь со средней годовой температурой практически отсутствует, но хорошо выражена зависимость от средней летней температуры. Это объясняется тем, что зимой в них накапливается мощный слой снега вследствие развитого кустарничкового яруса и микрорельефа, что препятствует интенсивному промерзанию почв. Из-за влияния торфа запаздывание колебаний прироста по отношению к колебаниям летней температуры в рассматриваемых геосистемах больше, чем в других. На буграх пучения оно составляет 4 года, а на пойме – 5 лет.

Закономерности внутривековых колебаний лиственницы существенно отличаются от таковых у кедра и сосны. Это единственная порода, у которой проявляется значительная связь с колебаниями средней температуры июня-июля, причем с меньшим запаздыванием – два, а не три года. Наиболее сильная зависимость ее прироста наблюдается от колебаний средней летней температуры, причем с лагом всего один год. Это свидетельствует о том, что прирост лиственницы менее зависим от термических условий литогенной основы в силу адаптации этой породы к недостатку тепла в почве.

Таким образом, на внутривековую динамику ландшафтов в районе исследований основное влияние оказывают климатические флуктуации, прежде всего многолетняя изменчивость температуры. В северных условиях высокочастотные и внутривековые колебания прироста индицируют разные показатели: первые отражают раннелетние состояния геосистем в конкретные годы, а вторые – годовые состояния.

Величина запаздывания колебаний прироста по отношению к климатическим – это характеристика, которая может служить мерой инерции геосистемы (Дьяконов, Иванов, 1991).

Роль циклов солнечной и геомагнитной активности во внутривековой динамике геосистем. Исследовано совместное влияние климатических показателей, солнечной и геомагнитной активности на динамику продуктивности геосистем, выраженную через изменчивость годового прироста. Проведен регрессионный анализ с участием

в качестве независимых только климатических переменных, только солнечной и геомагнитной активности и совместно всех переменных. Лишь у сосен бора-беломошника, произрастающего в пределах озерно-аллювиальной равнины, сложенной песками без многолетнемерзлых пород проявилось положительное влияние солнечной активности июля. Это связано с большей чувствительностью сосняков данного типа к изменчивости внешних факторов из-за летнего дефицита влаги и малой мощности органогенного горизонта.

Таблица 3

Коэффициенты множественной корреляции между приростом и переменными, осредненные по пробным площадям на разных иерархических уровнях колебаний на севере Западной Сибири

Иерархический уровень	Климатические показатели	Солнечная и геомагнитная активность	Все показатели	Прибавка
Среднечастотные колебания	0,56	0,24	0,64	+0,08
Высокочастотные колебания	0,55	0,25	0,61	+0,06
Межгодовые колебания	0,58	0,17	0,62	+0,04

В остальных урочищах гипотеза о возможном совместном влиянии солнечной, геомагнитной активности и метеорологических характеристик на межвековую и внутривековую динамику продуктивности геосистем не подтвердилась (табл. 3). Причина подобного явления – ведущая роль климатического (термического) сигнала в формировании древесного кольца.

Глава 6. Динамика годичного радиального прироста как индикатор пространственно-временной организации ландшафтов Приэльбрусья

В Приэльбрусье по сравнению с районом Надыма наблюдается меньший КС внутри пробных площадей и больший между пробными площадями. Это свидетельствует о меньшей специфике динамики прироста деревьев в геосистемах Приэльбрусья по сравнению с севером Западной Сибири, что объясняется различиями в климате.

Показано, что чем больше период колебаний, тем меньше их КС у общих хронологий между разными геосистемами. У средне-, высокочастотных и межгодовых колебаний прироста КС между пробными площадями значительно

выше, чем внутри них, а у низкочастотных – наоборот. Следовательно, различия в динамике прироста в зависимости от геосистем в Приэльбрусье проявляются только у низкочастотных колебаний (с периодом 50 лет и более). Климатически обусловленные средне-, высокочастотные и межгодовые вариации проявляются в геосистемах верховий долины р. Баксан практически идентично.

КС низкочастотных колебаний в первой половине XIX в. между геосистемами был гораздо выше, чем внутри них (рис. 2). Он уменьшался к концу XIX и в начале XX в. Таким образом, малый ледниковый период (стадия Фернау) сгладил различия в динамике годичного радиального прироста между геосистемами.

На всех частотах колебаний прироста ожидаемая климатогенная высокая синхронность прироста на верхней границе леса не наблюдается, причем как на южных, так и на северных склонах (КС 0,64-0,75) (табл. 4). В среднем она оказалась не выше (или незначительно выше), чем на днище долины р. Баксан (КС 0,65–0,73), на конусе Гарабаши (КС 0,58–0,76) и в средней части склона Чегета (КС 0,62–0,70). Факторный анализ (рис. 4) показал отсутствие значимого различия характера динамики прироста деревьев в зависимости от геосистем высокогорного яруса на всех частотах колебаний. Это свидетельствует об отсутствии угнетения древостоя на верхней границе леса в верховьях долины р. Баксан и, следовательно, сосновые леса в высокогорном ярусе не находятся на климатическом пределе своего существования. Такой вывод подтверждают факты высокой сомкнутости, большой высоты деревьев (в среднем 15–20 м), значительного абсолютного прироста при малой его изменчивости. Климатического предела существования сосны на верхней границе нет из-за конкуренции со стороны мощной субальпийской растительности, интенсивного выпаса скота, влияния лавин, камнепадов. К подобному выводу приходили и другие исследователи региона (Арефьева и др., 1970; Гулисиашвили, 1956 и др.).

КС прироста деревьев внутри пробных площадей различается в зависимости от иерархического уровня колебаний. В Приэльбрусье между пробными площадями наиболее изменчив КС низкочастотных колебаний (табл. 4). Он минимален в геосистемах, мало подверженных воздействию экзогенных склоновых процессов (селей и лавин). КС лежит в пределах 0,62–0,69. В этих комплексах КС

низкочастотных колебаний ниже, чем средне- высокочастотных и межгодовых колебаний.

Низкочастотные колебания прироста в относительно свободных от экзогенных влияний геосистемах в верхней части долины р. Баксан определяются в основном не варьированием климата соответствующих периодов, а индивидуальными факторами в приросте отдельного дерева, например, конкурентными взаимоотношениями в древостое. Климатически обусловленными колебаниями прироста являются средне-, высокочастотные и межгодовые.

В геосистемах, подверженных влиянию селей (на конусе Гарабаши) и лавин (днище долины р. Баксан выше п. Терскол), КС низкочастотных колебаний значительно выше, чем в других геосистемах. Здесь низкочастотная динамика прироста сосен в большой степени определяется селями и лавинами, последствия которых прослеживаются в приросте деревьев длительное время.

Таблица 4.

КС разночастотных колебаний прироста между деревьями по пробным площадям (Приэльбрусье)

№ пробной площади, порода дерева	Частоты колебаний прироста			
	Низкочастотные колебания	Среднечастотные колебания	Высокочастотные колебания	Годовые колебания
1. Сосны		0,65	0,82	0,77
2. Сосны		0,68	0,71	0,75
3. Сосны молодые		0,78	0,80	0,77
3. Сосны старые	0,67	0,68	0,71	0,69
4. Сосны	0,76	0,70	0,69	0,69
5. Сосны	0,74	0,68	0,71	0,74
6. Сосны	0,73	0,70	0,77	0,73
7. Сосны	0,66	0,58	0,75	0,73
8. Сосны	0,84	0,73	0,71	0,77
9. Сосны	0,69	0,73	0,76	0,74
10. Сосны	0,64	0,75	0,74	0,72
11. Сосны	0,62	0,68	0,70	0,70
13. Сосны	0,65	0,73	0,72	0,70
14. Сосны	0,93	0,92	0,77	0,79

Значительные различия в динамике годичного прироста выявлены на уровне высокогорного и среднегорного ярусов. Как видно из табл. 4, в среднегорном ярусе пробная площадь 14 выделяется наиболее высоким КС низкочастотных и среднечастотных колебаний (0,93 и 0,92 соответственно) и относительно высоким

КС высокочастотных и межгодовых (0,77 и 0,79). Кроме того, по результатам факторного анализа прироста сосны, произрастающей на крутом склоне у г. Тырнауз, на всех иерархических уровнях колебаний прироста составляют наиболее четкую специфичную группу, независимую от прироста в высокогорном ярусе (рис. 4). Это можно объяснить экстремальными климатическими условиями ее произрастания, на границе своего существования, определяемой малым количеством осадков (рядом расположена Былымская котловина) и сильными “коридорными” ветрами, дующими по суженной долине р. Баксан.

Глава 7. Роль климатических факторов, солнечной и геомагнитной активности в динамике прироста деревьев в Приэльбрусье

Достоверные связи годового прироста с различными климатическими рядами проявляются в основном на периодах колебаний около 10 и менее лет (табл.5). Связи при более низкочастотных колебаниях либо отсутствуют, либо они слабы. Эти колебания определяются склоновыми процессами, конкурентными взаимоотношениями и т.п. Наиболее объяснимо присутствие среди независимых переменных практически во всех моделях температуры и осадков июля (иногда июня-июля, средних летних), поскольку на это время приходятся основные процессы образования ранней древесины годового кольца. Однако имеются переменные, которые влияют на прирост опосредованно. Это, прежде всего, отрицательное влияние температуры мая, иногда мая-июня и, наоборот, положительного влияние осадков в этот период. Еще одно опосредованное положительное влияние на прирост оказывает температура, а иногда и осадки поздней осени (ноября, иногда и октября) предшествующего приросту года.

Таблица 5

Коэффициенты множественной корреляции между приростом и переменными, осредненные по пробным площадям на разных иерархических уровнях колебаний в Приэльбрусье

Иерархический уровень	Климатические показатели	Солнечная и геомагнитная активность	Все показатели	Прибавка
Средне-частотные колебания	0,36	0,40	0,56	+0,20
Высокочастотные колебания	0,40	0,43	0,58	+0,18
Межгодовые колебания	0,44	0,31	0,58	+0,14

Для выявления роли селей в пределах конуса Гарабаши построены графики разностей прироста по двум диаметрам для сосен на границе собственно селевого русла, для сосен на каменистой россыпи (центральная часть конуса) и задернованной западной части. Использование дендрохронологического метода позволило установить:

1. В средней части конуса Гарабаши датированы сели 1814, 1826, 1859, 1870, 1880, 1895, 1936, 1959, 1966, 1983 гг. Датировки всех основных селей совпали с данными других авторов (Сейнова, Золотарев, 2001).

2. Выявлена периодичность наиболее мощных селей – 1 раз в 32 – 50 лет, в среднем 42 года. Следующего крупного селя следует ожидать в период 2015 – 2025 гг., наиболее вероятно около 2025 г.

3. В центральном секторе конуса Гарабаши селевая деятельность перестала воздействовать на прирост только в первой половине XX в., хотя по Сейновой и Золотареву (2001) возраст отложений здесь – середина XIX в. Следовательно, наблюдается инерция (запаздывание) реакции геосистемы на селевую активность.

Выводы

1. На севере Западной Сибири и в Приэльбрусье выявлена связь пространственной и временной иерархической организации геосистем. *Наблюдается обратная связь – низкочастотные колебания (высокий иерархический временной ранг) различаются в зависимости от урочищ и подурочищ (низкий пространственной ранг), а высокочастотные и межгодовые колебания (низкий временной ранг) различаются на более высоких пространственных рангах.* В Приэльбрусье пространственно-временная иерархия проявляется менее четко, чем на севере Западной Сибири. Специфичность динамики прироста сосен проявляется в основном в соответствии с ландшафтными ярусами – среднегорном (район Тырнауза) и высокогорном (верховья р. Баксан). В высокогорном ярусе различия прироста между локальными геосистемами проявляются только на низкочастотном уровне в зависимости от наличия или отсутствия экзогенных факторов (сели, лавины).

2. Зависимость динамики годичного прироста хвойных от климатических факторов в Приэльбрусье гораздо ниже, чем в северной тайге Западной Сибири, что объясняется более экстремальными климатическими условиями там по сравнению с

Приэльбрусьем. В обоих районах наблюдается зависимость прироста не только от климатических условий лета, но и от предыдущих условий, в основном переходных сезонов – осени предыдущего и весны текущего по отношению к приросту года. Эти условия проявляются в основном через состояния ландшафтов, определяющиеся характером образования и схода снежного покрова (в Надыме) и увлажнения (в Приэльбрусье).

3. Как в Надыме, так и в Приэльбрусье, наблюдается запаздывание (инерция) реакции геосистем на внутривековые колебания климатических параметров (с периодом 10 лет и более). При этом инерция при прочих равных условиях больше у колебаний больших периодов, что свидетельствует об иерархичности явлений инерции в динамике геосистем в обоих районах. В Приэльбрусье инерция внутривековых колебаний в климатогенной динамике геосистем в целом меньше (1 – 2 года), чем в северной тайге Западной Сибири (от 2 до 5 лет).

4. В Приэльбрусье влияние непрямых климатических факторов на динамику лесных геосистем оказывает большее влияние, чем в северной тайге Западной Сибири. Обратная картина складывается при влиянии прямых климатических факторов.

5. Изменчивость солнечной и геомагнитной активности совместно с климатическими изменениями является ведущим фактором во внутривековой динамике геосистем в высокогорных районах, где проявляется их непосредственное влияние на динамику биологической продуктивности древостоя, тогда как на северной границе леса вклад солнечной и геомагнитной активности гораздо меньше (в основном геомагнитной активности).

6. Малый ледниковый период сгладил различия в динамике годичного прироста между геосистемами как в Приэльбрусье, так и на севере Западной Сибири.

7. Сосны на верхней границе леса в высокогорном ярусе Приэльбрусья не находятся на климатическом пределе своего существования.

Таким образом, *пространственно-временная дифференциация геосистем проявляется более четко в суровых условиях севера Западно-Сибирской равнины по сравнению с более мягкими условиями Приэльбрусья*. Это можно объяснить законами минимума Ю.Либиха и толерантности В.Шелфорда. На севере Западной Сибири динамика прироста деревьев, зависит от изменчивости климатических параметров, прежде всего температуры, которая проявляется через призму динамики ландшафтов, в том числе через прогрев корнеобитаемого слоя. В Приэльбрусье,

поскольку деревья не достигают климатического предела своего существования, нехватка одних экологических факторов в отдельные годы компенсируется другими.

Тем не менее, в наиболее суровых условиях – на мерзлотных буграх пучения и во время малого ледникового периода пространственно-временная организация геосистем унифицировалась, *то есть существует определенные рамки климатических условий, в которых она проявляется наиболее четко.*

Список опубликованных работ по теме диссертации:

Статьи в рецензируемых журналах из списка ВАК:

1. **Бочкарев Ю.Н.** Изучение внутривековой динамики ландшафтов северной тайги Западной Сибири методами дендрохронологии // Вестн. Моск. Ун-та. Серия 5. География.- 2006.-№ 3.-С.62-67.

2. **Бочкарев Ю.Н.,** Дьяконов К.Н. Дендрохронологическая индикация функционирования ландшафтов на северной и верхней границах леса // Вестн. Моск. Ун-та. Серия 5. География. 2009.-№ 2.-С. 37–50.

3. Черненко Т.В., Басова Е.В., **Бочкарев Ю.Н.,** Пузаченко М.Ю. Оценка биоразнообразия лесов в зоне влияния горно-металлургического комбината «Североникель» // Лесоведение.-2009.-№ 6.-С.38-45.

4. Дьяконов К.Н., **Бочкарев Ю.Н.** Геофизические факторы динамики радиального прироста деревьев в ландшафтах Западно-Сибирской равнины и Приэльбрусья // Вестн. Моск. Ун-та. Серия 5. География.-2010.-№ 4.-С.3–9.

Статьи в других изданиях и материалы докладов:

5. Дьяконов К.Н., **Бочкарев Ю.Н.** Внутривековая динамика радиального прироста деревьев в связи с циклами солнечной активности // Материалы конференции «Болота и заболоченные леса в свете задач устойчивого природопользования».-М., 1999.-С.116-119.

6. **Бочкарев Ю.Н.** Возможности использования дендрохронологического метода для оценки динамики экосистем // Антропогенные изменения экосистем Западно-Сибирской газонной провинции. –М., 2006.–С.45–60.

7. **Бочкарев Ю.Н.** Факторы, определяющие границы сосновых лесов в Приэльбрусье // Материалы XI Международной ландшафтной конференции. –М., 2006.–С.304–306

8. Diakonov K.N., Kharitonova T.I., **Bochkarev Y.N.** Dendroindication of Landscape functioning under influence of geophysical and antropogenic factors // Abstracts: International Conference in Landscape Ecology.-Brno (Czech Republic), 2010-P.71.