

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Географический факультет

На правах рукописи

Кузнецова Екатерина Павловна

**ДЕНДРОИНДИКАЦИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГЕОСИСТЕМ
ТЕРЕХОЛЬСКОЙ КОТЛОВИНЫ ТЫВЫ**

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

Диссертация на соискание
ученой степени кандидата географических наук

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

Москва – 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕНИЯ СТРУКТУРНО- ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ЛАНДШАФТА. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ	10
Раздел 1.1. Структурно-функциональная организация ландшафта	10
Раздел 1.2. Методология изучения структурно-функциональной организации ландшафта	14
Раздел 1.3. Понятие «режим функционирования геосистемы». Методы изучения природных режимов	19
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДЕНДРОИНДИКАЦИИ	23
Раздел 2.1. Основные положения дендроиндикации	23
Раздел 2.2. История развития дендроиндикации: отраслевые и комплексные исследования	27
Раздел 2.3. Физиологический процесс роста деревьев	33
2.3.1. Структура годовичных колец	33
2.3.2. Факторы радиального прироста деревьев.....	34
ГЛАВА 3. ПРИРОДНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КЛЮЧЕВОГО РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ.....	41
Раздел 3.1. Общая характеристика.....	41
Раздел 3.2. Геолого-геоморфологические условия. Тектоника. Рельеф	43
Раздел 3.3. Климат	49
Раздел 3.4. Мерзлотные условия	54
Раздел 3.5. Поверхностные воды	56
Раздел 3.6. Растительность и почвы.....	58
Раздел 3.6. Ландшафтные условия.....	63
ГЛАВА 4. МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ	71
Раздел. 4.1. Методика исследования.....	71
Раздел. 4.2. Дендрохронологический материал.....	90
Раздел 4.3. Климатические данные	98
ГЛАВА 5. ФАКТОРЫ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ И РЕЖИМЫ ПРОДУКЦИОННОГО ПРОЦЕССА ЛОКАЛЬНОГО УРОВНЯ В XX ВЕКЕ.....	104
Раздел. 5.1. Факторы изменчивости приростов в Терехольской котловине в XX веке	104
Раздел 5.2. Анализ изменчивости индексированных хронологий в 1906- 2008 гг. на озерных террасах (участок «Салдам»)	111

ГЛАВА 6. ФАКТОРЫ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ И РЕЖИМЫ ПРОДУКЦИОННОГО ПРОЦЕССА РЕГИОНАЛЬНОГО УРОВНЯ В XX ВЕКЕ	133
Раздел 6.1. Факторы изменчивости приростов в Алтае-Хангае-Саянском регионе	133
Раздел 6.2. Режимы продукционного процесса геосистем Алтае-Хангае- Саянского региона	139
ВЫВОДЫ	142
ЛИТЕРАТУРА	144

ВВЕДЕНИЕ

Ведущим направлением современных фундаментальных исследований в российском ландшафтоведении и зарубежной ландшафтной экологии выступает изучение структурно-функциональной организации ландшафта (География, общество, ..., 2004; Wu, 2008; Schröder, 2006; Wu, Hobbs, 2002; Turner et al., 2001; Pickett, Cadenasso, 1995; Forman, Godron, 1986). Особое внимание уделяется влиянию внутриландшафтной неоднородности на пространственно-временную изменчивость процессов энергомассообмена. Состояния геосистем, образуемые сменой хода или интенсивности процессов функционирования, называют режимами функционирования (Крауклис, 1975, Беручашвили, 1986).

Исследование закономерностей трансформации входящих потоков вещества и энергии морфологической структурой ландшафта и выделение режимов функционирования требует длительных рядов наблюдений. Первые программы таких исследований были разработаны В.Б. Сочавой – комплексная ординация на полигонах-трансектах (Сочава, 2005). Работы проводились на гидрологических, биогеоценотических и комплексных физико-географических стационарах (Беручашвили, 1986; Сочава, 2005). В настоящее время ведутся измерения пульсаций энергомассообмена в системе атмосфера–растительность–почва: проекты FLUXNET (www.fluxnet.ornl.gov), CarboEurope IP (www.carboeurope.org), действует Международная программа долговременных экологических исследований ILTER (www.ilternet.edu). Длительные наблюдения на стационарах лимитированы финансово-организационными условиями, в связи с чем вместо прямых измерений параметров энергомассообмена широко применяются косвенные методы их оценки на основе аэрокосмических технологий (Выгодская, Горшков, 1987; Сандлерский, 2006) либо палеогеографических реконструкций: стратиграфических, палинологических, дендрохронологических, педологических и др. (Методы палеогеографических реконструкций, 2010).

Для изучения локальной трансформации региональных потоков вещества и энергии их регистраторы должны располагаться в каждом элементе морфологической структуры ландшафта. Массовые данные о пространственно-временной изменчивости функционирования биологического круговорота содержатся в морфологии тканей и органов древесных растений. Последовательность и структура годичных колец древесины индицируют межгодовую и внутригодовую динамику продукционного процесса (Vaganov et al., 2006), обусловленную автохтонными (генетические особенности, возраст) и аллохтонными (конкурентные отношения, климатические, геоморфологические, гидрологические и др.) факторами, действующими в широком диапазоне пространственно-временных масштабов.

В дендрозкологических исследованиях последних лет активно изучается влияние локальных условий местообитания на изменчивость параметров годичных колец деревьев (Велисевич, Хуторной, 2009; Бабушкина и др., 2010, 2011; Малышева, Быков, 2011; Николаев и др. 2011; Табакова и др., 2011; Трофимова, 2012; Copenheaver, Peterson, 2012; Hartl et al., 2012; Lèvesque et al., 2012; Pérez-de-Lis et al., 2012). Под локальными условиями понимаются характеристики рельефа (высота, крутизна, экспозиция), литологический состав отложений и их мощность, характеристики почвы (тип почв, их мощность, влажность, температура, механический состав), наличие мерзлоты. Степень проявления локального сигнала годичного кольца выражается через различие регионального климатического отклика в разных природных комплексах. Используя фундаментальную базу ландшафтоведения и методические основы дендрозкологии, представляется возможным анализ структурно-функциональных связей в ландшафте и выделение режимов продукционного процесса геосистем разного уровня с помощью дендроиндикационного метода.

Цель работы – дендроиндикация внутривековых ритмов функционирования геосистем локального уровня Терехольской котловины Тывы.

Для достижения цели решались следующие **задачи**:

1. Создание сети абсолютно датированных древесно-кольцевых хронологий по ширине годичных колец.
2. Построение обобщенной древесно-кольцевой хронологии, отражающей особенности продукционного процесса Терехольской котловины Тывы.
3. Определение соотношения автохтонных и аллохтонных факторов изменчивости приростов в XX веке, их интерпретация.
4. Разработка и апробация методики выделения ритмов продукционного процесса через анализ параметров годичных колец на локальном и региональном уровнях.
5. Установление ключевых лет и причин смены направленности продукционного процесса.

Материалы и методы исследования. Объект исследования – геосистемы среднегорных лиственничных и кедрово-лиственничных с фрагментами горных степей ландшафтов Алтае-Хангае-Саянского региона (ключевой участок – Терехольская котловина Тывы). В работе использованы методы: описательный, ландшафтное профилирование, сравнительно-географический, дендрохронологический, статистический. Автор лично выполнял сбор дендрохронологического материала (керны и спилы по 240 деревьям) и полевые комплексные ландшафтные описания, лабораторную обработку образцов, измерение ширины годичных колец, перекрестное датирование древесно-кольцевых серий, построение хронологий, статистическую обработку метеорологических данных и дендрохронологической информации, составлял ландшафтную карту-схему, разрабатывал усовершенствованную методику выделения режимов. Используются полевые данные, информация международного банка данных годичных колец, метеоданные станционные и расчетные.

Научная новизна работы. Решена важная для физической географии задача – выделены внутривековые ритмы функционирования геосистем Терехольской котловины Тывы методами дендроиндикации. Разработана усовершенствованная методика дендроиндикации режимов продукционного процесса геосистем, основанная на совместном анализе изменчивости приростов в разных местообитаниях и их ведущих факторов – региональных климатических показателей. Вариант методики впервые применяется в ландшафтоведении, в том числе при исследовании горных территорий. Продолжительность режима продукционного процесса предложена в качестве размерности скользящего окна для поиска смены сигнала в древесно-кольцевых хронологиях. Впервые проведены дендрохронологические исследования в Терехольской котловине Тывы. Составлена ландшафтная карта-схема юго-западной части Терехольской котловины Тывы.

Практическая значимость работы. Апробированная на контрастных местообитаниях методика индикации режимов продукционного процесса позволяет проводить аналогичные исследования структурно-функциональной организации ландшафтов в других районах. Полученные результаты о ведущих факторах продукционного процесса важны для изучения реакции геосистем, не испытывающих прямого антропогенного воздействия, на изменение климата. Построенные хронологии могут быть использованы для датировки погребенной древесины, исторических памятников и включены в региональную шкалу для Алтае-Хангае-Саянского региона. Данные о чувствительности приростов лиственницы на озерных террасах к осадкам положены в основу реконструкции уровня озера Терехоль, проведенной в связи с разрушением острова Пор-Бажин с одноименной крепостью. Результаты включены в отчеты по грантам РФФИ № 09-04-01742-а, №09-05-00351-а, №11-05-01203-а, Ученого Совета Географического факультета МГУ Молодым ученым (2011-2012 гг.). Полученный опыт дендрохронологических исследований используется при

проведении практических занятий и учебных практик на географическом факультете МГУ.

Защищаемые положения:

1. На протяжении XX века в древесно-кольцевых хронологиях регионального и локального уровня выделяются временные периоды, характеризующиеся различной пространственной структурой продуктивности. Иерархия хроноорганизации приростов соотносится с пространственным масштабом факторов прироста.

2. Ведущий фактор обособления режимов продукционного процесса – изменчивость во времени тепловлагообеспеченности. Локальный уровень исследования предусматривает необходимость учета местных факторов, которые позволяют выявить закономерности, недоступные на среднемасштабном уровне.

3. Границы режимов указывают на смену или изменение силы влияния ведущего фактора продукционного процесса в геосистеме.

4. Вклад автохтонных факторов в общую изменчивость приростов в XX веке значительно ниже, чем аллохтонных. Вариабельность соотношения автохтонных и аллохтонных факторов в геосистемах Терехольской котловины наблюдается как в пространстве, так и во времени.

5. При исследовании однородности и интенсивности климатического сигнала во времени в качестве обоснования величины скользящего временного окна может использоваться длительность периода функционирования высокого иерархического уровня.

Апробация работы. Результаты исследований доложены на российских и международных конференциях: Международной конференции Европейского геофизического союза «EGU-2012» (2012, г. Вена, Австрия), Всероссийской дендрохронологической конференции «РусДендро-2011» (2011, г. Екатеринбург, Россия), XXIV Международной дендрэкологической полевой неделе (2011, г. Энгельберг, Швейцария), XVII конференции молодых географов Сибири и Дальнего Востока «Природа и общество:

взгляд из прошлого в будущее» (2011, г. Иркутск, Россия), рабочем совещании норвежско-российского проекта BENEFITS «Результаты и сотрудничество в будущем» (2011, г. Москва, Россия), VIII Международной конференции по дендрохронологии «WordDendro-2010» (2010, г. Рованиemi, Финляндия), геохронологической летней школе «Датирование природных и антропогенных изменений в нестабильных условиях окружающей среды в Альпах» (2009, г. Левентина, Швейцария).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 работ, в том числе 3 статьи в журналах списка ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 159 страницах машинописного текста и состоит из введения, шести глав и заключения. Список литературы включает 136 наименований, в том числе 53 на иностранных языках. Текст иллюстрирован 49 рисунками и 13 таблицами.

Благодарности. Автор выражает признательность профессору К.Н. Дьяконову за научное руководство, к.г.н. Д.Н. Козлову за консультации и помощь на всех этапах работы, к.г.н. А.В. Панину, к.б.н. М.А. Бронниковой за совместную полевую работу, к.г.н. Г.С. Самойловой за консультации при составлении ландшафтной карты-схемы, друзьям и родителям за поддержку.

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕНИЯ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ЛАНДШАФТА. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Раздел 1.1. Структурно-функциональная организация ландшафта

Теоретические представления о структурно-функциональной организации ландшафта опираются на системный подход и на представления о трех круговоротах (геологическом, циркуляционном, биогеохимическом).

С позиций системного подхода ландшафт представляет собой незамкнутую геосистему с определенной «структурой связи» компонентов и элементарных геокомплексов, которая сенсорно реагирует на внешние по отношению к нему гидротермические изменения в природной среде и антропогенные воздействия (Макунина, 2010). Связи определяет поверхностный и подземный сток, биогеохимический круговорот вещества и энергии, геологический круговорот веществ. Круговороты обеспечивают функциональную устойчивость и природную целостность ландшафта.

Основными механизмами, определяющими структурно-функциональную организацию геосистем, выступают их инертная (минеральный субстрат), мобильная (водные, воздушные и минеральные потоки вещества и энергии) и биолого-биогеохимическая составляющие (Козловский, 1972; Крауклис, 1977; Солнцев, 1981).

В ландшафтоведении известна модель структурно-функциональной организации ландшафта, предложенная почвоведом и геохимиком Ф.И. Козловским как концепция «миграционной структуры ландшафта» (Козловский, 1972). Немного позже концепцию Ф.И. Козловского дополнили представления А.А. Крауклиса о природной организации геосистем (Крауклис, 1977). Обе теории основываются на системном изучении ландшафта как целостного природного объекта.

Инертная составляющая – минеральный (литолого-геоморфологический) субстрат, фиксирующий положение геосистемы на земной поверхности, обособливающий геосистему в геопространстве,

задающий пути гравитационной транспортировки вещества, влияющий на интенсивность потоков. Мобильная составляющая – водные, воздушные и минеральные потоки вещества и энергии. Биолого-биогеохимическая составляющая – биота геосистемы (организмы, межорганизменные связи и радиальные взаимосвязи растительности и микроорганизмов с минеральным субстратом). Инертная, мобильная и биолого-биогеохимическая составляющие – параметры подчинения, согласно синергетическим представлениям, то есть с их помощью можно описать процессы функционирования между природными компонентами и геокомплексами. Каждая из трех составляющих природной организации геосистем определяется типом круговорота вещества и энергии.

В концепции «миграционной структуры ландшафта» Ф.И. Козловского инертная составляющая выступает консервативной (каркас) и определяет совокупность миграционных потоков и струй вещества (Макунина, 2010). Мобильные компоненты геосистемы – это латеральные потоки, обеспечивающие транзитный гравитационный перенос веществ параллельно поверхности склона – главный механизм геохимического сопряжения элементарных ландшафтов, сменяющих друг друга вниз по катене. Мобильная составляющая рассматривается как звено общей миграционной структуры ландшафта. Биолого-биохимическая составляющая у Козловского выступает основным миграционным циклом в общей миграционной структуре ландшафта, определяет функциональную устойчивость, тесную связь между компонентами и их биотические, физические и геохимические свойства. Любое внешнее воздействие ведет к функциональным нарушениям в основном миграционном цикле, вызывая перестройку биогеохимического цикла и изменения свойств компонентов (Макунина, 2010).

Под структурно-функциональной организацией ландшафта (геосистемы, экосистемы) Ф.И. Козловский понимает пространственно-временные совокупности элементов и связующие их процессы радиального и латерального массоэнергообмена (Козловский, 2003).

В модели структурно-функциональной организации геосистемы А.А. Крауклиса мобильная составляющая выполняет не только транзитную, но и обменную функцию. Процесс обмена веществом и энергией осуществляется через радиальную и латеральную миграцию вещества. Мобильность в геосистему вносят энергия Солнца и процессы, возбуждаемые силовыми полями Земли и космического пространства, скрытые в самой геосистеме источники разных видов энергии. Это определяет тесную энергетическую связь геосистемы с ее внешней средой. Пути и интенсивность внутриландшафтных водно-воздушных потоков контролирует литогенный каркас геосистемы. Биота выступает самостоятельной функциональной структурой геосистемы. Она поддерживает экологическую устойчивость «участков ландшафтной сферы», что выражается в системной согласованности функционирования биоты и абиотических компонентов ландшафта (Макунина, 2010).

В.Н. Солнцев также опирается на три типа круговорота веществ (геологический, циркуляционный и биологический), но, совмещая их в одном геопространстве, представляет их независимыми друг от друга. В отличие от Ф.И. Козловского и А.А. Крауклиса, В.Н. Солнцев отрицает системную целостность ландшафта и развивает концепцию полиструктурности (Солнцев, 1981; Дьяконов, Солнцев, 1998), где участок любого размера есть сочетание суперпозиционно (независимо) совмещенных трех парциальных ландшафтных структур. В понимании В.Н. Солнцева каждый их трех типов круговоротов создает соответствующий тип структуры связей – тип ландшафтной структуры, визуально отличающийся своим ландшафтным узором:

1. Геостационарная структура (инертная составляющая геосистем). Включает минеральный субстрат, стволы и корни, массы воды в связанном состоянии, замкнутые линзы подземных вод. Характеризуется ячеистым (мозаичным) узором, выделяется по азональной дифференциации поверхности, геоморфологическим уровням.

2. Геоциркуляционная структура (мобильная составляющая геосистем). Образована латеральными потоками вещества и энергии. Потоковые узоры обладают расплывчатыми и линейно-струйчатыми очертаниями в границах бассейнов (векторный рисунок).

3. Биоциркуляционная структура (биолого-биогеохимическая составляющая) – биота на организменном уровне, контролируемая солнечной энергией, с присущим изопотенциальным узором.

Каждая структура сформирована соответствующим механизмом структуризации и сама состоит из сочетания различных монокомпонентных структур. На одной территории узоры разных типов ландшафтных структур совместимы только на уровне элементарных геокомплексов. Из этого представления вытекает отрицание В.Н. Сонцевым ландшафта как природного единства – целого. Идеи полиструктурности развивались в работах К.Г. Рамана (Раман, 1972), Э.Г. Коломыца (Коломыц, 1998), А.Ю. Ретеюма (Ретеюм, 1975).

Три рассмотренные модели методологически опираются на системный подход и на представления о трех круговоротах (геологическом, циркуляционном, биогеохимическом) – составляющих структурно-функциональной организации.

Известна также модель Н.Л. Беручашвили (1986, 1990), согласно которой ПТК состоят из структурно-функциональных частей (геомасс) с определенной массой, специфичным функциональным назначением, скоростью изменения и перемещения во времени и пространстве. Структурно-функциональные части могут быть активными (перемещаться в пространстве, увеличиваться или уменьшаться в своем количестве), пассивными или стабильными (не перемещаться и не изменяться, но участвовать в процессах функционирования), инертными (не принимать участия). Одни и те же части могут быть стабильными, активными инертными в разные промежутки времени. Например, растительность в короткие промежутки времени – стабильная часть. За сезон или год она

активна. Компонент – носитель массы. Компонент может включать элементы нескольких геомасс. Воздух содержит сухой воздух (аэромасса) и водяной пар (гидромасса). Компонент – природное тело, характеризующееся преобладанием какой-либо одной геомассы. Однородные слои, характеризующиеся специфичным набором и соотношением геомасс, включают все наблюдаемые в слое компоненты, образуют геогоризонты.

В данной работе под структурно-функциональной организацией ландшафта вслед за А.А. Крауклисом понимаются элементы морфологической структуры (геокомпоненты и геокомплексы), связанные процессами функционирования (инерционными, радиальными и латеральными вещественно-энергетическими потоками).

Раздел 1.2. Методология изучения структурно-функциональной организации ландшафта

Изучение структурно-функциональной организации ландшафта предполагает исследование трех ее составляющих (механизмов): инерционной, миграционной, биолого-биогеохимической. Такие исследования требуют инструментальных измерений вещественно-энергетических потоков, организации сети измерений и обработки результатов измерений.

Наиболее развиты методы выделения и картографирования инерционных структур ландшафта – ландшафтное картографирование на основе сочетания типологического и генетического подходов дифференциации ландшафтной сферы.

Для изучения миграционных и биогеохимических механизмов необходимы прямые и косвенные инструментальные измерения вещественно-энергетических потоков. Прямые измерения интенсивности и направленности вещественно-энергетических потоков (спектрометры, пульсационные измерения, расходы в реке, альбедометры и др.) между разными средами позволяют косвенно оценить изменение запасов вещества и энергии в этих средах. Балансовые измерения запасов вещества и энергии в

разных средах (лизиметрические измерения испарения, геохимические потоки, камерный метод измерения дыхания почв, дендроиндикация) позволяют косвенно оценить интенсивность и направленность потоков между ними. В исследовательских программах сочетаются оба метода измерений. Так, при воднобалансовых задачах интенсивность осадков, испарения и подземного стока измеряется напрямую, а интенсивность поверхностного стока рассчитывается по уравнению водного баланса. При пульсационных прямых измерениях потоков углерода и водяного пара получают балансовые оценки изменений запасов этих газов в экосистемах за разные периоды времени.

В основе изучения миграционного механизма лежит комплексная ординация на основе балансовых стационарных наблюдений на ландшафтных трансектах в сочетании со средствами дистанционного зондирования. Биогеохимический механизм изучается методами физико-математического моделирования вертикальных потоков на основе измерений в реальном времени на комплексных стационарах (градиентные вышки, пульсационные измерения и др.). Наиболее сложно технически и экономически организовать изучение функциональной целостности гетерогенных геосистем.

Одна из первых программ целенаправленного изучения структурно-функциональной организации геосистем была разработана в Институте географии СО РАН под руководством В.Б. Сочавы в 60-е гг. XX в. В качестве базового метода используется комплексная ординация – сопряженное изучение природных режимов через синхронные наблюдения, измерения, отбор проб в различных геосистемах, проводимые с определенной повторностью. Одновременно проводится анализ связей между компонентами геосистем и в их сочетаниях – пространственных рядах. При комплексной ординации систематизируются и количественно оцениваются все главнейшие соотношения между компонентами геосистемы, выявляются ведущие факторы интеграции компонентов. В полевые работы входит

составление топографического плана трансекта, геоморфологического и геоботанического плана. В типичных позициях располагаются наблюдательные площадки. На площадках ежедневно измеряется температура воздуха и почвы, радиационный баланс, определяется pH почвы и содержание в ней CO₂, содержание веществ по геохимическим зонам. С интервалом в две недели измеряется влажность почвы, продуктивность надземной массы травостоя, определяется ферментативная активность и др. Дважды за лето фиксируется водопроницаемость почв. Большие массивы данных обрабатываются статистическими методами, делаются выводы о перераспределении вещества в сопряженных геосистемах. Однако современные исследования ведутся по сокращенной программе, что не позволяет судить о структурно-функциональной организации изучаемых систем.

Развитием методов комплексной ординации стало представление об элементарных почвенных процессах (ЭПП), сформулированное И.П. Герасимовым (Герасимов, 1973) и развитое Ф.И. Козловским (Козловский, 2003) в виде представления об элементарных ландшафтных процессах (ЭЛП).

Концепция ЭПП заключается в возможности представить многообразие почвообразовательных процессов как комбинацию ограниченного числа более простых составляющих – элементарных почвообразовательных процессов, каждый из которых поддается диагностике и прогнозированию. Понятие «элементарный ландшафтный процесс» (содонакопление, эрозия, галогенез и др.) вводится для описания изменений геосистем, обусловленных внешними факторами – климатическими, биотическими, воздействиями окружающих частей литосферы, осуществляемых по геохимическим каналам. Различие между ЭПП и ЭЛП заключается в том, что область развития ЭПП – почвенное тело, ЭЛП – большая часть геосистемы, в том числе почвенный покров.

Структурно-функциональная организация ландшафта изучается на полустационарах кафедры физической географии и ландшафтоведения под руководством К.Н. Дьяконова: пространственно-временная изменчивость природных процессов, их синхронность и асинхронность, биологическая продуктивность природных территориальных комплексов (ПТК) и ее факторы, эффективность использования ФАР растительным покровом, структурно-функциональные особенности болот и лугов, обоснование принципов выделения и иерархия суточных и сезонных состояний ПТК, определение последовательности смен состояний и др. (Дьяконов, Солнцев, 1998); и И.И. Мамай: построение теории динамики ландшафта, разработка диагностических признаков состояния ПТК, их фаз и подфаз развития, выявление основных и производных фациально-динамических рядов и их устойчивости (Мамай, 2005). Такие исследования регулярны, но не непрерывны.

В настоящее время систематическое непрерывное изучение структурно-функциональной организации геосистем ведется на стационарах сети LTER (www.illter.net.edu) и FLUXNET (www.fluxnet.ornl.gov).

Сеть LTER (Long Term Ecological Research Network) включает 26 стационаров в Северной Америке и Антарктиде, на которых изучается структура первичной продукции, возможность ее прогнозирования, влияние продукционных процессов на другие компоненты, круговорот органических веществ в трофических цепях и неорганических веществ в экосистеме (почве, поверхностных и грунтовых водах, воздушной среде), динамика катастрофических природных процессов (пожары, наводнения, засухи и др.)

FLUXNET – международная сеть метеорологических станций (548 измерительных вышек по всему миру), где систематически исследуются радиальные процессы биогеохимического функционирования элементарных геосистем. На станциях измеряют круговороты биогенных газов (CO_2 , CH_4 и др.), водяного пара и энергии между экосистемой и атмосферой. Для областей осреднения потоков вокруг вышек с помощью спектрорадиометра

MODIS определяются характеристики структуры и функционирования подстилающей поверхности. Несколько раз в месяц проводится измерение стратификации приземного слоя воздуха с помощью самолетных измерений. Программа FLUXNET включает подробное описание природных условий в районе исследовательских вышек (рельеф, климатические параметры, растительный покров, почвы); количественное измерение пространственных различий в содержании CO_2 и водяного пара внутри и между геосистемами, определение климатических градиентов; изучение динамики и периодичности потоков энергии, углекислого газа и водяного пара, объяснение влияния параметров подстилающей поверхности (растительного и снежного покрова, метеорологической обстановки и др.) на них; поиск взаимосвязи между количественным изменением вышеуказанных потоков и изменениями прихода солнечной радиации, температуры, влажности почвы, фотосинтетического потенциала, структуры лесного полога и др.

Обработка результатов измерений проводится двумя способами:

- Физико-математическое моделирование соподчиненных вещественно-энергетических потоков между функциональными биомами (выпадение осадков – перехват осадков пологом леса – поверхностный/подземный сток – интегральный сток). Используется для обеспечения прямых измерений и обработки их результатов. Результативно при описании элементарных физико-химико-биологических процессов и некоторых частных процессов (перехват осадков, инфильтрация влаги в почву и др.), но неустойчивые результаты при описании интегральных, многосоставных ландшафтных процессов (сток, эвапотранспирация, биологическая продуктивность и др.).
- Экспертное и вероятностно-статистическое моделирование (градиентный анализ, комплексная ординация, ландшафтная индикация) процессов функционирования проводится по принципу «черного ящика», когда внутренние взаимодействия и структура связей в геосистеме рассматриваются в общем виде. Этот подход более доступен за счет изучения входных и выходных величин элементов геосистемы (влажность на входе –

трофность субстрата на выходе, приток радиации на входе – продуктивность травостоя на выходе и т.п.). Подход более доступен в реализации, но дает только качественные оценки параметров функционирования.

Результаты описанных проектов иллюстрируют связь показателей функционирования от показателей морфологической структуры, что доказывает функциональную целостность географических систем. Однако, во всех исследованиях приняты допущения по упрощению моделей.

Ввиду отсутствия в России сети систематических непрерывных наблюдений за структурно-функциональной организацией, активно развиваются индикационные методы, которые базируются на положении о взаимосвязанности и взаимообусловленности компонентов геосистемы, когда изменение одних приводит к ответной реакции других, и на поиске свойств компонентов, выступающих индикаторами таких изменений. Тот компонент системы, который отражает изменение другого компонента ввиду тесного сопряжения, выступает индикатором, скрытый от непосредственного наблюдения компонент называют индикатором (Викторов, Чикишев, 1985). Выбор индикаторов определяется задачами, временным и пространственным разрешением исследований. К числу индикационных методов относятся дендрохронологический, палинологический, педологический методы, лессовая и озерная стратиграфия и др.

Раздел 1.3. Понятие «режим функционирования геосистемы». **Методы изучения природных режимов**

Под природным режимом геосистемы А.А. Крауклис понимал ход природных процессов и состояния образуемых процессами систем (Крауклис, 1975), В.Б. Сочава – распорядок смены функциональных состояний геосистемы внутрисуточной, сезонной и погодичной продолжительности (Крауклис, 1975), И.И. Мамай – смену набора процессов функционирования и их интенсивности во времени (Мамай, 2005), А.Г. Исаченко – устойчивую смену состояний геосистемы в пределах суточных и годовых циклов (Исаченко, 1991),

Концепция природных режимов геосистем разрабатывалась в работах В.Б. Сочавы (Сочава, 1969), А.А. Крауклиса (Крауклис, 1975). Согласно модели А.А. Крауклиса, геосистема состоит из транзитной (поток энергии, воздуха, влаги) и фиксированной (активная биота, пассивная почва и литогенная основа) составляющих (Крауклис, 1975). Транзитные потоки обеспечивают связь геосистемы с внешней средой и поддерживают существование фиксированной части, которая, в свою очередь, запечатлевает влияние транзитной составляющей, обладает саморегуляцией, обеспечивает устойчивость системы. Активная биота закрепляет вещество и энергию в процессе своей жизнедеятельности. Быстрое обновление и спонтанная подвижность биоты (рост, размножение и смена поколений у растений; миграции у животных) – важные механизмы саморегуляции, участвующие в поддержании устойчивости. Пассивный минеральный субстрат сам по себе не способен обновляться, его динамика связана с действием гравитации, транзитных потоков и биоты, приводящим к трансформациям геохимического потенциала и физико-механических свойств субстрата и образуемого ими рельефа. Трансформация проявляется в превращении минерального субстрата в почву, занимающую промежуточное положение между активными и пассивными составляющими геосистемы.

Взаимодействие транзитной и фиксированной частей в разном временном масштабе порождает состояния системы и их смены, определяет набор процессов и их ход, то есть режим геосистемы.

Проблема изучения природных режимов была поставлена в Институте географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. В.Б. Сочава считал изучение режимов актуальным направлением структурно-динамического направления ландшафтоведения (Сочава, 1969). А.А. Крауклис подчеркивал важность исследования взаимодействия транзитной и фиксированной частей геосистемы (Крауклис, 1975). Задача таких исследований сформулирована как «установление упорядоченности колебания процессов, сопутствующей их взаимодействию, выяснение главнейших состояний геосистем,

возникающих и сменяющих друг друга в ходе этих колебаний, характеристика отношений между состояниями, определение функциональной роли каждого из них в сохранении геосистемой своих постоянных, инвариантных свойств и в ее перестройке». То есть, изучая природные режимы, предполагается установить способы естественной упорядоченности тех состояний, возникновение и смена которых обусловлены взаимодействием транзитной и фиксированной частей геосистемы (Крауклис, 1975).

Актуальная проблема современного структурно-функционального ландшафтоведения – методика выделения ритмов функционирования геосистемы и организация таких исследований. Природный режим геосистемы – результат взаимодействия частных режимов, принципы интеграции которых должны изучаться на стационарах путем согласованных регулярных одновременных наблюдений высокой точности. Современные российские стационарные исследования лимитированы финансово-организационными возможностями и в настоящее время не обладают необходимой приборной базой. В международном научном сообществе работают проекты FLUXNET, LTER. В сети международных измерений используется экосистемный подход американской школы ландшафтной экологии, согласно которому продукционный процесс выступает индикатором функционирования природной системы.

В геосистемной концепции российского ландшафтоведения при отсутствии стационарных исследований изучение функционирования основано на изучении частных процессов, характеризующих частные режимы. Результат взаимодействия частных процессов отражает связь транзитной и фиксированной частей геосистемы. Так, при совмещении метеорологической, гидрологической информации и сезонных полевых данных наблюдений за динамикой природных комплексов, на полустационаре Лесуново выделяют их состояния: многолетние, годовые, сезонные, соответствующие режимам функционирования (Мамай, 1992). Для

выделения состояний также используются индикаторы изменения режимов функционирования: стока в замыкающем створе (Тарасова, 2011), фенологические фазы (Кузнецова, 2011). Н.Л. Беручашвили предлагал выделять состояния на основе рассмотрения ландшафта как набора состояний элементарных ПТК и на основе пространственно-временного синтеза геомасс и геогоризонтов на уровне ландшафта, однако результаты получены только при совмещении состояний доминантных и субдоминантных фаций (Беручашвили, 1986, 1990). Такие исследования требуют длительных рядов наблюдений за одним или несколькими параметрами.

Перспективным представляется использование в качестве индикаторов естественных архивов данных, например, годовых колец деревьев, широко применяемых для реконструкции климатического (Wilson et al., 2012; Dendroclimatology, 2011; Долгова, Соломина, 2010; Esper et al., 2002; Naurzbaev et al., 2002; Fritts, 1976), гидрологического (Boucher et al., 2011; Wiles et al., 2006; Meko, 2006), геоморфологического (Stoffel et al., 2008; Gärtner, 2007; Fantucci, 2007; Gärtner et al., 2004) режима. В данной работе приводится попытка индикации режима продукционного процесса геосистем по ширине годовых колец.

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДЕНДРОИНДИКАЦИИ

Раздел 2.1. Основные положения дендроиндикации

Термин «дендроиндикация» введен Н.В. Ловелиусом в 1970 г. как способ оценки изменчивости природных условий и антропогенных воздействий по приросту деревьев (Ловелиус, 1979). Смысловое содержание понятия «дендроиндикация» совпадает с термином «дендрохронология», широко используемым в мировой и российской науке. Дендрохронология – наука о датировании годовичных колец деревьев и интерпретации заключенной в них информации о влиянии биологических, экологических и географических факторов на величину прироста древесины, плотность, анатомическую структуру и химический состав колец (Kännel, Schweingruber, 1995; Шиятов, Ваганов и др., 2000). В данной работе используется термин «дендроиндикация» для усиления акцента интерпретации сигнала годовичного кольца, нежели датирования.

Измеренные характеристики последовательных годовичных колец (ширина, плотность и т.д.), усредненные по нескольким сериям измерений, выраженные в виде функции времени с плавающей или абсолютной датировкой, образуют древесно-кольцевую хронологию (Kännel, Schweingruber, 1995). Древесно-кольцевая хронология представляет собой дискретный временной ряд длительностью от нескольких лет до многих тысячелетий, характеризующий показатели годовичного прироста, физико-механические свойства, анатомическую структуру и химический состав в стволах, ветвях, корнях деревянистых растений (преимущественно у деревьев и крупных кустарников). Дискретность хронологии обусловлена сезонностью роста деревьев в умеренных и некоторых тропических широтах.

В зависимости от целей исследования используют:

- 1) индивидуальные хронологии – полученные по одному дереву (датировка исторической и археологической древесины, катастрофических событий в лесу);

- 2) обобщенные хронологии – построенные по большому числу деревьев, принадлежащих к одному или нескольким видам и произрастающих в одном или нескольких типах местообитания (реконструкция климатических или гидрологических условий).

В зависимости от масштаба анализа выделяют: локальные, региональные и глобальные хронологии (Шиятов, Ваганов и др., 2000).

Хронология может быть непрерывной, охватывающей целостный отрезок времени, и прерывистой – характеризующей определенные календарные годы или отдельные интервалы времени (Шиятов, Ваганов и др., 2000).

Методологические принципы дендрохронологических исследований:

1. Принцип актуализма (или униформизма): события и явления прошлого происходили по тем же законам и принципам, по которым происходят в настоящем, то есть, изучая современные факторы окружающей среды, обуславливающие изменения в росте деревьев в настоящем, можно судить о сходных факторах в прошлом (Fritts, 1976). Принцип обосновывает использование древесно-кольцевых хронологий для реконструкции условий окружающей среды в прошлом.

2. Принцип лимитирующего фактора: на рост растения наибольшее влияние оказывает тот фактор среды, который является наиболее ограниченным или недостаточным, т.е. находится в минимуме. Данный принцип является частным проявлением закона фактор-минимума К. Либиха. Если минимальный фактор переходит в разряд оптимальных, скорость роста будет увеличиваться до тех пор, пока другой фактор (или факторы) не станет лимитирующим (Шиятов, Ваганов и др., 2000).

3. Принцип совместного действия факторов роста: конкретный прирост (R) за один год (t) является функцией совокупного действия факторов (Methods of Dendrochronology, 1990):

$$R_t = A_t + C_t + \delta D1_t + \delta D2_t + E_t$$

A – нормальный годовой прирост, соответствующий возрасту дерева;

С – климатические факторы, влияющие на прирост в течение данного года;

D1 – воздействие автохтонного характера, возникающее внутри растительного сообщества (гар-динамика, конкуренция, вспышки вредителей);

D2 – воздействие аллохтонного характера, внешнего для лесного сообщества (рубки, ветровалы, пожары);

Е – случайный процесс, не сводящийся к вышеперечисленным.

Коэффициент δ перед D1 и D2 обозначает отсутствие (0) или наличие (1) возмущающего сигнала.

4. Принцип экологической амплитуды (принцип чувствительности): растения наиболее чувствительны к факторам окружающей среды на границах своих ареалов (Шиятов, Ваганов и др., 2000).

5. Принцип массовости (повторности): использование информации не с одного, а с определенного числа модельных деревьев. Общепринято в пределах одного местообитания отбирать образцы с 15-30 деревьев (в экстремальных условиях роста достаточно 10–15), а с каждого дерева – по двум радиусам (Шиятов, Ваганов и др., 2000).

6. Принцип перекрестного датирования. Деревянистые растения, произрастающие в пределах однородного в климатическом отношении района, сходно реагируют величиной прироста на изменения климатических факторов: в благоприятные по климатическим условиям годы у большей части деревьев формируются широкие кольца, в неблагоприятные – узкие, поэтому, сопоставляя серии приростов (или других характеристик кольца) нескольких образцов между собой, можно идентифицировать серии, относящиеся к одному возрасту. Чередование узких, средних и широких колец неповторимо во времени, поэтому максимально возможная синхронность в приросте между разными деревьями наблюдается лишь в том случае, если графики изменения прироста будут совмещены строго хронологически (Шиятов, Ваганов и др., 2000).

Широкое использование дендрохронологического метода обусловлено (Шиятов, Ваганов и др., 2000):

- высокой разрешающей способностью древесно-кольцевых хронологий (год и сезон года) благодаря наличию хорошо различимых регистрирующих структур – годовичных колец;
- возможностью абсолютной и относительной датировки времени формирования годовичных колец, как у живых, так и у мертвых деревьев;
- возможностью получения как прямой (характеристики величины прироста, структуры, состава древесины, параметры пространственно-временной динамики экосистем), так и косвенной информации (реконструированные параметры условий внешней среды);
- возможностью получения длительных непрерывных хронологий (сотни и тысячи лет);
- наличием в древесно-кольцевых хронологиях сильных сигналов, объясняемых изменчивостью внешней среды;
- возможностью выявлять колебания различной длительности (погодичные, внутривековые, вековые) в изменчивости различных характеристик прироста деревьев и определяющих прирост факторов внешней среды;
- возможностью получения информации для огромных территорий суши, где растут или росли в прошлом древесные растения;
- возможностью получения массового материала и широкого использования математико-статистических методов для оценки и анализа древесно-кольцевых хронологий.

Ограничения применимости дендрохронологических методов (Шиятов, Ваганов и др., 2000):

- на разных стадиях онтогенеза прирост по-разному реагирует на изменение одних и тех же факторов внешней среды;
- высокая вероятность воздействия случайных факторов;
- длительность реконструкции определяется возрастом хронологии;

- метод применим только для регионов с наличием древесного яруса и выраженными сезонами года;
- невозможно точно датировать кольца, полученные с одного дерева или небольшого количества деревьев и проводить реконструкцию.

Раздел 2.2. История развития дендроиндикации: отраслевые и комплексные исследования

Первых исследователей годовых колец интересовало влияние климата на радиальный прирост деревьев (Битвинскас, 1974): Леонардо да Винчи, XV в. (связь ширины годовых колец с осадками), Карл Линней, XVI в. (связь теплового режима в северных районах и ширины годовых колец), А. Покорни (XIX в., методика определения метеорологических коэффициентов по годовому приросту), Х. Мартин и А. Браве (поиск наилучших климатических условий для роста корабельных сосен Швеции). В XIX веке наряду с дендроклиматическими исследованиями проводилось биологическое изучение годовых колец: Т. Хартиг (XIX в., первое биологическое исследование годовых колец), Штрасбургер (термины ранняя и поздняя древесина, влияние освещенности на прирост), Р. Хартиг (продолжительность вегетационного периода, температура, осадки, плодоношение, освещенность), Де Кандолле и Ортенблад (конец XIX в., убывание ширины годовых колец с возрастом – кривая роста).

В России первые дендрохронологические работы (XIX в.) проводили А.Ф. Миддендорф, А.Н. Бекетов (1868, влияние внешних условий на прирост), Ф.Н. Шведов (реконструкции засух по годовым кольцам).

Научная дисциплина «дендрохронология» сформировалась в начале XX века на стыке биологии, климатологии, гелиогеофизики и археологии. Основателем дендрохронологии считается американский астроном А.Е. Дуглас (Шиятов, Ваганов и др., 2000), работавший над разработкой методов использования древесно-кольцевых хронологий для реконструкции климатических и гидрологических условий, выявления связей между приростом и солнечной активностью, датировки исторической и

археологической древесины. А. Дуглас ввел термин «дендрохронология», метод перекрестного датирования, организовал первую в мире Лабораторию исследования годичных колец деревьев в университете Аризоны (США).

В других странах дендрохронологические лаборатории появились спустя 30 лет. Основоположителем европейской дендрохронологии считают немецкого биолога Бруно Хубера, основавшего немецкую дендрохронологическую школу (пространственно-временные древесно-кольцевые хронологии для разных районов Европы, метод измерения погодичной несогласованности и др.). Одна из передовых в Европе – Швейцарская дендрохронологическая школа (Фритц Швайнгрубер). С середины XX века дендрохронологические научные школы существуют в Скандинавских странах, Великобритании, Италии. Современная география дендрохронологических исследований охватывает практически весь мир: Турция, Индия, Китай, Япония, Новая Зеландия, Бразилия, ЮАР и др. (Беляков, 2001).

В России и СССР после статьи Ф.Н. Шведова «Дерево как летопись засух» (1892), специальных дендрохронологических работ практически не проводилось вплоть до 1950-60-х гг. XX века. Всплеск произошел в 1960-70-х годах (Р.В. Бобровский, В.А. Афанасьев, В.Г. Турков, В.А. Рахов, К.Н. Дьяконов, В.П. Селезнев, К.А. Кудинов, А.Г. Емельянов и др.). В настоящее время дендрохронологические лаборатории работают в Красноярске (Е.А. Ваганов), Екатеринбурге (С.Г. Шиятов, Г.Е. Комин), Иркутске (В.И. Воронин), Москве (О.Н. Соломина). Российские дендрохронологи активно сотрудничают с зарубежными учеными в выполнении совместных проектов.

В целом, в XX веке преобладали дендроклиматические (главный фактор изменчивости годичных колец – погодные условия) и собственно дендрохронологические (датирование различных событий прошлого) исследования, в том числе дендроархеологические (Горошкевич, 2007). В конце XX века в дендроклиматологии был обнаружен феномен дивергенции

– аномального снижения чувствительности ширины и плотности годовичных колец к температурам в северных приполярных регионах во второй половине XX века (D'Arrigo et al., 2008). Дивергенция проявляется у значительной части деревьев, начиная с 1950-1970-х гг., иллюстрирует смену ведущего фактора в ходе продукционного процесса. Среди возможных причин приводятся: засуха при уменьшении количества осадков; нелинейность отношений с глобальным потеплением; задержка в снеготаянии, связанное с ней изменение сезонности; локальные факторы: крутизна, экспозиция, глубина промерзания; разный вклад максимальной и минимальной температуры в среднюю и их разное значение для продукционного процесса; локальное загрязнение; «глобальное затемнение» – уменьшение количества фотосинтетически активной солнечной радиации в связи с загрязнением атмосферы, методические проблемы при стандартизации и построении хронологий, ошибки в инструментальных данных и моделировании (D'Arrigo et al., 2008; Esper, Frank, 2009). Открытие этого феномена поставило под вопрос достоверность реконструкций полярных летних температур и температур северного полушария, справедливость принципа униформизма, привлекло внимание к сложности сигнала, заключенного в кольце, его комплексности и многофакторности. Наличие явления дивергенции иллюстрирует смену ведущего фактора продукционного процесса.

В конце XX века направления дендрохронологических исследований вышли за рамки дендроклиматологии и дендроархеологии. Современную дендрохронологию М. Кеннел и Ф.Н. Швайнгрубер (1995) подразделяют (рис. 1) на дендроархеологию (датирование древесного материала) и дендрозкологию (использование продатированных годовичных колец для изучения экологических проблем и анализа внешних факторов изменчивости приростов).

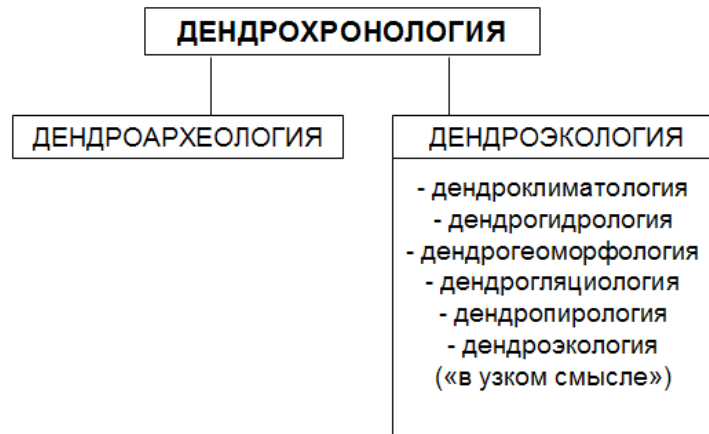


Рис. 1. Структура дендрохронологии по M. Kännel, F.N. Schweingruber (1995)

В числе разделов дендрозкологии в зависимости от предмета исследования выделяют дендроклиматологию (реконструкция климата), дендрогидрологию (водные потоки, наводнения, изменение уровня грунтовых вод), дендрогеоморфологию (установление времени вулканических извержений, датировка оползней и скорости склоновых процессов и т.д.), дендрогляциологию (датирование морен, схода лавин и селей, движение ледников), дендропирологию (датирование лесных пожаров). Отдельно выделяют дендрозкологию «в узком смысле» (по Н. Fritts) как раздел о влиянии на прирост внутренних и внешних для данного сообщества факторов (конкуренция, антропогенные факторы), дендроокеанографию (изучение направления и скорости океанских течений по дрейфующей древесине), дендроэнтохронологию (изучение вспышек численности насекомых-вредителей) (Беляков, 2001).

В настоящее время выделяют «дендрозкологию» в общем смысле: как науку об экологии древесных растений, и «дендрозкологию» в узком смысле (по Н. Fritts): раздел дендрохронологии, изучающий влияние на прирост внешних и внутренних факторов сообщества.

С.Г. Шиятов, Е.А. Ваганов и др. (2000) изначально определяют дендрохронологию как экологическую дисциплину, раздел биоиндикации. Они выделяют «собственно дендрохронологию» (датирование годовичных

колец) и отраслевые разделы: дендроклиматология, дендрогидрология и т.д. (Шиятов, Ваганов и др., 2000). Представители сибирской школы дендрохронологии также называют работы с применением дендрохронологического метода дендроиндикационными (Журавлева, 2002; Малышева, Быков, 2011). Л.И. Агафонов (2011) называет метод древесно-кольцевой индикацией (Шиятов, Ваганов и др., 2000). На кафедре физической географии и ландшафтоведения МГУ имени М.В.Ломоносова использование древесно-кольцевого сигнала как индикатора продукционного процесса в геосистемах называют ландшафтной дендрохронологией (Дьяконов, Беляков, 2005).

Тематика дендрохронологических исследований по всему миру очень разнообразна. Анализируется ширина, плотность, анатомическое строение годовичных колец, соотношение изотопов. Долгое время преобладал однофакторный подход к древесно-кольцевому сигналу. Принцип лимитирующего фактора, заложенный основателем дендрохронологии А. Дугласом, стал основным при выборе места отбора образцов. Исследователь отбирает образцы в соответствии с типом исследуемого сигнала: климатический, гидрологический, геоморфологический и т.д. При обработке данных выбираются методы, выделяющие только интересующий тип сигнала, другая информация, содержащаяся в кольце, рассматривается как «шум», в анализе не используется. Результатом анализа чаще всего является реконструкция.

С начала XXI века в международной дендроэкологии возрос интерес к исследованию климатического отклика в разных ландшафтных (геоморфологических) позициях при разной структуре растительного сообщества в связи с изменениями климата для разработки изменений в управлении лесным хозяйством (Eaton et al., 2012; Fernández-de-Uña, 2012; Linke, 2012). Ставятся вопросы о необходимости включения хронологий из разных местообитаний в региональную и глобальную хронологии (Hughes, 2012). Развиваются комплексные исследования с использованием различных

палеогеографических данных для реконструкции изменений окружающей среды в прошлом (годовые кольца живой и погребенной древесины, озерные отложения, споры и пыльца растений и др.) (Edvardsson, 2012; Solomina et al., 2007; Shapley et al., 2005). В России совместно исследуются региональные и локальные факторы приростов (рис. 2), в том числе трансформация регионального отклика неоднородностью ландшафтных условий (Велисевич, Хуторной, 2009; Бабушкина и др., 2010, 2011; Кузнецова, Козлов, 2011; Табакова и др., 2011; Николаев, Скачков, 2012).

В ландшафтоведении на рубеже XX и XXI веков была предпринята попытка комплексного многофакторного рассмотрения сигнала годового кольца, появилось направление «ландшафтная дендрохронология» (Дьяконов, Беляков, 2005).

Задачи ландшафтной дендрохронологии (Дьяконов, Беляков, 2005):

1. Определение временной и пространственной изменчивости характеристик элементарных геосистем и их функционирования.
2. Установление степени корректности применения теоремы эргодичности или эргодических закономерностей в ландшафтоведении.
3. Выявление пространственно-временной синхронности (асинхронности) процессов на внутриландшафтном уровне (степени проявления закона количественной компенсации в функциях биосферы А.Л. Чижевского).
4. Установление внутривековых ритмов функционирования.
5. Поиск факторов, определяющих величину биопродуктивности.

Ландшафтно-дендрохронологические работы посвящены изучению пространственно-временных ритмов функционирования геосистем (Беляков, 2003, 2004; Дьяконов, Беляков, 2005; Бочкарев, Дьяконов, 2009; Бочкарев, 2012) и факторов изменчивости продукционного процесса (Бочкарев, 2012; Кузнецова, Козлов, 2011). При первом подходе выделяются ритмы функционирования геосистем, интерпретируются с позиции факторов глобального (солнечная активность) и регионального характера (климат),

анализируется синхронность изменчивости продукционного процесса в геосистемах разного ранга. При втором подходе выделяются компоненты изменчивости приростов, интерпретируются, рассчитывается вклад автохтонных и аллохтонных факторов в общую изменчивость приростов.

Развитие дендрохронологического метода в ландшафтоведении видится в индикации режимов продукционного процесса геосистем по данным годовичных колец деревьев. Решению этой проблемы посвящена данная кандидатская диссертация.

Раздел 2.3. Физиологический процесс роста деревьев

2.3.1. Структура годовичных колец

Годичные кольца деревьев, видимые на спиле (рис. 2), составляют древесину (ксилему). Они образуются в результате активной деятельности камбия в вегетационный период. Деление клеток камбия происходит на протяжении всей жизни дерева.

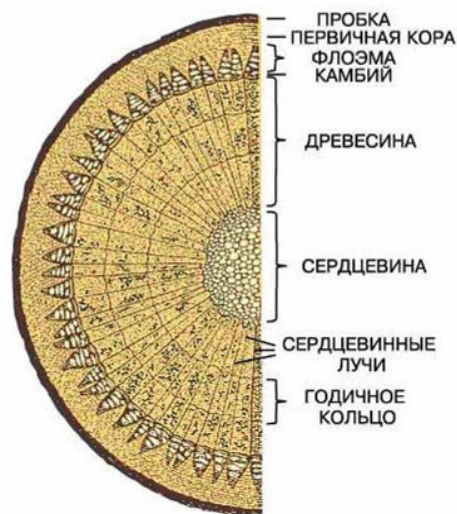


Рис. 2. Радиальное поперечное строение ствола

За сезон между ксилемой (древесиной) и флоэмой камбий образует несколько слоев клеток, способных к ограниченному делению: ксилемные или флоэмные материнские клетки. При делении из двух дочерних клеток камбия одна остается меристематической – способной к дальнейшему делению, а вторая дифференцируется: если она лежит снаружи от камбия, то

переходит в элемент флоэмы, если с противоположной стороны – в клетку ксилемы. Так происходит ежегодный рост стебля в толщину.

У хвойных пород, произрастающих в умеренной зоне, годовичные кольца хорошо различимы в связи с различным анатомическим строением трахеид и сосудов, произведенных камбием в начале и в конце вегетационного периода. Из-за строгой сезонной периодичности роста древесных растений, произрастающих в умеренной зоне, у них образуется одно годовичное кольцо за сезон. В начале вегетационного периода (весна, начало лета) у хвойных формируются крупные тонкостенные клетки (ранняя древесина), а в середине и в конце лета – мелкие толстостенные клетки (поздняя древесина). Слои ранней и поздней древесины различаются по размерам, форме клеток, цвету и плотности. Внутри одного кольца переход между слоями ранней и поздней древесины постепенный, между клетками поздней древесины предыдущего кольца и ранней древесины последующего кольца – резкий. Это связано с образованием на границе терминальной древесины, состоящей из тонкого слоя толстостенных клеток, сплюснутых в радиальном направлении.

В результате перечисленных процессов под влиянием внешних факторов в конкретный год в определенном месте отдельного дерева образуется структура годовичного кольца.

2.3.2. Факторы радиального прироста деревьев

Механизм реакции растения на изменение географических и экологических факторов иллюстрирует рис. 3. Географический сигнал (изменение количества осадков, значений температуры) преобразуется в экологический сигнал (влажность почв, недостаток влаги), на который реагирует растение. Результат цепочки реакций растения на изменение условий существования – формирование узкого годовичного кольца.

Биологические факторы

Генетические особенности – группа внутренних факторов, определяющих рост и форму деревьев. В основе роста любого живого

организма лежит обмен веществ. Процессы метаболизма направлены на поддержание структур, объема, массы.

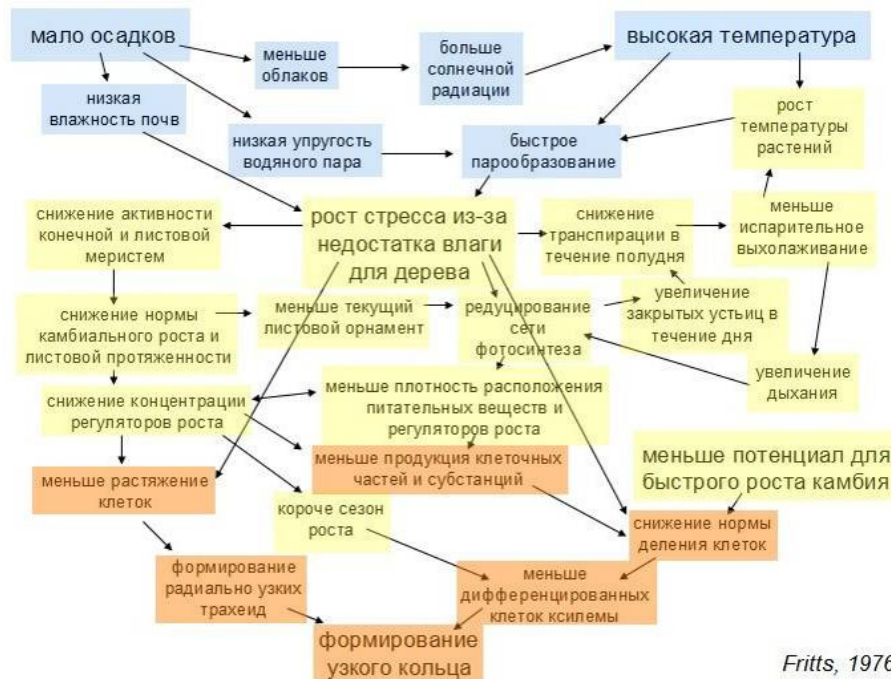


Рис. 3. Механизм реакции дерева на изменение климатических условий (Fritts, 1976)

Рост растения необратим и продолжается в течение всей жизни, прерываясь периодами относительного покоя. Периоды покоя носят циклический характер (сезонный цикл), могут быть вызваны внешними факторами, но контролируются внутренними факторами, заложенными генетически. Генетика определяет ход дифференцировки, появление структурной и функциональной специализации новых клеток и дальнейший рост клеток (Vaganov, Hughes, Shashkin, 2006). Генетически определена средняя продолжительность жизни определенного вида деревьев, однако, у каждого конкретного дерева она будет индивидуальна (Schweingruber, 1996).

Возраст. В жизни деревьев выделяют несколько возрастных состояний, особый интерес из которых представляют ювенильное и сенильное (Леопольд, 1968). Ювенильное состояние – время энергичного роста, во время которого рост подчиняется экспоненциальному закону. Сенильное состояние – стадия старения, которым завершается жизнь дерева (дополнительно квазисенильное).

Время старения заложено генетически. В этом отношении можно говорить о генетической обусловленности продолжительности жизни. Однако у разных видов в разных условиях произрастания стадия старения наступает в разное время. Это необходимо учитывать при дендрохронологических исследованиях, поскольку на разных этапах жизни дерево по-разному реагирует на воздействие внешних факторов (Шиятов, Ваганов и др., 2000).

С возрастом связаны общие закономерности радиального прироста (рис. 4).

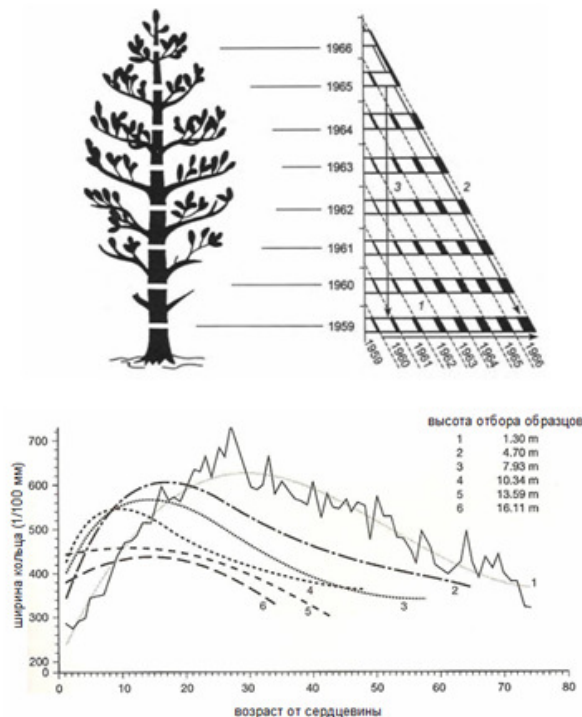


Рис. 4. Влияние возраста на радиальный прирост деревьев.

Максимальный прирост на высоте 10-16 м достигается раньше, чем в нижней части стебля (Vaganov, Hughes, Shashkin, 2006; Schweingruber, 1996)

На кривых радиального прироста ювенильное и сенильное состояние четко различаются. Из-за высокой частоты деления клеток, большей величины роста растяжением и активного роста вторичных клеточных стенок, в ювенильном состоянии ширина годовичных колец возрастает почти экспоненциально. С началом периода старения общий тренд скорости радиального прироста меняет направление в сторону постепенного

снижения. Эта тенденция наблюдается сначала в верхней части ствола, затем «снижается» (Schweingruber, 1996).

Эколого-географические факторы

Абиотические факторы

Свет – основной источник энергии для процесса фотосинтеза, часто проявляет себя как лимитирующий внешний фактор, влияет на рост растения в целом и на радиальный прирост в частности. При отсутствии света или листьев процесс фотосинтеза прекращается. Если такое изменение не связано с годичным циклом растения, то оно может привести к остановке роста, а при большой длительности – к гибели растения. К существенному снижению прироста приводит также резкое увеличение освещенности. Для получения необходимого количества ФАР при ее недостатке у растений выработались адаптации, например, фототропизм – изменение направления роста органов растений в направлении источника света, который связан с деятельностью гормонов.

Гидротермический режим. Температура и осадки – основополагающие факторы в жизни растений, которыми определяется и лимитируется радиальный прирост деревьев. Биохимические реакции в растениях протекают в узком диапазоне температур (0-50°C). В интервале температур 0-15°C наблюдается быстрый подъем в росте, 15-30°C – медленный подъем, выше 30°C – спад. При повышении температуры на 10°C скорость роста повышается в 2 раза. При более высоких температурах темпы роста растений снижаются.

Температура, как и свет – фактор, определяющий процесс фотосинтеза. Фотосинтез идет при температурах 0-40°C. У деревьев умеренной зоны максимум интенсивности фотосинтеза приходится на 15-20°C. Влияние температуры на фотосинтез связано с интенсивностью света, концентрацией CO₂ в воздухе, водным режимом территории, предшествующим влиянием факторов внешней среды (Крамер, Козловский, 1983). Значимы экстремальные изменения температур, заморозки (Леопольд, 1968).

Оптимальные условия для осуществления вегетации большинством видов – среднесуточные температуры более +10°C. Это значение лежит в основе показателя «суммы активных температур».

Живые растительные клетки на 80-90% состоят из воды. Вода выполняет функции растворителя, транспорта, роль субстрата для фотосинтеза, служит главным структурным компонентом белков и нуклеиновых кислот, продуктом дыхания (Леопольд, 1968).

Дефицит воды влияет на все физиологические процессы в растении, поэтому засухи часто являются фактором, ограничивающим годичный прирост деревьев. Избыток влаги, подтопление, приводящие к ухудшению аэрации почвы, блокируют поступление кислорода через корневую систему, что ведет к снижению прироста и, в конечном счете, к гибели растения. В умеренном поясе северного полушария засухи лимитируют распространение леса на южной границе. Лимитирующий фактор на северной границе леса – температура.

Температурный и водный режим территории тесно взаимосвязаны, поэтому влияние гидротермических факторов на радиальный прирост деревьев можно рассматривать совместно. В начале вегетационного периода, когда влаги в почве достаточно, производство ксилемных клеток камбием ограничивают низкие температуры. Ночная температура оказывает большее влияние на деление камбиальных клеток, чем дневная. В наиболее теплом месяце – июле, температура не выступает лимитирующим фактором при производстве клеток ксилемы камбием, но при этом существует некоторый максимум температур, выше которого активность камбия падает. Потребность в осадках для камбиальной деятельности определяется запасом влаги в стволе, ее расходом на транспирацию и другие процессы (Ваганов, Терсков, 1977).

Важен закон минимума Либиха. Растения, произрастающие в условиях постоянной влажности и температур в течение года, чутко реагируют на малейшие изменения этих показателей (Schweingruber, 1996).

Минеральное питание. Элементы минерального питания попадают в растения через корневую систему в виде водных растворов и поднимаются вверх по ксилеме. Наиболее важные элементы для растений – азот, калий, фосфор – их подвижные формы. Наличие карбонатов в почве улучшает условия произрастания. Радиальный прирост в таких условиях будет больше. На границе местообитаний с разным содержанием карбонатов радиальный прирост будет зависеть от колебаний уровня карбонатных грунтовых вод.

Ветер. При рассмотрении данного фактора важно учитывать постоянство потока, направление, скорость, порывистость, их изменение в течение суток и года. Географическое положение местопроизрастания – побережье, горный хребет, долина – определяет перечисленные выше показатели. На радиальный прирост может оказывать влияние наличие снега, дюн песка, брызг морских солей. Ветер влияет как на отдельно стоящие деревья, так и на древостои в целом (рис. 5). В древостоях скорость ветра уменьшается. Сила ветра различна в периоды с листвой и без листвы. Ветры оказывают влияние на форму кроны и ствола дерева. Сильные постоянные ветры уменьшают рост в высоту и радиальный прирост (Schweingruber, 1996).

Биотические факторы

Внутривидовая и межвидовая конкуренция. Растения конкурируют за свет, влагу, минеральное питание. Повышение густоты древостоя уменьшает общий прирост древесины и изменяет его распределение в стволе и ветвях. Эти изменения – результат поздней инициации камбиального роста, раннего прекращения и уменьшения продолжительности роста в нижних частях ствола в условиях жесткой конкуренции. Господствующие деревья не только растут быстрее, но отличаются большей, чем угнетенные, продолжительностью ростового сезона. Влияние конкуренции на радиальный прирост деревьев в сторону его уменьшения наблюдается у молодых деревьев, в то время как в хронологиях 4000-летних сосен и 500-летних лиственниц следов конкуренции не наблюдается (Schweingruber, 1996).

Одиноко стоящие деревья и разреженные посадки конкуренции не подвержены.

Воздействие насекомых-вредителей. Проявляется в поедании насекомыми органов растений, в особенности листьев, с чем связано снижение или прекращение процесса фотосинтеза, нарушение транспорта веществ, блокирование деятельности меристем. Вспышки численности насекомых могут носить циклический характер. Воздействие насекомых проявляется в уменьшении ширины годичного кольца текущего либо следующего года. В такие годы поздняя древесина может не сформироваться (Кучеров, 1990).

ГЛАВА 3. ПРИРОДНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КЛЮЧЕВОГО РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

Раздел 3.1. Общая характеристика

Терехольская котловина – небольшая межгорная впадина, примыкающая к северо-восточному склону нагорья Сангилен, расположена в юго-восточной части Терехольского кужууна республики Тыва (51°с.ш., 97°в.д.) (Bronnikova et al., 2010). Абсолютная высота днища 1300–1360 м. Горное обрамление поднимается до 1600–1700 м (рис. 5, 6).

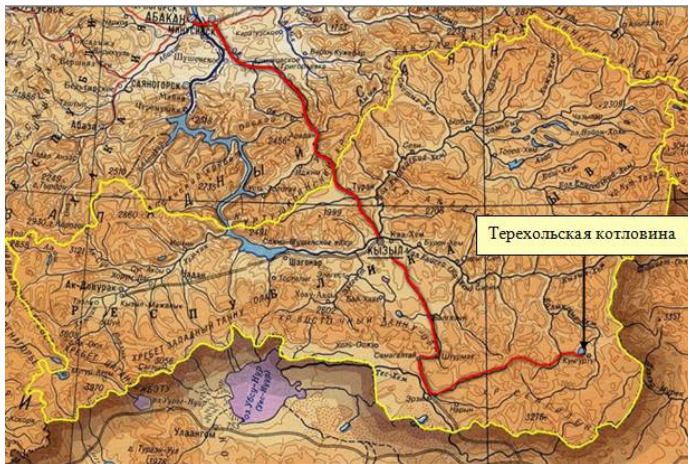


Рис. 5. Положение Терехольской котловины на карте Республики Тыва

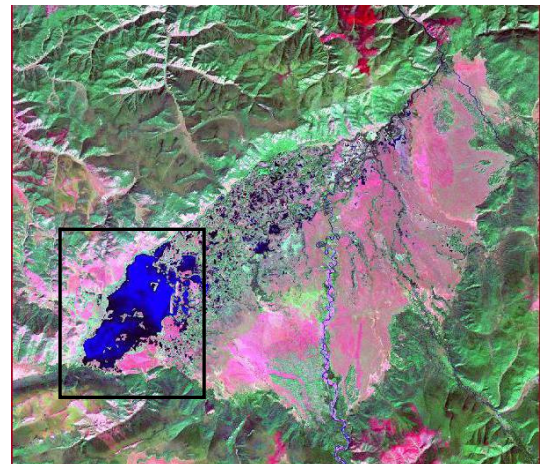


Рис. 6. Изображение Терехольской котловины и ключевого района исследования на космическом снимке LANDSAT 7 (4 сентября 2002)

Согласно Ландшафтной карте СССР (1998) А.Г. Исаченко изучаемая территория представляет собой среднегорные суббореальные лиственничные и кедрово-лиственничные ландшафты складчато-глыбовых гор Южной Сибири. По карте физико-географического районирования СССР (1986) район исследования находится в пределах физико-географической страны Горы Южной Сибири, Сангиленской провинции, Тувинской горной области.

Г.С. Самойлова в районировании трансграничных территорий гор юга Сибири относит данную территорию к Алтае-Хангае-Саянскому региону, Алтае-Саянской стране, Тывинской области, Сангиленской провинции (рис. 7).



Рис. 7. Положение ключевого района исследования на карте физико-географического районирования гор юга Сибири (Самойлова, 2009)

Условные обозначения

Границы

—	физико-географических стран
- - -	физико-географических областей
— · — · —	физико-географических провинций

Индексы регионов

Б	стран
III	областей
8	провинций

- - - - - государственные границы

Страна: А. АЛТАЕ-САЯНСКАЯ*Области I. Алтайская***Провинции:**

1.Прителецкая, 2. Ануйско-Чергинская, 3.Чарышско-Башцелакская, 4.Бухтарминско-Убинская, 5.Маркакольская, 6. Катунско-Теректинская, 7. Чулышманская, 8. Укокско-Чуйская

*II. Монгольско-Алтайская***Провинции:**

9.Табын-Богдо-Улинско-Ховдинская, 10. Чингильская, 11.Ачитнурско-Улгийская, 12. Монгун-Тайгинско-Хархаринская, 13. Булганско-Мунх-Хаирхан-Улинская

*III. Тывинская***Провинции:**

14. Куртушибинско-Усинская, 15. Центрально-Тывинская, 16. Танну-Ольская, 17. Тоджинская, 18. Каахемская, 19. Сангиленская

*IV. Саянская*Подобласть Восточно-Саянская**Провинции:**

20. Окинская, 21. Китойско-Тункинская, 22.Восточно-Саянская, 23. Тогульско-Удинская, 24. Манско-Казырская

Подобласть Минусинская**Провинции:**

25. Чулымо-Енисейская, 26. Южно-Минусинская,

Подобласть Западно-Саянская

27. Абакано-Онская, 28. Араданская, 29. Амыльская

*V. Кузнецко-Салаирская***Провинции:**

30. Салаирская, 31. Кузнецкая котловинная, 32. Кузнецко-Алатаусская, 33. Горно-Шорская

Б. БАЙКАЛЬСКАЯ*VI. Прихубсугульская***Провинции:**

34. Улан-Тайгинская, 35. Дархатско-Хубсугульская, 36. Тункинская (котловинная)

В. ЦЕНТРАЛЬНО-МОНГОЛЬСКАЯ*VII. Котловина Больших Озер***Провинции:**

37. Убсунурская, 38. Хиргиснурская, 39. Шаргинская, 40. Тайширнуринская

Г. ХАНГАЙСКО-ХЭНТЕЙСКАЯ*VIII. Хангайская***Провинции:**

41. Хан-Хухэйская, 42. Музенская, 43. Ойгон-Нурская, 44. Центрально-Хангайская

Раздел 3.2. Геолого-геоморфологические условия. Тектоника. Рельеф

Терехольская впадина относится к малым суходольным впадинам байкальского типа, представляет собой расширенную часть системы тектонических погружений в подошве западного крыла Байкальской рифтовой зоны. Сформировалась не позже плиоцена. По геофизическим данным, кристаллическое основание впадины находится на глубинах от 300 м до более 700 м (Потапов, 1955ф; Панин и др., 2012). На современном этапе впадина имеет складчато-глыбовое строение. Расположена в зоне сопряжения двух региональных тектонических элементов: рифейского Сангиленского массива Тувино-Монгольского микроконтинента на востоке и

причленившегося к нему с запада более молодого, раннепалеозойского, Восточно-Тоннуольского блока (Васильев и др., 1997). Границей между тектоническими элементами считается ограничивающий Терехольскую котловину с северо-запада Агардагский (Агардаг-Эрзинский) глубинный разлом (рис. 8), заложенный в эпоху байкальской складчатости и характеризующийся новейшей активностью (Зонненштайн и др., 1990). Окончательное оформление структурного плана шовной зоны произошло в позднекаледонское время, сопровождалось магматической деятельностью, региональным метаморфизмом. Ромбовидные очертания впадины говорят о ее развитии по механизму сдвигового рифта (Репкина, 2008ф).

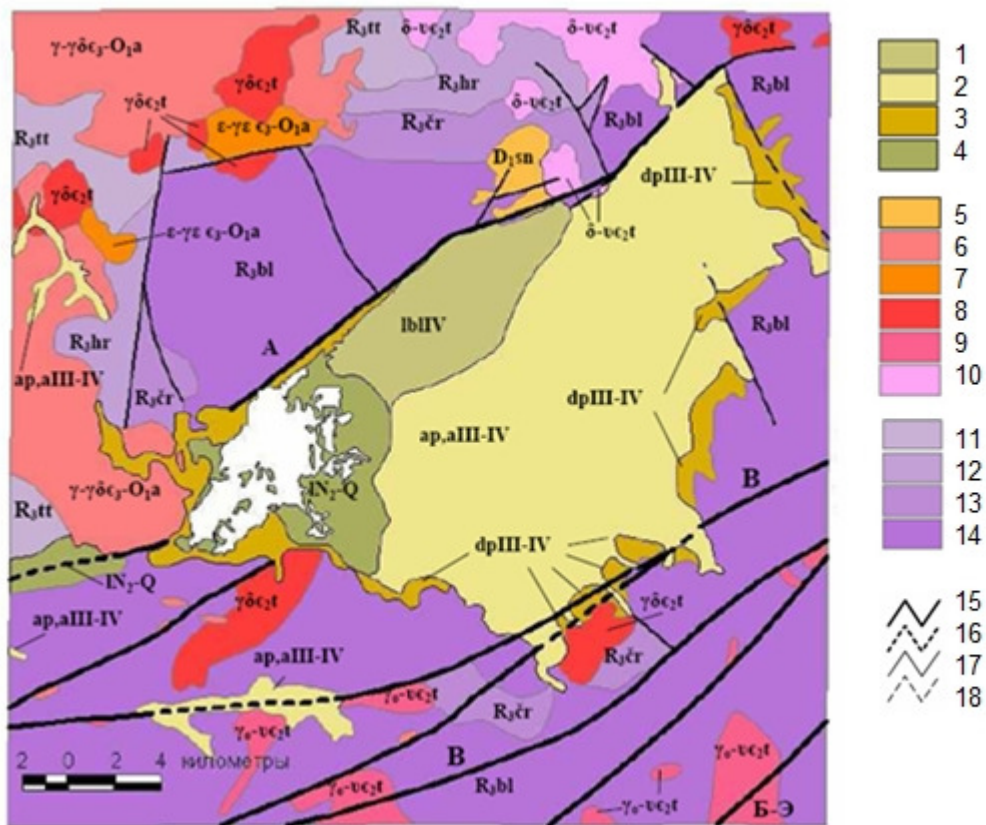


Рис. 8. Схема геологического строения района Терехольской котловины (Геологическая карта СССР, М 1:200 000..., 1961, Государственная геологическая карта СССР, М 1: 200 000, 1985, Матросов, 1993ф, Струнин, 2005ф)

Условные обозначения:

кайнозойские отложения:

голоценовые:

1 — озерно-болотные торфяники, илы, суглинки (IbIV);
верхнечетвертичные и голоценовые нерасчлененные:

2 – аллювиальные и аллювиально-пролювиальные галечники, пески, супеси, валунники (ар, аIII-IV),

3 – делювиально-пролювиальные щебнистые суглинки, галечники (дрIII-IV);

плиоцен-четвертичные:

4 – озерные пески, суглинки (IN₂-Q);

палеозойские интрузии:

среднепалеозойские:

5 – сангиленский комплекс – нефелиновые, щелочные и кварцевые щелочные сиениты (ε D₁sn);

раннепалеозойские:

арголикский комплекс:

6 – биотитовые граниты и гранодиориты (γ-γδε₃-O_{1a}),

7 – сиениты и граносиениты (ε-γε ε₃-O_{1a});

таннуольский комплекс:

8 – гранодиориты и плагиограниты (γδε₂-t),

9 – плагиограниты – габбро (γ₀-v ε₂-t),

10 – кварцевые диориты, габбро-диориты и габбро (δ-v ε₂-t);

верхний рифей:

11 – **балыктыгхемская** свита – мраморизованные известняки, мраморы (R₃bl),

12 – **чартысская** свита – мраморы, сланцы амфиболовые и пироксеновые, кварциты, гнейсы (R₃čr),

13 – **харальская** свита – амфиболитовые и эпидот-амфиболитовые сланцы (R₃hr),

14 – **тумматайгинская** свита – алевролиты, песчаники, аргиллиты, туффиты, эффузивы, ортосланцы (R₃tt);

разломы:

региональные:

15 – достоверные,

16 – скрытые под четвертичными отложениями;

локальные

17 – достоверные,

18 – скрытые под четвертичными отложениями.

Буквами обозначены региональные разломы: А – Агардагский (Агардаг-Эрзинский), В – Водораздельный, Б-Э – Балыктыгхемско-Эмбийский

На юго-востоке и востоке борта котловины ограничены одной из ветвей Водораздельного разлома, на северо-востоке – безымянным разломом северо-западного простирания, на юге – разломом субширотного простирания. Таким образом, западный и восточный борта котловины

относятся к региональным структурам с разным строением и историей (Репкина, 2008ф). Горное обрамление котловины на востоке сложено карбонатными и терригенно-карбонатными отложениями балыгтыкхемской и чертысской свит нарынской серии, датированными поздним рифеем (рис. 8), на западе – отложениями нарынской серии и перекрывающими их вулканогенно-терригенными породами харальской и тумматаягинской свит позднерифейского возраста (рис. 8).

Для Сангиленского массива и Восточно-Тоннуольского блока, начиная с докембрия, характерен разный тектонический режим (Уфлянд и др., 1969; Васильев и др., 1997). В настоящее время Сангиленский массив развивается как сводовое поднятие, активно воздымающееся со скоростью до 25 мм/год; Восточно-Тоннуольский блок представляет собой зону линейного коробления, разбитую сетью разломов на воздымающиеся и опускающиеся блоки. В последние десятилетия Восточно-Тоннуольский блок опускается со скоростью 6 мм/год. В новейшее время впадину ограничивают: на северо-западе интенсивно воздымающийся блок по системе взбросов и смещающийся на северо-восток (правый сдвиг), на востоке – дифференцированно воздымающееся крыло сводового поднятия, на юге – блок, поднятие, которого началось после раннечетвертичного времени и составило 100 м, на севере – блок, испытывающий умеренное дифференцированное поднятие. К зонам пересечения СВ разломов и СЗ разрывных нарушений приурочены участки новейшего тектонического дробления. Характер движения бортов отражается в морфоструктуре днища (Репкина, 2008ф).

В плане Терехольская котловина имеет клиновидную форму – расширяется к югу и сужается на северо-восток, что отражает рисунок сети ограничивающих ее разломов. Днище впадины имеет асимметричное строение. На севере и востоке его перекрывают мощные конуса выноса Балыктыг-Хема. К западу от центральной оси котловины выделяется плоскодонная впадина клиновидной формы, повторяющая общую форму

котловины, занятая пресным, проточным озером Тере-Холь и прилегающими к нему с северо-востока озерно-аллювиальными термокарстовыми комплексами. Выровненность рельефа указывает на длительно протекающие процессы аккумуляции, вызванные опусканием этой части дна котловины. Юго-западный блок впадины, занятый озером Тере-Холь, погружается особенно интенсивно. Особенности геоморфологического строения днища указывают на замедленное погружение восточного «суходольного» блока, на молодые погружения «заозеренного» блока с падением интенсивности с юго-запада на северо-восток, на возможное продольное расширение впадины на северо-восток за счет блокового дробления горного обрамления. Эти обстоятельства позволяют полагать, что восточная и западная части впадины наследуют особенности новейшей динамики горного обрамления (Репкина, 2008ф).

В современную эпоху отмечается относительная сейсмическая пассивность Терехольской впадины, что может быть следствием относительно недавней разрядки напряжений в локальных сейсмогенерирующих очагах (не более 200 лет назад). Всего в котловине известно три палеосейсмических события: в IX в., в XII в., в XIX в. Предполагается, что землетрясения происходят, в среднем через 500 лет (Панин, 2011).

Терехольская котловина выполнена плиоцен-четвертичными озерными, озерно-болотными, аллювиально-пролювиальными и делювиально-пролювиальными отложениями мощностью до 200 м. Кайнозойские отложения почти повсеместно перекрывают вершинные поверхности и склоны горного обрамления котловины. Нерасчлененные плиоцен-четвертичные отложения образованы озерными (IN_2-Q) и иловатыми суглинками (рис. 8). На западе котловины они перекрыты маломощным чехлом современных, преимущественно озерных, осадков, на востоке – аллювиально-пролювиальными отложениями позднечетвертичного голоценового возраста. Видимая мощность озерных отложений около 4 м.

Отложения верхнечетверичного и голоценового возраста представлены нерасчлененными делювиально-пролювиальными (dpIII-IV), аллювиально-пролювиальными и аллювиальными (ap, aIII-IV), элювиальными и склоновыми образованиями. Делювиально-пролювиальные отложения прерывистой полосой окаймляют Терехольскую котловину, мощность отложений: 1,5-2 м вдоль северо-западного борта котловины, 8-30 м – шлейфы на востоке котловины.

Аллювиально-пролювиальные и аллювиальные верхнечетверичные отложения развиты на юго-востоке Терехольской котловины и в долинах крупных рек ее горного обрамления. Аллювиально-пролювиальные отложения формируют крупные конуса выноса, мощность от 10 до 200 м. Отложения террас высотой 10-12 м и 5-7 м в долинах крупных рек района относят к послеледниковому времени. Аллювий низких террас имеет двучленное строение: 0,5 м – первые метры – пески, супеси, суглинки с небольшим количеством гальки; ниже – песчано-гравийно-галечные отложения, частично с примесью суглинистого материала. Элювиальные и склоновые отложения почти непрерывным чехлом перекрывают вершинные поверхности и склоны горного обрамления котловины. Мощность чехла 1-6 м. Для среднегорного пологосклонного рельефа (западный борт котловины) присущ бурый суглинистый элювий с обилием щебня и обломками коренных пород. Для высокогорного рельефа (юго-восточное, восточное горное обрамление) характерен грубообломочный, несортированный щебнистый элювий. Большая часть интрузивных пород перекрыта чехлом грубообломочного элювия. Осадочные и метаморфические породы, в основном, перекрыты мелкощебнистым суглинистым элювием.

Голоценовые отложения представлены озерно-болотными (IbIV), озерными (IV) и аллювиальными (aIV) образованиями. Видимая мощность озерно-болотных отложений 10 м. Голоценовые озерные отложения перекрывают плиоцен-четвертичные озерные осадки. Аллювиальными

голоценовыми отложениями сложены поймы и русла рек. Видимая мощность пойменных отложений 2 м.

Дно Терехольской впадины в юго-западной части представляет собой пологонаклонную к центру впадины водно-ледниковую (зандровую) равнину, в которую вложено озеро Тере-Холь. Осаднонакопление прекратилось из-за полной деградации ледника. Далее поверхность водно-ледниковой равнины подвергалась пучению (в днище впадины встречаются бугры пучения) и термокарстовому расчленению. Выделяется слабо расчлененная (берега озера Тере-Холь) и сильнорасчлененная (северо-восточное продолжение озера) части. Вблизи озера заандровая равнина образует наиболее высокую террасовую ступень (третья озерная терраса) высотой 2-4 м над уровнем озера. Сильнорасчлененная часть представляет собой озерно-термокарстовую равнину, где первичная заандровая равнина сохранилась в виде отдельных останцов. Озерно-термокарстовая равнина расчленена палеоруслами и термокарстовыми котловинами, сухими и занятыми озерами. Расчленение связывают с общим потеплением климата в голоцене (Панин, Шеремецкая, 2008ф).

Озеро Тере-Холь окаймляют озерные террасы: первая озерная терраса высотой до 0.5 м позднеголоценовая и вторая озерная терраса высотой до 1 м ранне-среднеголоценовая (Панин, Шеремецкая, 2008ф).

Озерные острова представляют собой образования, возникшие в позднем голоцене в местах локальных поднятий озерного дна, вызванных, мерзлотными процессами (Панин, Шеремецкая, 2008ф).

Горное обрамление котловины представлено склонами среднегорий (до 350 м над урезом) разной экспозиции, холмами и цепями групп холмов.

Раздел 3.3. Климат

Климат Терехольской котловины относится к резко выраженному континентальному типу с продолжительной суровой малоснежной зимой и теплым коротким летом (32 дня). Ведущие факторы активности физико-географических процессов территории: широтное положение, радиационный

баланс подстилающей поверхности, положение в центре Азии на большом удалении от морей и океанов. На формирование погодных и климатических условий влияют горный рельеф, высота над уровнем моря, положение в межгорной депрессии, часть которой занята озером (Суркова, 2008ф).

На рис. 9 и в таблице 1 представлены характерные средние годовые показатели метеорологического режима района исследований. Значения получены по данным станционных наблюдений (Климат СССР, 1967, 1969, 1970), при отсутствии таковых – по климатическим картам (Климат России, 2001) и данным Climate Research Unit TS 2.1. (http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/hrg/timm/grid/CRU_TS_2_1.html).

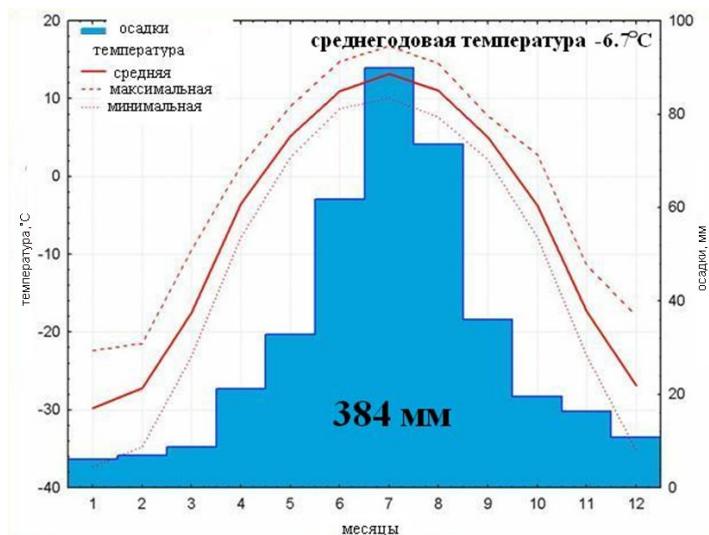


Рис. 9. Климатограмма Терехольской котловины
(по данным CRU 2.1,
http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/hrg/timm/grid/CRU_TS_2_1.html)

Таблица 1.

Средние годовые показатели метеорологического режима
Терехольской котловины

	Показатель	Значение
1.	Радиационный баланс	2014 МДж/м ² (2)
2.	Средняя годовая температура воздуха	-6,7°C
3.	Средняя годовая температура подстилающей поверхности	-4 °C и ниже (1)
4.	Средняя продолжительность безморозного периода на ровном открытом месте в метеорологической будке	32 сут (1)
5.	Годовое количество осадков	384 мм (1)
6.	Доля жидких осадков, % от годовой суммы	70-80 (2)
7.	Доля твердых осадков, % от годовой суммы	10-20 (2)
8.	Средний суточный максимум осадков	30-40 мм (2)
9.	Годовая продолжительность осадков	1000 ч (2)

10.	Средняя годовая интенсивность осадков	0,4 мм/ч (4)
11.	Среднее число дней со снежным покровом за зиму	200 сут. (2)
12.	Средняя декадная высота снежного покрова	29 см (1)
13.	Среднее годовое количество общей облачности	6 баллов (2)

1 – ст. Кунгур-Тук (Климат СССР, 1967, 1969, 1970)

2 – карты (Климат России, 2001)

Холодный период года (температура воздуха ниже 0°C, октябрь – апрель). Более 100 дней в году средняя температура воздуха не превышает -20°C. Самые холодные месяцы – декабрь и январь со средней месячной температурой воздуха -27...-30°C. Средний минимум, характеризующий ночную температуру, на 5-6°C ниже средней суточной температуры.

В холодный период над Тывой и севером Монголии находится центр азиатского антициклона. Повторяемость антициклонов может достигать 20-25 дней в месяц. Циклоны проникают крайне редко. Резко выраженный суточный ход связан с ясной погодой в антициклональных условиях, приводящей к интенсивному выхолаживанию подстилающей поверхности. С ноября по март температура может опускаться ниже -50°C. Наблюдаются мощные и частые температурные инверсии. Оттепели в зимние месяцы наблюдаются только в феврале. Среднее число дней без солнца (с октября по апрель) – 21 день (преимущественно ноябрь и декабрь). Зимой преобладает малооблачная погода, среднее фоновое альбедо наибольшее в январе-декабре (66-68%). Отрицательные значения радиационного баланса наблюдаются в ноябре-январе. Перепад среднего атмосферного давления от января к июлю превышает 30 гПа (Суркова, 2008ф).

В холодное время осадков выпадает крайне мало. При годовой сумме 323 мм (табл. 1) с ноября по март выпадает только 46 мм, это осадки в исключительно твердом виде. Причина сухости также связана с антициклональной погодой. Сложный горный рельеф препятствует проникновению влаги в котловину. Снежный покров появляется во второй декаде октября и сохраняется до середины апреля. На вершинах, подветренных и северных склонах снежный покров устанавливается раньше, чем на наветренных и южных склонах. Максимальная мощность – 27 см. В

октябре средняя температура почвы составляет 0°C. В связи с выхолаживанием температура поверхности почвы может понижаться до -45°C. Наибольшая глубина промерзания почвы - 1,5 м, наблюдается в марте-апреле-мае. Характерно большое количество штилей – 50% случаев во все месяцы года. Отчетливо выражено преобладание ветров западных румбов, в холодный период значительно влияние юго-восточного направления. Средние скорости ветра в холодный период не превышают 0,3 м/с. При малом влагосодержании воздуха 2-4 раза в месяц в холодный период случаются туманы, что связано с антициклональной погодой с частыми штилями. Это приводит к мощному радиационному выхолаживанию и значительному снижению температуры вплоть до точки росы. Метели наиболее вероятны в марте, наблюдаются нечасто (Суркова, 2008ф).

Теплый период (апрель – начало ноября). Атмосферная циркуляция над югом Восточной Сибири определяется полем пониженного атмосферного давления. По мере увеличения высоты Солнца возрастает поток приходящей к подстилающей поверхности радиации. Разрушение азиатского антициклона в конце зимы приводит к увеличению балла облачности. В летние месяцы отражательная способность составляет 21-23%. Весной заметно возрастает доля ветров с западной составляющей. К середине и концу лета увеличивается влияние С и Ю направлений. Скорости ветра возрастают до 1-1,5 м/с. В теплый период суточный ход выражен ярче, чем в холодный период. Одна из особенностей ветрового режима Тувы - развитие фенов. Лето жаркое. Осень короткая и сухая. В сентябре часты ночные заморозки, но днем температура может значительно повышаться до 30°C. Максимальная средняя месячная температура в июле +15°C, уже в октябре она становится отрицательной, -4°C. Отрицательные значения температуры могут наблюдаться во все месяцы года. В самом теплом месяце – июле – абсолютный минимум – -7°C. Большая высота Солнца в этих широтах летом приводит к значительному прогреву поверхности, поэтому максимальные значения температуры составляют 22-29°C. Максимальные среднемесячные

значения температуры поверхности почвы в июле составляют 23°C. Наименьшие значения температуры поверхности могут быть отрицательными в течение всего теплого периода. С активной летней циклонической деятельностью связано большое количество атмосферных осадков. В летние месяцы выпадает 55-65 мм/мес. Осадки теплого периода составляют 85% годовой суммы осадков. В жидком виде осадки выпадают только в летние месяцы, весной и осенью возможны осадки смешанного типа. На наветренных склонах осадков выпадает больше, чем на подветренных склонах. Баланс осадков и испарения заметно меняется в течение теплого времени года. Существенный дефицит атмосферного увлажнения наблюдается в мае, июне и сентябре. Июль и август сбалансированы по увлажнению. Весенний дефицит атмосферного увлажнения лишь в небольшой степени восполняется талыми водами (запас воды в снежном покрове составляет всего 51 мм) и грунтовой влагозарядки за счет таяния сезонной мерзлоты. Однако, перед началом промерзания в октябре, когда среднемесячная температура поверхности почвы переходит через 0°, осадков мало (чуть больше 40 мм), коэффициент увлажнения в предморозные месяцы снижается до 0,7 и осенней влагозарядки почвы фактически не происходит. В летний период возрастает повторяемость туманов, достигая максимума в августе-сентябре. В июле часто наблюдаются грозы – в среднем 13 дней с грозами в месяц. Активной грозовой деятельности способствует мощная конвекция воздуха над прогретой поверхностью и горный рельеф (Суркова, 2008ф).

Глобальные тенденции роста температуры четко проявляются в районе исследования. Средняя по региону скорость увеличения температуры воздуха составляет зимой 0.34-0.43 C/10 лет, весной 0.24-0.26 C/10 лет, летом 0-0.11 C/10 лет, осенью 0.13-0.20 C/10 лет. Основной вклад в изменение средних годовых значений вносит потепление в зимний период. Весенние тренды больше, чем осенние. В районе исследования тенденция к потеплению климата проявляется на протяжении всего XX века, в то время

как в среднем по России – на протяжении последних 30-40 лет (Сохранение биоразнообразия..., 2012; Суркова, 2008ф). Тренды изменения температуры и осадков проанализированы в главе 4, раздел 4.3.

Раздел 3.4. Мерзлотные условия

Терехольская котловина расположена в южной части криолитозоны России, Согласно районированию М.М. Шаца (1978) относится к Тувинскому восточному геокриологическому району, к провинции редкоостровного и островного распространения многолетнемерзлых пород Алтае-Саянской горной страны.

Мерзлотные условия в котловине (распространение мерзлоты, криогенное строение, сезонное протаивание или промерзание на талых породах) в большей степени связаны с ландшафтными условиями: высотным положением, составом пород, гидроморфностью ландшафтов, нежели с климатическими факторами. Многолетнемерзлые породы занимают не менее 70% плоской котловины и подножий склонов (Тумель, Мудров, 2008ф).

Тувинский геокриологический район отличается низкой среднегодовая температура воздуха (-6.1°C), одна из минимальных мощностей снега в провинции (10-30 см), самый большой диапазон изменения мощности мерзлоты и среднегодовой температуры пород: от 6 до 80 м от $+4.9$ до -1.5°C . Среднегодовая температура грунтов отрицательна до глубины 1 м, ниже она повышается до 0.3°C . Талые породы с температурой, близкой к нулю, неустойчивые, способны переходить в мерзлое состояние при короткопериодных похолоданиях, увеличении суровости зим, при увлажнении поверхности (Мудров, Тумель, 1969; Шац, 1978; Тумель, Мудров, 2008ф).

Формированию многолетнемерзлых пород способствуют: континентальный климат с очень низкими зимними температурами воздуха ($-27...-30^{\circ}\text{C}$, температуры ниже -30°C наблюдаются дольше месяца), долгой зимой (порядка 6 месяцев), малое годовое количество осадков (323 мм, доля твердых осадков 10-20%), редуцированный снежный покров (средняя

толщина 29 см), зимние температурные инверсии в межгорных котловинах. Низкая облачность способствует испарению снега, что ведет к радиационному выхолаживанию поверхности (Шац, 1978).

Мерзлота, как правило, приурочена к понижениям в рельефе. Наиболее низкие температуры грунтов и наибольшая мощность мерзлоты характерны для днища долин, котловин (Шполянская, 1978).

Криогенные процессы представлены термокарстом, пучением, морозобойным растрескиванием.

Термокарст составляют многочисленные крутостенные озерки и котловинки, приуроченные к восточному и северо-восточному побережью озера (рис.10). Глубина термокарстовых просадок составляет 2-2.5 м. Более 25% территории задето термокарстовыми процессами.



Рис. 10. Озерно-термокарстовая равнина (фото А.В. Панина)

Пучение представлено криогенной пульсацией (площадное сезонное пучение) и образованием бугров пучения. Криогенная пульсация наблюдается при промерзании слоя сезонного протаивания (тогда пучение ограничено глубиной 40-80 см) или талых пород при их промерзании. Распространена в гидроморфных ландшафтах. Характерно быстрое охлаждение грунтов и, соответственно, высокая скорость промерзания. Быстрое промерзание фиксирует влагу на месте, препятствует ее перераспределению, подтягивает к фронту промерзания. Скорость пучения равна примерно 5 см/год. Встречаются бугры миграционного типа высотой 1.7-2 м.

Морозобойное растрескивание наблюдается на пологих участках к озеру, выражается в виде овальных полигончиков. Они образуют систему пятен светлого супесчаного горизонта на поверхности. Играет активную роль в разрушении берегов за счет отседания береговых блоков (Тумель, Мудров, 2008ф).

Мощность многолетнемерзлых грунтов в котловине не менее 70 м (по данным бурения), 170 м (по данным электроразведки). Мощность мерзлоты под островами 15-20 м. Донные отложения озера Тере-Холь талые (Кошурников и др., 2008). Мощные многолетнемерзлые породы образовались 4000-2000 лет назад, островная маломощная мерзлота в V-VIII в. (Тумель, Мудров, Панин, 2008ф).

Раздел 3.5. Поверхностные воды

В пределах Терехольской котловины находятся три группы водных объектов: водотоки (реки, ручьи, протоки), водоемы (оз. Тере-Холь, небольшие озера, болотные топи), особые водные объекты (болота, заболоченные земли, подземные водоносные горизонты с их выходами на поверхность в виде родников). Основную часть котловины занимает водосбор оз. Тере-Холь площадью 286 км², расстояние между крайними северной и южной точками – 28,3 км, между восточной и западной – 23,9 км. Единственный вытекающий водоток из оз. Тере-Холь – река Салдам. Длина реки 21 км, ширина в межень варьирует от нескольких метров до 30 и более метров, глубина – до двух метров. Салдам впадает в р. Балыктыг-Хем – самую крупную реку котловины. Большая часть малых рек и ручьев в летний период пересыхает или «уходит» в свои русловые отложения (Магрицкий, Нестеренко, 2008ф).

В питании рек и ручьев района основное участие принимают (в порядке уменьшения роли) жидкие осадки, талые снеговые и подземные воды. Весеннее половодье на реках и ручьях начинается в среднем в конце апреля и продолжается 1-1,5 мес. Малоснежные зимы не способствуют формированию высоких половодий. При хорошо промерзших почвах потери

весеннего стока воды малы, поэтому на некоторых водотоках сток наблюдается весной. И значительная часть стока формируется за счет весенних осадков. Максимальные расходы воды в половодье наблюдаются в мае. Летом выпадают дождевые и ливневые осадки, кратковременно увеличивающие расходы воды некоторых ручьев и рек. Для рек характерна неустойчивая летне-осенняя межень, переходящая в октябре в длительную и устойчивую зимнюю межень и нарушаемая паводками (Магрицкий, Нестеренко, 2008ф).

Самое крупное озеро Терехольской котловины – Тере-Холь (рис. 11), расположено на высоте 1300 м, занимает часть днища котловины.



Рис. 11. Озеро Тере-Холь (фото Е.П. Кузнецовой)

Площадь озера 33,19 км², из них 2,85 км² – площадь островов. Длина озера (ЮЗ-СВ) – 10,6 км, ширина (СЗ-ЮВ) – 5,3 км. Объем воды в озере – 12,78 млн. м³, средняя глубина – 0,42 м. Протяженность береговой линии (без учета островов) – 68,63 км. Берега сильно заболочены и изрезаны. Сравнительно крупные острова расположены в восточной части озера, представляют собой подтопленные заболоченные участки суши, отделяющие от основной акватории озера многочисленные мелководные заливы; площадь наибольших из них 0,3-0,6 км². Кроме оз. Тере-Холь в днище котловины много заросших водной растительностью озер и окружающих их болот. Это отчленившиеся от оз. Тере-Холь заливами во время снижения его уровня,

термокарстовые, пойменные, органогенные водоемы. Часть озерков бессточна (Магрицкий, Нестеренко, 2008ф).

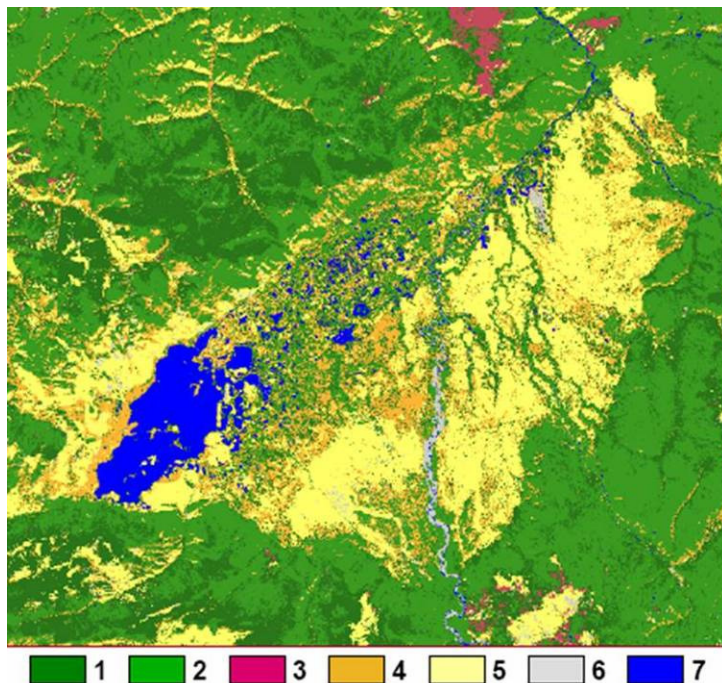
Гидрогеологические условия котловины способствуют активному формированию подземных вод, питающих реки, ручьи, водоемы днища котловины. Существует несколько выходов подземных вод на дневную поверхность. Их называют аржанами. Высокие модули подземного стока наблюдаются только в летне-осенний период, в остальное время образованию и движению подземных вод препятствует глубокое промерзание грунтов на фоне распространения островной многолетней мерзлоты (Магрицкий, Нестеренко, 2008ф).

Раздел 3.6. Растительность и почвы

Растительность и почвы Терехольской котловины характеризуются сочетанием восточносибирских таежных и монгольских степных элементов. Их распределение обусловлено положением в рельефе, условиями увлажнения, наличием мерзлоты. На сухих участках днища котловины и на южных склонах преобладают монгольские степные элементы, на северных склонах господствуют сибирские таежные леса (рис. 12).

Степи занимают большую часть днища котловины: практически всю возвышенную часть третьей озерной террасы (за пределами пониженного озерно-термокарстового блока), южные каменистые осыпные склоны. Структура степных сообществ в днище определяется условиями увлажнения в зависимости от положения в микрорельефе и характером хозяйственной деятельности (распашка, выпас). На участках днища, не подвергавшихся распашке, распространены сообщества сухих (*Stipa sp.*, *Psathyrostachys hyalanth* (Rupr.) Tzvel., *Poa argunensis* Roshev., *Bupleurum scorzonerifolium* Willd., *Veronica incana* L., *Orostachys spinosa* (L.) C.A. Mey) и луговых степей (*Stipa sp.*, *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub., *Potentilla bifurca*, *Poa argunensis* Roshev., *Thermopsis mongolica* Czefr., *Heteropappus altaicus* (Willd.) Novopokr., *Bupleurum scorzonerifolium* Willd.). В пределах основной поверхности днища сухостепные и луговые степи формируют мозаику в зависимости от

характера микрорельефа (струйчатые формы, связанные с каналами древних водотоков, осложненные мерзлотными формами: бугры пучения, термокарстовые понижения, мерзлотные полигоны разного масштаба). Эти сочетания сообществ развиты на черноземно-солонцовых комплексах, в состав которых входят черноземы дисперсно-карбонатные темнаязыковатые, (солонцеватые), (квазиглееватые) маломощные, тучные и солонцы темногумусовые карбонатные солончаковатые (квазиглееватые). На границе степного днища и залесенных склонов доминируют луговые степи под перегнойными квазиглеевыми и солонцами солончаковатыми темногумусовыми квазиглеевыми.



1 – темнойвойная тайга, 2- лиственничная тайга, 3- гары, 4 – разнотравные степи и луга, 5 – злаковые степи, 6 – каменистые осыпи, 7 – водные объекты

Рис.12. Карта ландшафтного покрова Терехольской котловины, полученная путем классификации спектрального снимка LANDSAT-7.

Залежная степь третьей озерной террасы представлена злаково-разнотравными и разнотравно-злаковыми группами ассоциаций с участием и без участия сорных видов, а также сухотравными сообществами на агросолонцах, агрочерноземах, агроземах. При небольшой пастбищной нагрузке доминанты сообществ - *Veronica incana* L., *Elytrigia repens* (L.)

Nevski, *Poa argunensis* Roshev., *Potentilla bifurca* L., *Achillea millefolium* L., *Artemisia glauca* Pall. ex Willd., *Potentilla tanacetifolia* Willd. ex Schlecht. Основные доминанты залежей с сорными видами: *Psathyrostachys hyalanthra* (Rupr.) Tzvel., *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Potentilla tanacetifolia* Willd. ex Schlecht., *Artemisia glauca* Pall. ex Willd., *Chenopodium album* L., *Descurainia sophia* L. На возвышенных позициях залежной степи по буграм пучения формируются сухотравные сообщества: *Veronica incana* L., *Stipa* sp., *Poa argunensis* Roshev., *Artemisia glauca* Pall. ex Willd., *Artemisia frigida* Willd., *Elytrigia repens* (L.) Nevski.

Степи южных осыпных склонов представлены караганно-полынно-ковыльными, караганно-ковыльными сообществами на горных маломощных почвах. Здесь встречаются *Cleistogenes songorica* (Roshev.) Ohwi, *Limonium chrysocomum* (Kar. et Kir.) O. Kuntze, *Gypsophila desertorum* (Bunge) Fenzl.

Конуса выноса местных водотоков заняты кустарниковой луговой степью на черноземах маломощных с *Spiraea media* F. Schmidt, *Caragana pygmaea* (L.) DC., *Thalictrum minus* L. s. str., *Stipa* sp., *Artemisia polustris* L., *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub.

На первой и второй озерных террасах встречаются березняки и ивняки хвощевые, осоковые, хвощево-злаковые на перегнойно-гидрометаморфических карбоатных (лугово-болотных), торфяно-перегнойных почвах.

Залесенные склоны покрыты восточносибирской елово-кедрово-лиственничной тайгой с подлеском из рододендрона даурского, шиповника, жимолости, багульника брусничные, голубичные зеленомошные или сфагновые на палевых темногумусовых (квазиглеевых), перегнойных квазиглеевых почвах, криоземах перегнойно-торфянистых. Травянистый ярус характеризуется, в основном, разнотравьем, среди которого встречаются такие таежные виды, как *Pyrola rotundifolia* L., *Orthilia obtusata* (Turcz.) Jurtz, *Vaccinium vitis-idaea* L., *Linnaea borealis* L. (рис. 13).



Сухие степи



Луговые степи



Солонец (по М.А. Бронниковой)



Чернозем (по М.А. Бронниковой)



Лиственничная тайга. Начало осени



Пожары в лиственничной тайге



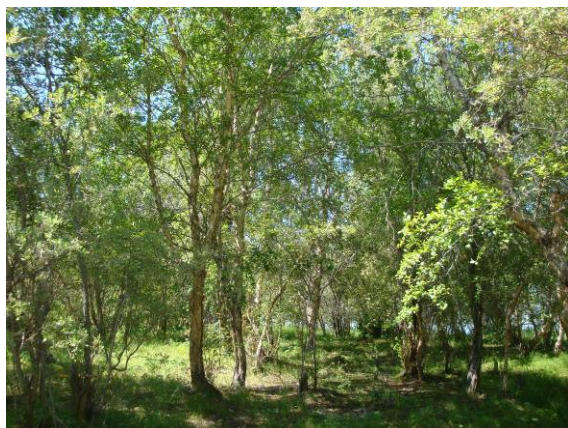
Моховый покров в лиственничниках



Криоземы перегнойно-торфяные
(по М.А. Бронниковой)



Елово-кедрово-лиственничная тайга



Березняки и ивняки по озерным
террасам



Хвощово-осоковое болото
на озерной террасе



Торфяно-перегнойные почвы
(по М.А. Бронниковой)

Торфяно-перегнойные почвы
(по М.А. Бронниковой)

*Рис. 13. Растительность и почвы Терехольской котловины
(фото Е.П. Кузнецовой, Д.Н. Козлова)*

Раздел 3.6. Ландшафтные условия

Ландшафтная структура юго-западной части Терехольской котловины Тывы представлена на карте-схеме (рис. 14). Выделяются среднегорные (А), межгорно-котловинные (В) и долинные (С) комплексы.

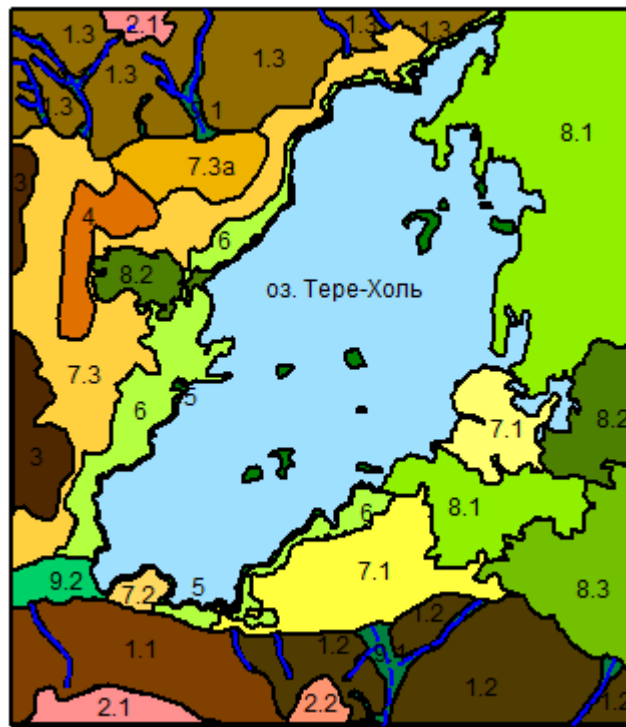
Среднегорные комплексы (1350-1730 м) включают крутые склоны сложенные маломощным покровом элювиально-делювиальных отложений, с лиственничными с примесью кедра рододендроновыми брусничными зеленомошными лесами на криоземе перегнойно-торфяном потечно-гумусовом и с фрагментарными елово-лиственничными с кедром рододендроновыми зеленомошными лесами на стратоземе темногумусовом вторично оторфованном на склонах северной экспозиции и с разнотравно-злаково-ковыльной степью с караганой и с куртинами шиповника и караганно-полынно-ковыльной степью на стратоземах по южным склонам; пенепленизированные среднегорья с округлыми вершинами, широкими седловинами, слаборасчлененные с покровом элювиальных, делювиально-элювиальных отложений разного состава, местами с криогенной сортировкой

материала и солифлюкционными террасами на склонах (1730 м) с кедрово-лиственничными лесами, местами с примесью ели разнотравно-злаковыми на грубогумусовых органо-аккумулятивных остаточных карбонатных почвах; среднегорья экспозиционно-лесостепные, пологосклонные, с выположенными куполообразными вершинами, слаборасчлененные, с сочетанием кустарниково-злаковых степей на стратоземах по южным склонам и лиственничных редкостойных, местами кустарниковых, злаково-разнотравных лесов на грубогумусовых органо-аккумулятивных остаточных карбонатных почвах; останцовую гряду мелко и дробнорасчлененная субмеридиональной ориентации с обилием осыпей и скальных выходов, с сочетанием степных, преимущественно кустарниковых, ценозов по восточному и южному склонам на стратоземах и лиственничных редкостойных травянистых лесов по теневым склонам на грубогумусовых органо-аккумулятивных остаточных карбонатных почвах.

Межгорно-котловинные комплексы включают геосистемы трех озерных террас: первая озерная терраса позднеголоценовая, сложенная торфами, подстилаемыми с 50 см мерзлыми озерными отложениями, узкая, с березовыми и ивовыми разнотравно-хвощевыми лесами и разнотравно-осоковыми лугами на торфяно-перегнойно-гидрометаморфических карбонатных криотурбированных почвах, пушицево-осоковыми болотами на торфяно-глеевых почвах; вторая озерная терраса раннесреднеголоценовая, сложенная торфами, подстилаемыми с 50 см мерзлыми озерными отложениями, с термокарстовыми озерами и западинами, плоская, местами слабонаклонная с кочкарным микрорельефом, с лиственничными разнотравно-осоковыми лесами на гумусовых квазиглеевых иловато-перегнойных вторично-оторфованных почвах; третья озерная терраса (водноледниковая равнина), (2-20 м над урезом), слабонаклонная, местами холмисто-грядовая, с конусами выноса, останцами коренных пород, подгорными шлейфами, криогенными формами, обилием сухих русел, в целом, хорошо дренированная, сложенная песчано-галечниково-

суглинистыми, валунно-супесчано-суглинистыми отложениями, с настоящими степями, фрагментами сухих степей и остепненных лугов на дисперсно-карбонатных черноземах и черноземе криогенно-мицеллярном, листовенничными перелесками на палевых темногумусовых почвах и равнин смешанного (озерно-водноледникового) генезисами, сложенных озерными песками, суглинками, илами, подстилаемыми флювиогляциальными отложениями, в разной степени измененной термокарстовыми процессами с листовенничными лесами разнотравно-злаковыми на буроземе темном остаточном-карбонатном, листовенничными лесами разнотравно-осоковыми, ивовыми лесами разнотравно-злаковыми на перегнойно-гидрометаморфических карбонатных почвах, разнотравно-злаковыми степями на дисперсно-карбонатных черноземах на останцах.

Горно-долинные комплексы представлены долинами местами V-образными и ящикообразными, с комплексом террас, сложенные галечно-валунным и песчаным аллювием, с елово-лиственничными лесами на криоземе гумусово-квизиглеевом вторично оторфованном, влажнотравными лугами на гумусовых квизиглеевых иловато-перегнойных вторично-оторфованных почвах и болотами на торфяно-глеевых почвах.



М 1: 100 000

Рис. 14. Пространственная дифференциация природно-территориальных комплексов Терехольской котловины (юго-запад) и ее окружения. Карта-схема.

А. Среднегорные, эрозионно-денудационные, крутосклонные, скально-осыпные, местами пенепленизированные, массивные с куполообразными вершинами, сложенные коллювием мраморов, кварцитов, гнейсов верхнерифейского возраста, с покровом суглинисто-щебнистых элювиально-делювиальных отложений, нередко с курумниками, осложненные лавинными лотками и эрозионными бороздами, с лиственничными, реже кедрово-лиственничными лесами на стратоземе темногумусовом вторично оторфованном, криоземе перегнойно-торфяном потечно-гумусовом, буроземе темном остаточном-карбонатном, местами в сочетании со степными ценозами по нижним частям крутосклонных массивов южной экспозиции.

1. Крутосклонные, глубокорасчлененные среднегорья с маломощным покровом элювиально-делювиальных отложений.

1.1. Северные крутые склоны массивного среднегорья, осложненные параллельно ориентированными лавинными лотками, слабоборасчлененные эрозионными бороздами (1350-1730 м) с лиственничными с примесью кедра рододендроновыми брусничными зеленомошными лесами на криоземе перегнойно-торфяном потечно-гумусовом и с фрагментарными елово-лиственничными с кедром рододендроновыми зеленомошными лесами на стратоземе темногумусовом вторично оторфованном.

1.2. Круто и покатосклонные среднегорья (1350-1600 м) разной степени расчлененности с господствующими лиственничными брусничными зеленомошными лесами на криоземе перегнойно-торфяном потечно-гумусовом и с лиственничными разнотравно-злаковыми зеленомошными лесами на буроземе темном остаточно-карбонатном, преимущественно, на покатых склонах.

1.3. Южные склоны крутосклонного дробнорасчлененного среднегорья, скально-осыпные (1310-1450 м) с выходами коренных пород с разнотравно-злаково-ковыльной степью с караганой и с куртинами шиповника и караганно-полынно-ковыльной степью на стратоземах.

2. Пенепленизированные среднегорья с округлыми вершинами, широкими седловинами, слаборасчлененные с покровом элювиальных, делювиально-элювиальных отложений разного состава, местами с криогенной сортировкой материала и солифлюкционными террасами на склонах (1730 м) с кедрово-лиственничными лесами, местами с примесью ели разнотравно-злаковыми на грубогумусовых органо-аккумулятивных остаточно-карбонатных почвах.

2.1. Массивные с куполообразными вершинами (1730 м) среднегорья, осложненные водосборными понижениями с маломощным покровом суглинисто-щебнистых отложений, нередко с курумниками, с кедрово-лиственничными с елью багульниково-брусничными зеленомошными и осоково-бруснично-злаковыми лесами на грубогумусовых органо-аккумулятивных остаточно карбонатных почвах.

2.2. Выровненные, слаборасчлененные вершинные поверхности среднегорий (1600 м) с покровом щебнисто-суглинистого элювия с лиственничными, местами редкостойными, разнотравно-злаковыми зеленомошными лесами на грубогумусовых органо-аккумулятивных остаточно карбонатных почвах.

3. Среднегорья (1320-1470 м) экспозиционно-лесостепные, пологосклонные, с выположенными куполообразными вершинами, слаборасчлененные, с сочетанием кустарниково-злаковых степей на стратоземах по южным склонам и лиственничных редкостойных местами кустарниковых злаково-разнотравных лесов на грубогумусовых органо-аккумулятивных остаточно карбонатных почвах.

4. Останцовая гряда (1320-1370 м) мелко и дробнорасчлененная субмеридиональной ориентации с обилием осыпей и скальных выходов, с сочетанием степных, преимущественно кустарниковых, ценозов по восточному и южному склонам на стратоземах и лиственничных редкостойных травянистых лесов по тенистым склонам на грубогумусовых органо-аккумулятивных остаточно карбонатных почвах.

В. Межгорно-котловинные, аккумулятивные, денудационно-аккумулятивные в краевых частях, плоские, слабонаклонные, местами террасированные, сложенные озерно-аллювиальными, озерно-флювиогляциальными, песчано-глинистыми, галечниково-суглинистыми, нередко с наложенными аллювиально-пролювиальными, делювиально-пролювиальными отложениями конусов выноса, с криогенными структурами, местами с озерами разного генезиса; заболоченные с господством степной растительности, местами в сочетании с лиственничными перелесками, заболоченными лугами и болотами в приозерной части.

5. Первая озерная терраса (до 0.5 м над урезом) позднеголоценовая, сложенная торфами, подстилаемыми с 50 см мерзлыми озерными отложениями, узкая, с березовыми и ивовыми разнотравно-хвощевыми лесами и разнотравно-осоковыми лугами на торфяно-перегнойно-гидрометаморфических карбонатных криотурбированных почвах, пушицево-осоковыми болотами на торфяно-глеевых почвах.

6. Вторая озерная терраса (1-2 м над урезом) раннесреднеголоценовая, сложенная торфами, подстилаемыми с 50 см мерзлыми озерными отложениями, с термокарстовыми озерами и западинами, плоская, местами слабонаклонная с кочкарным микрорельефом, с лиственничными разнотравно-осоковыми лесами на гумусовых квазиглеевых иловато-перегнойных вторично-оторфованных почвах.

7. Третья озерная терраса (водноледниковая равнина), (2-20 м над урезом), слабонаклонная, местами холмисто-грядовая, с конусами выноса, останцами коренных пород, подгорными шлейфами, криогенными формами, обилием сухих русел, в целом, хорошо дренированная, сложенная песчано-галечниково-суглинистыми, валунно-супесчано-суглинистыми отложениями; с настоящими степями, фрагментами сухих степей и остепненных лугов на дисперсно-карбонатных черноземах и черноземе криогенно-мицеллярном, лиственничными перелесками на палевых темногумусовых почвах.

7.1. Слабонаклонная поверхность (2-4 м над урезом) с разнообразным рельефом: с конусами малых долин, с буграми пучения, с брошенными сухими руслами малых рек, флювиогляциальным валом, с разнотравно-пырейной, бобово-разнотравно-ковыльной, разнотравно-злаковой степью на дисперсно-карбонатных черноземах и черноземе криогенно-мицеллярном, пырейно-полынной степью на солонцах по буграм пучения, с залежными сухотравными степями на постагрогенных черноземах, разнотравно-злаковой и бобово-злаково-разнотравной степью с отдельно стоящими лиственницами на стратоземе темногумусовом по конусам малых долин, с разреженным лиственничным кустарниковым разнотравно-злаковым лесом на палевых темногумусовых почвах на флювиогляциальном валу.

7.2. Ровная поверхность террасы (2 м над урезом), с термокарстовыми котловинами, занятыми озерами, брошенными сухими руслами малых рек, с разнотравно-злаковой и злаково-разнотравной степью на дисперсно-карбонатных черноземах и полугидроморфных черноземно-луговых почвах.

7.3. Наклонная поверхность террасы (2-20 м над урезом), расчлененная палеоруслами, термокарстовыми котловинами, усложненная конусами малых долин, холмами и грядами высотой до 10 м, с разнотравно-злаковой и злаково-разнотравной степью на дисперсно-карбонатных черноземах, разнотравными с зарослями кустарников лугами на дисперсно-карбонатных черноземах по палеоруслам, с лиственничными злаково-разнотравными лесами на палевых темногумусовых почвах по склонам гряд и холмов.

7.3.a. Наклонная поверхность присклоновой части с делювиальными отложениями, с конусом выноса, с руслом временных водотоков со степной растительностью на дисперсно-карбонатных черноземах и участками залежной степи на старопахотных почвах.

8. Равнина смешанного генезиса (водно-ледниковая, озерная), плоская, заозеренная (2 м над урезом), сложенная озерными песками, суглинками, илами, подстилаемыми флювиогляциальными отложениями.

8.1. Плоская поверхность с останцами водноледниковой в сочетании с многочисленными термокарстовыми котловинами (сухими и занятыми озерами), палеоруслами, с лиственничными лесами разнотравно-злаковыми на буроземе темном остаточном-карбонатном, лиственничными лесами разнотравно-осоковыми, ивовыми лесами разнотравно-злаковыми на перегнойно-гидрометаморфических карбонатных почвах, разнотравно-злаковыми степями на дисперсно-карбонатных черноземах на останцах.

8.2. Выположенная поверхность с сетью термокарстовых котловин (сухих и занятых озерами), палеоруслами, с лиственничными лесами разнотравно-злаковыми на буроземе темном остаточном-карбонатном, лиственничными разнотравно-осоковыми лесами, ивовыми разнотравно-злаковыми лесами на перегнойно-гидрометаморфических карбонатных почвах.

8.3 Ровная поверхность, относительно хорошо дренированная с отдельными термокарстовыми котловинами, со злаково-разнотравными степями на дисперсно-карбонатных черноземах, с лиственничными лесами разнотравно-злаковыми на буроземе темном остаточном-карбонатном.

С. Горно-долинные, местами V-образные и ящикообразные, с комплексом террас, сложенные галечно-валунным и песчаным аллювием, с елово-лиственничными лесами на криоземе гумусово-квазиглеевом вторично оторфованном, влажнотравными лугами на гумусовых квазиглеевых

иловато-перегнойных вторично-оторфованных почвах и болотами на торфяно-глеевых почвах.

8. Долины (1370 м), с комплексом низких террас, местами V-образные, сложенные галечно-валунным и песчаным аллювием, с елово-лиственничными с кедром рододендрово-смородиновыми брусничными зеленомошными лесами на криоземе гумусово квазиглеевом вторично оторфованном, с ивняками и заболоченными осоково-разнотравными лугами на торфяно-глеевых почвах по низким поймам.

8.1. V-образные долины с крутыми склонами, местами скально осыпные, с фрагментарными поймами, местами с пересыхающими руслами, с елово-лиственничными зеленомошными лесами на криоземе гумусово-квазиглеевом вторично оторфованном.

8.2. Широкая ящикообразная долина с комплексом слабо выраженных террас, с крутыми скально-осыпными склонами, с сочетанием елово-лиственничных зеленомошных лесов на палевых темногумусовых почвах, влажнотравных лугов на гумусовых квазиглеевых иловато-перегнойных вторично-оторфованных почвах и болот на торфяно-глеевых почвах.

ГЛАВА 4. МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Раздел. 4.1. Методика исследования

Общий методический подход к исследованию представлен в таблице 2. Исследование проводится на двух иерархических уровнях: локальном и региональном. **Локальный уровень:** геосистемы ключевого участка (Терехольская котловина Тывы), хронологии индивидуальные по деревьям и обобщенные по местообитаниям ключевого участка. **Региональный уровень:** геосистемы Алтае-Хангае-Саянского региона, хронологии сводные по геосистемам региона (осредненные обобщенные по местообитаниям и осредненные индивидуальные при отсутствии обобщенных).

Таблица 2.

Методика исследования

Задача исследования			
	подзадача	метод	результат
ЛОКАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ. Терехольская котловины Тывы			
1.	Создание сети абсолютно датированных древесно-кольцевых хронологий по ширине годовых колец для геосистем локального уровня		
1.1.	выбор площадок для отбора образцов	анализ топографических карт и космических снимков	потенциальное положение площадок отбора образцов в репрезентативных местообитаниях
1.2.	сравнительная экологическая характеристика площадок	комплексное ландшафтное описание (геолого-геоморфологическая основа, растительность, почвы)	ландшафтная характеристика геосистем – местообитаний пробных деревьев
1.3.	отбор образцов древесины	бурение, бур Пресслера и бензопила	керны и спилы
1.4.	подготовка образцов к измерениям	шлифование поверхности образца, шлифовальная машина	образцы для анализа
1.5.	измерение ширины годовых колец	прибор LinTab 5, программа TsapWin	ширина годовых колец по единичному радиусу

	образцов	Professional (Rinn, 2005)	
1.6.	получение индивидуальных хронологий	перекрестное датирование и осреднение измерений по разным радиусам (TsapWin Professional)	индивидуальные хронологии с плавающей датировкой
1.7.	проверка качества датирования индивидуальных хронологий	перекрестное датирование (TsapWin Professional, COFECHA)	индивидуальные хронологии с абсолютной датировкой
1.8.	построение обобщенных хронологий для геосистем	осреднение индивидуальных хронологий внутри геосистемы	обобщенные хронологии для геосистем
2.	Определение соотношения автохтонных и аллохтонных факторов изменчивости приростов в XX в., их интерпретация, выявление закономерностей проявления в зависимости от неоднородности местообитаний		
2.1.	характеристика кривой роста	выбор модели кривой роста: отрицательная экспонента, линейная регрессия, Statistica, Arstan (Cook, Holmes, 1999);	параметры модели кривой роста, ее вклад в изменчивость приростов по каждому дереву и для геосистемы
2.2.	индексирование индивидуальных хронологий	вычитание из значений приростов значений кривой роста	индексированные индивидуальные хронологии
3.3.	построение индексированных обобщенных хронологий	осреднение индивидуальных и хронологий внутри местообитаниям	индексированные обобщенные хронологии
3.4.	выделение независимых компонент пространственно-	метод главных компонент	число и собственные значения независимых компонент пространственно-

	временной изменчивости индексированных приростов за XX в.		временной изменчивости индексированных приростов
3.5.	определение вклада каждой компоненты в изменчивость индексированного прироста каждого дерева	регрессионный анализ	доля дисперсии в изменчивости индексированных приростов по каждой компоненте
3.6.	интерпретация компонент	сравнительно-географический с привлечением характеристик местообитаний, метеорологических рядов наблюдений	экологические, географические, факторы изменчивости индексированных приростов
4.	Разработка и апробация методики выделения режимов продукционного процесса через анализ древесно-кольцевой информации		
4.1.	выделение режимов продукционного процесса геосистем	кластерный анализ индивидуальных и хронологий по подобию лет	режимы продукционного процесса локального уровня
4.2.	выделение аллохтонно обусловленных режимов продукционного процесса	кластерный анализ индивидуальных и индексированных хронологий по подобию лет	аллохтонно обусловленные режимы продукционного процесса локального и уровня
5.	Установление ключевых лет смены направленности продукционного процесса		
5.1.	выделение ключевых лет	анализ границ режимов продукционного процесса: общих и аллохтонно обусловленных	ключевые годы смены направленности продукционного процесса
6.	Выявление ведущих факторов продукционного процесса для разных режимов		
6.1.	индикация смен ведущего фактора продукционного процесса	графики Box Plot, Statistica	обоснование выделенных временных периодов как режимов продукционного процесса

6.2.	определение ведущего фактора продукционного процесса в режимах по геосистемам	анализ значений и интерпретации независимых компонент изменчивости по периодам, соответствующим режимам продукционного процесса	характеристика режимов продукционного процесса геосистем Терехольской котловины Тывы в XX веке
РЕГИОНАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ. Алтай-Хангае-Саянский регион			
7.	Построение сводной и сводной индексированной хронологии для Терехольской котловины Тывы	осреднение обобщенных и обобщенных индексированных хронологий геосистем в пределах ключевого участка	сводная и сводная индексированная хронология для ключевого участка
8.	Выбор репрезентативных (сравнимых с ключевым участком) хронологий в пределах региона	- анализ информации в Международном банке данных древесных колец, - получение индивидуальных и индивидуальных индексированных хронологий по деревьям для каждой точки региона - получение сводных и сводных индексированных хронологий по точкам региона	сводные и сводные индексированные хронологии по точкам региона
9.	Сравнение сводных и сводных индексированных хронологий ключевого участка и других точек региона в XX в.	кластерный анализ	положение хронологий ключевого участка относительно других хронологий региона
10.	Определение	метод главных	компоненты изменчивости

	ведущих факторов продукционного процесса в регионе в XX веке	компонент, регрессионный анализ	продукционного процесса в регионе и их интерпретация
11.	Выделение режимов продукционного процесса в регионе в XX веке и их интерпретация	кластерный анализ по подобию лет, регрессионный анализ, графики Box Plot, Statistica	режимы продукционного процесса Алтае-Хангае- Саянского региона в XX веке, ведущие факторы изменчивости продукционного процесса по режимам
12.	Место локальных режимов продукционного процесса в режимах регионального уровня.	сравнение графиков	вывод о связи локальных и региональных режимов продукционного процесса

1.1. Выбор площадок для отбора образцов

Перед началом полевых работ проводилось планирование местоположения площадок отбора образцов. Площадки закладывались в контрастных ландшафтных условиях, отражающих влияние разных факторов ландшафтной дифференциации. При их выборе дополнительно учитывалась удаленность от лагеря и транспортная доступность.

При планировании использовались универсальные доступные источники информации о территории: топографическая карта и космический снимок. На основе визуального анализа космических снимков и топографических карт были выбраны ключевые участки. На каждом участке намечался ландшафтно-дендрохронологический профиль – ландшафтный профиль с отбором дендрохронологических образцов на площадках комплексных описаний.

1.2. Сравнительная характеристика площадок

На каждой площадке выполнялось комплексное ландшафтное описание, включающее описание рельефа и отложений, растительности, почв.

Координаты площадки определялись с помощью GPS.

Описание рельефа включало: определение формы мезо- и микрорельефа, экспозиции, крутизны поверхности для мезорельефа и амплитуды высот для микрорельефа, фиксацию генезиса, литологии, мощности подстилающих пород.

Описание растительности проводилось в пределах площадки 20x20 м. Определялись следующие параметры: видовой состав, сомкнутость, средняя высота и средний диаметр деревьев для каждого яруса. Указывался видовой состав, густота и высота подроста и кустарников. Определялось общее проективное покрытие травостоя, мохово-лишайникового яруса, видовой состав травостоя, проективное покрытие для каждого вида. Для подсчета суммы площадей сечения использовалась методика Биттерлиха.

Описание почвы проводилось по почвенным разрезам. Для вскрытых горизонтов фиксировался цвет по шкале Munsell, механический состав, наличие мерзлоты, включений, новообразований, вскипаемость.

Точки полевых описаний заносятся в базу данных.

1.3.-1.4. Отбор и подготовка образцов древесины

Керны древесины отбирались с помощью бура Пресслера (шведский бур Haglof) на высоте 1,3 м (Jozsa, 1998; Schweingruber, 1988, Шиятов, Ваганов и др., 2000) по два керны с противоположных сторон дерева (рис. 14); упаковывались в пластиковые или бумажные пробирки, на каждой из которых фиксировался номер дерева и радиус отбора. Информация дублировалась в полевом дневнике. Среднее число пробных деревьев на площадке – 10. Спилы отбирались с мертвых старых деревьев с помощью бензопилы. Отбор образцов древесины сопровождался описанием следующих показателей пробных деревьев: координаты дерева (GPS), его высота (высотомер Haglof), диаметр (сантиметр), (рис. 15).

Для того чтобы границы колец были отчетливо видны во время измерений в отраженном свете, торцевая поверхность образца тщательно зачищалась с помощью шлифовальной машинки: сначала обработка

крупнозернистой шкуркой, затем – мелкозернистой (Шиятов, Ваганов и др., 2000).



Оборудование: буры Naglof, высотомер Naglof, пробирки, сантиметр, GPS, полевой дневник



Бурение лиственницы сибирской



Определение возраста по спилу



Определение высоты дерева, высотомер Naglof

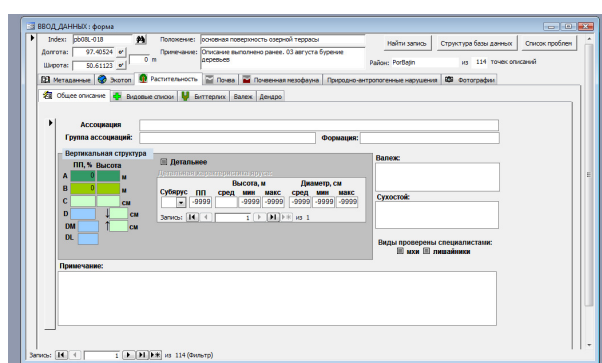


Рис. 15. Дендрохронологические работы на точке и ввод информации в базу данных

1.5. Измерение ширины годичных колец образцов

Для измерений ширины годичных колец использовался прибор LinTab 5. Прибор представляет собой измерительный комплекс, состоящий из движущегося столика, стереомикроскопа Leica с оптикой Zeiss,

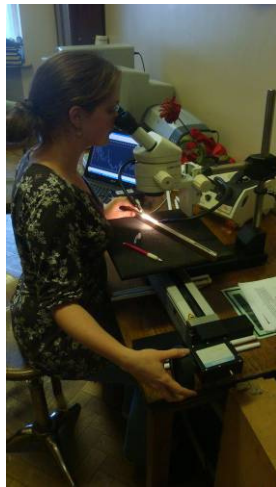
персонального компьютера с программным обеспечением TSAP Win Professional (рис. 16). Точность измерения 0,01 мм.



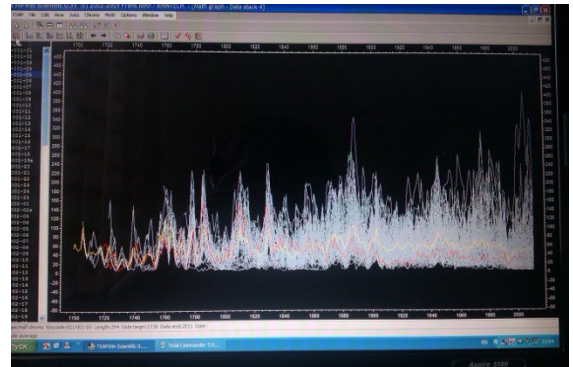
Керн после шлифовки



Зашлифованный спил



Измерение ширины годовичных колец



Перекрестное датирование



Годичные кольца через окуляр микроскопа



Ложное годовичное кольцо

Рис. 16. Подготовка образцов и измерения ширины колец

1.6.–1.7. Получение индивидуальных хронологий, проверка качества датирования индивидуальных хронологий

Ряды измерений по противоположным радиусам каждого дерева перекрестно датировались и осреднялись для получения индивидуальной хронологии (средней хронологии по каждому дереву). Индивидуальные хронологии перекрестно датировались между собой с целью их абсолютного

датирования. Суть метода перекрестного датирования состоит в исторической неповторимости изменчивости ширины годичных колец между годами, связанной с влиянием внешних лимитирующих факторов. Перекрестное датирование основано на сравнении графиков величины прироста деревьев и поиске участка синхронного изменения прироста. Таким образом, метод позволяет определить группы колец, образовавшихся в один и тот же календарный год у разных деревьев и продатировать один образец относительно другого. Совместно использовалось визуальное датирование по графикам в TSAP Win (Rinn, 2005), перекрестное датирование на основании критерия синхронности Glk, t-критерия, кросс-корреляции и индекса перекрестного датирования CDI в TSAP Win, программа COFECHA (Holmes, 1983; Grissino-Mayer, 2001) из программного пакета DPL (Специализированный программный пакет DPL, 2006). В процессе перекрестного датирования идентифицировались ложные и пропущенные кольца. На основании совместного сравнения нескольких кривых определялись абсолютные годы начала жизни деревьев.

1.8. Построение обобщенных хронологий для геосистем

Сдатированные индивидуальные хронологии внутри каждой геосистемы осреднялись для получения обобщенной хронологии местообитания (хронологии геосистемы).

2.1.-2.3. Характеристика кривой роста. Индексирование индивидуальных хронологий. Построение индексированных обобщенных хронологий

Сигнал, заключенный в годичном кольце формируется под влиянием автохтонных и аллохтонных факторов (рис. 17), действующих на разных уровнях во времени (внутригодовой, годовой, межгодовой) и в пространстве (локальный, региональный, глобальный). Масштаб влияния факторов различен: генетические особенности проявляются на организменном уровне, конкурентные отношения – на межорганизменном уровне, влияние абиотической среды – на экосистемном уровне. Для задач выделения

режимов продукционного процесса и их анализа интерес представляет как полный сигнал, индицирующий общий режим продукционного процесса, выделяемый по индивидуальным хронологиям, так и аллохтонно обусловленный режим продукционного процесса, определяемый только аллохтонными факторами.

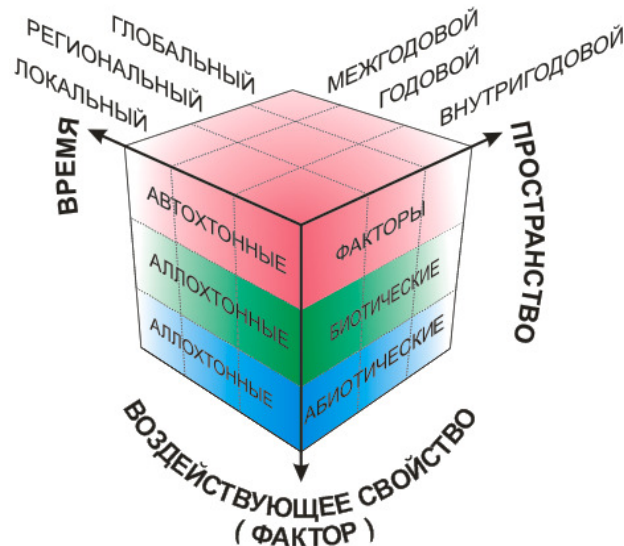


Рис. 17. Факторы продукционного процесса

Для получения аллохтонно обусловленного режима необходимо разделить вклад автохтонной (возраст, динамика древостоя) и аллохтонной (климат, локальные условия произрастания дерева) составляющих роста, выделив кривую роста. Предполагается, что в кривой роста заключено влияние возраста дерева (генетических особенностей) и динамики древостоя (Kännel, Schweingruber, 1995).

В методической литературе по дендрохронологии большое внимание уделено удалению кривой роста или возрастного тренда – «detrending method», «removing the growth trend» (Cook, Kairiukstis, 1990, Schweingruber, 1988). При таком подходе кривая роста исключается из рассмотрения и используется только для вычисления индексов прироста (growth index), получаемых делением наблюдаемых значений ширины годичного кольца на значение модели кривой роста, или их вычитанием. Для задач ландшафтной дендроиндикации важно выделить кривую роста, определить ее вклад в изменчивость приростов, затем исключить для расчета индексов приростов.

В анализе особенностей роста деревьев используются параметры кривой роста.

Кривая роста выделялась в программе ARSTANL из библиотеки дендрохронологических программ (DPL) методами «отрицательная экспонента», «линейная регрессия». В программу заложена модель вида:

$$Y = A * \exp(X * B) + C * X + D,$$

где Y – ширина годичного кольца в год жизни дерева X . A , B , C , D – параметры модели; A характеризует начальный (стартовый) прирост дерева, B и C – показатели формы возрастной кривой, D – минимально возможный (или предельный) прирост, уровень стабилизации прироста (Наурзбаев, 2005; Cook, Holmes, 1999).

Точность модели кривой роста оценивалась по коэффициенту детерминации R^2 (доля дисперсии, описанная моделью) в регрессионном анализе (Пузаченко, 2004). При некорректном подборе модели программой ARSTANL, модель подбиралась в Statistica 7 (Nonlinear estimation), которая позволяет более гибко задавать параметры модели (рис. 18).

Для каждого дерева методом регрессионного анализа определялся вклад кривой роста (автохтонной составляющей) в изменчивость приростов дерева, выражаемый через коэффициент детерминации. На основании сравнения коэффициентов детерминации деревьев с помощью графиков Box Plot в Statistica 7 оценивалась выраженность кривой роста по геосистемам. Геосистемы сравнивались по показателям стартового прироста (параметр A в модели кривой роста) и уровню стабилизации прироста (параметр D в модели кривой роста).

Для содержательного изучения факторов пространственно-временной изменчивости продукционного процесса целесообразно выбрать период жизни деревьев, обеспеченный наибольшим количеством индивидуальных хронологий и временными рядами географических данных.

Определялся вклад кривой роста в изменчивость приростов каждого дерева для выбранного временного периода, выраженность кривой роста сравнивалась между геосистемами.

Для исследования влияния аллохтонных факторов на продукционный процесс рассчитывались индексированные индивидуальные хронологии для каждого дерева: из значений прироста вычитались значения кривой роста. Индексированные индивидуальные хронологии осреднялись по геосистемам для получения индексированных обобщенных хронологий.

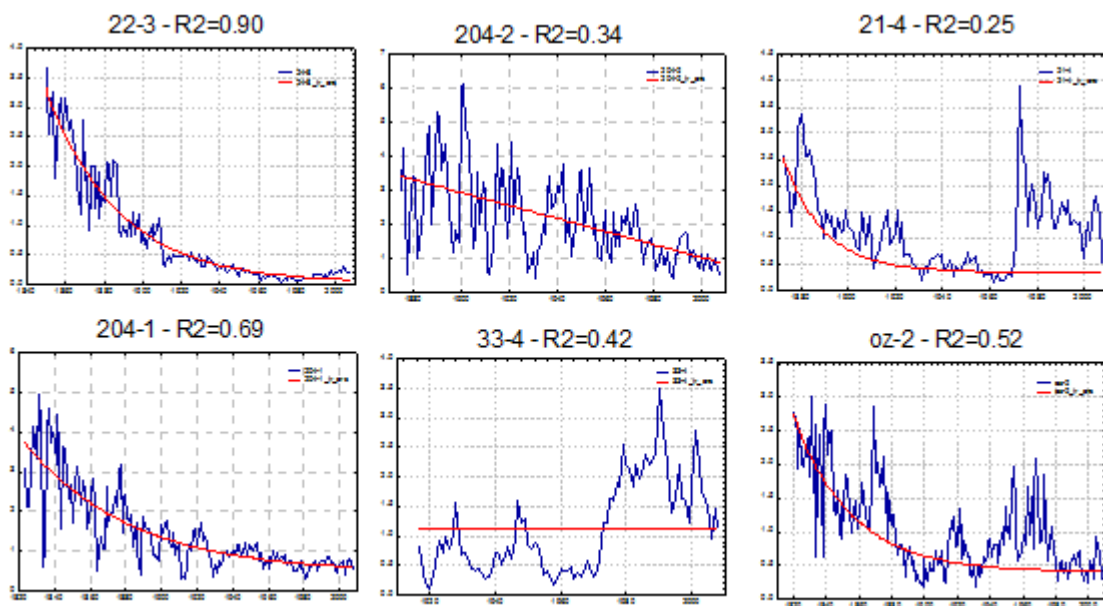


Рис. 18. Разнообразие моделей кривой роста

2.4. Выделение независимых компонент пространственно-временной изменчивости индексированных приростов

По массиву индексов приростов для выбранного временного интервала (XX в.) методом главных компонент выделялись независимые компоненты пространственно-временной изменчивости приростов.

Метод главных компонент — наиболее распространенный метод факторного анализа. Основная цель анализа — поиск факторов, которые определяют изменчивость большого количества измеренных переменных, при этом метод преобразует взаимодействие многих во взаимодействие небольшого числа факторов (редукция данных) и выявляет реально действующие факторы (причинно-следственные связи), то есть определяет

структуру взаимосвязей переменных (Statsoft, <http://www.statsoft.ru>). Следует понимать, что фактор может не соответствовать какому-либо «простому», далее не расчленяемому свойству, он сам по себе может быть продуктом сложных системных отношений (Пузаченко, 2004). Метод главных компонент, как и любой статистический метод, воспроизводит равновесные, стационарные отношения между переменными, отображает только линейные отношения. Этот метод широко используется дендрохронологами (Peters et al., 1981).

Метод главных компонент дает значения компонент пространственно-временной изменчивости по годам. В совокупности все компоненты описывают 100% изменчивости приростов, однако найти содержательный смысл для всех компонент затруднительно. В связи с этим возникает вопрос о том, сколько компонент может быть признано достаточно значимым для описания варьирования всех переменных. Число выбранных компонент определяется исследователем, но существует несколько критериев, позволяющих рационально выбрать число компонент – критерий Кайзера, критерий «каменистой осыпи» и др. (Пузаченко, 2004; <http://www.statsoft.ru>).

В данной работе число значимых компонент определялось на основании критерия «каменистой осыпи», который опирается на правило уменьшения дисперсии с увеличением номера фактора как функции вида

$$\sigma^2 = a(NPCA)^b,$$

где NPCA – номер главной компоненты при случайном отношении между переменными; а, b – параметры уравнения (Пузаченко, 2004). Вид этой теоретической зависимости можно получить, аппроксимируя реальные значения нелинейной моделью методом нелинейной регрессии. Точка пересечения двух графиков (теоретической и реальной зависимостей) показывает оптимальную размерность пространства всех переменных, которая, в данном случае, равна четырем ортогональным координатам. Можно полагать, что эти четыре координаты определяют основную часть варьирования (Пузаченко, 2004).

На практике возможен также другой подход к выделению компонент изменчивости приростов: применение метода главных компонент к исходному массиву датированных древесно-кольцевых хронологий, без предварительного выделения кривой роста. В данном случае кривая роста проявится в первых по значимости независимых компонентах изменчивости приростов (при ее выраженности). Преимущество подхода в едином методе выделения компонент изменчивости, меньших временных затратах, сопоставимости вклада компонент в изменчивость приростов. Недостаток подхода в отсутствии параметров роста каждого дерева (стартовый прирост, уровень стабилизации прироста), индивидуальной работы с каждым деревом, поскольку кривая роста – индивидуальная характеристика, менее точном определении вклада кривой роста в изменчивость приростов.

2.5. Определение вклада каждой компоненты в изменчивость индексированного прироста каждого дерева

Результат метода главных компонент – число и собственные значения компонент по годам. Необходимо определить влияние каждой компоненты на индексированный прирост каждого дерева.

Метод решения задачи – регрессионный анализ. В качестве независимой переменной выступает индексированный прирост дерева по годам, предиктором являются значения компоненты по годам. Описывая изменчивость индексов прироста значениями компоненты, получаем вклад данной компоненты в изменчивость индексированных приростов конкретного дерева, выраженный в коэффициенте детерминации (R^2). Такую процедуру необходимо проделать для каждого дерева относительно каждой компоненты.

В результате для каждого дерева становится известно, насколько изменчивость его индексированных приростов описывается каждой из независимых компонент. Затем определяется вклад каждой компоненты в аллохтонно обусловленную изменчивость по геосистемам. Данный этап

анализа вносит элемент новизны в подходы к исследованию горных территорий.

2.6. Интерпретация компонент

Физический смысл независимых компонент раскрывается при их сравнении с переменными. В качестве переменных в анализе использовались метеорологические данные, характеризующие изменчивость региональных климатических условий.

В анализ включены среднемесячные и среднегодовые температуры и суммы осадков. На основе этих данных рассчитаны показатели теплого и холодного периодов года, начала и конца вегетационного периода. В работах дендрохронологов показано, что в приросте текущего года может быть обнаружен сигнал погодных условий предшествующего вегетационного периода (Fritts, 1976), поэтому рассчитаны значения температуры и суммы осадков для предшествующего вегетационного периода.

Каждая независимая компонента описывалась регрессионным уравнением, где в качестве предикторов задавались климатические характеристики. Использовался метод пошаговой регрессии с регулируемыми значениями F-критерия для снижения комбинаторного эффекта. Процент изменчивости, описанной предикторами, определялся по коэффициенту детерминации (R^2). Значимые переменные выделялись на основе F-критерия, направление связи (прямая/обратная) – по коэффициенту регрессии Beta.

Вклад независимых компонент в аллохтонно обусловленную изменчивость приростов для каждого дерева и обобщенной хронологии для местообитания устанавливали пропорционально величине R^2 в уравнении множественной регрессии между значениями индексированных приростов и значениями компонент. Сравнение средних значений R^2 лиственниц из пяти контрастных местообитаний иллюстрирует трансформацию регионального (климатического) сигнала неоднородностью локальных ландшафтных условий.

Через анализ вклада компонент в аллохтонную изменчивость приростов по местообитаниям рассматривалось преломление действия региональных (климатических) факторов ландшафтной неоднородностью среды, определялись ведущие факторы продукционного процесса для разных местообитаний деревьев в XX в.

4-5. Выделение режимов продукционного процесса геосистем. Установление ключевых лет смены направленности продукционного процесса. Выявление ведущих факторов продукционного процесса для разных режимов

Режим продукционного процесса геосистемы индицировался в хронологиях как период, характеризующийся определенным состоянием продукционного процесса, обусловленным действием автохтонных и аллохтонных факторов. Аллохтонно обусловленный режим фиксировался как период в индексированных хронологиях.

Выделение режимов проводилось по оценке степени подобия изменчивости радиальных приростов (индексов приростов) деревьев между годами метрикой на основе коэффициента корреляции Пирсона средствами кластерного анализа (метод Варда). Элементами анализа выступали годы, их характеристиками – величина радиального прироста (индекс прироста) каждого из деревьев.

Метод Варда использует при оценке расстояний между кластерами элементы дисперсионного анализа. На первом шаге предполагается, что каждый кластер состоит из одного объекта. Первоначально в класс объединяются два ближайших элемента. Далее группируются объекты, которые минимизируют сумму квадратов дистанций для любых двух кластеров, которые могут быть сформированы на каждом шаге. Метод Варда считается наиболее эффективным для уменьшения масштаба искажений при попытке упорядочить элементы из многомерного пространства в линию. В общем случае кластерный анализ допускает трактовку отдельных кластеров как подсистем различного иерархического уровня большой системы. Чем

выше уровня сцепления, тем более независимы подсистемы (Пузаченко, 2004).

Оценка размерности пространства в кластерном анализе (число выделяемых классов-периодов) проводилось по нарушению монотонности функции дистанции сцепления (рис. 19), (Пузаченко, 2004). Выбирались две наиболее крупные ступени нарушения монотонности. Кластеры на двух уровнях рассматривались иерархично.

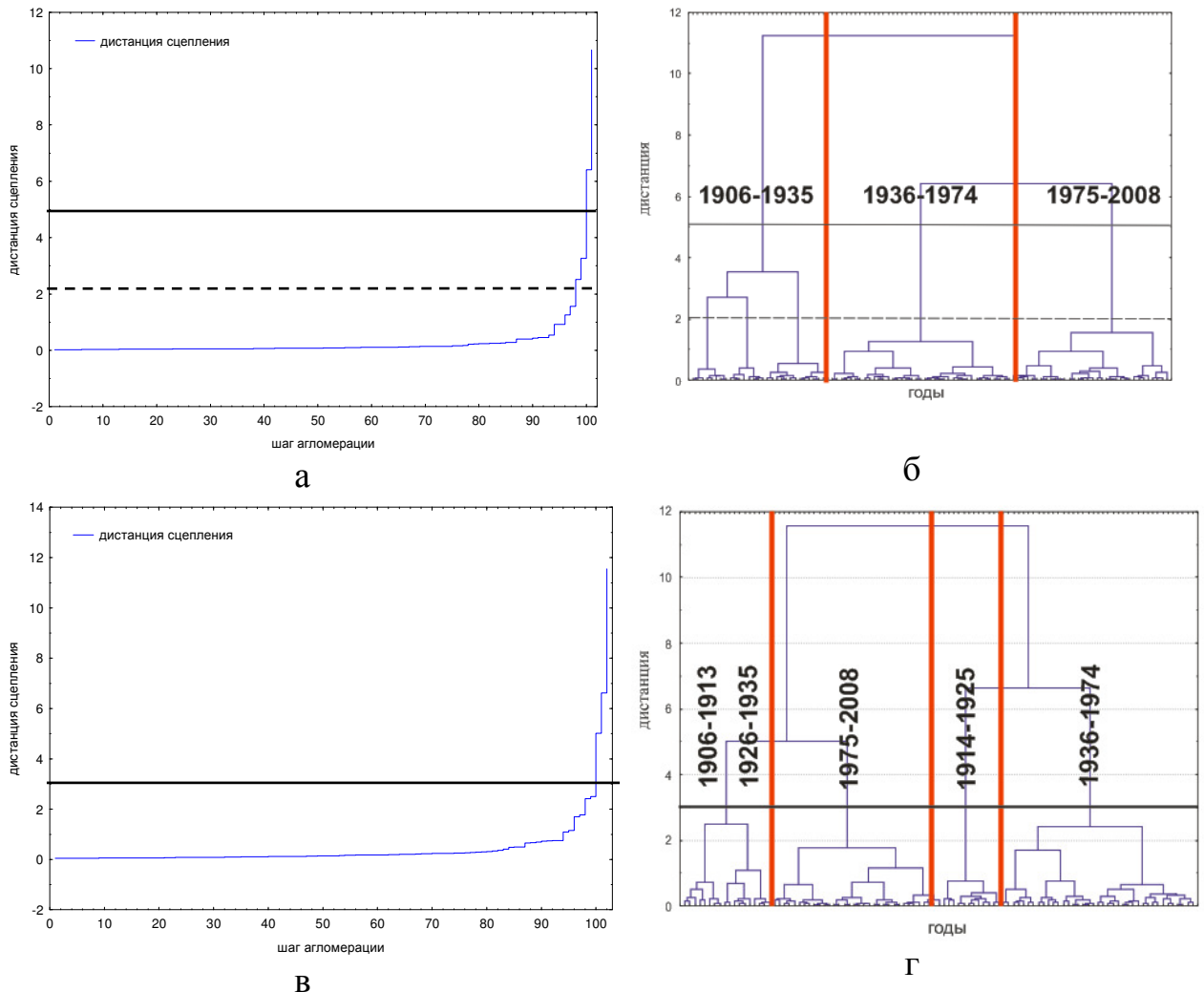


Рис. 19. Результат кластерного анализа: а, в – оценка размерности пространства, б, г – классификация лет по степени подобия изменчивости приростов (б) и индексов приростов (г)

Полученные кластеры объединяют группы лет, в течение которых сохранялось подобие радиальных приростов (индексов приростов) деревьев разных геосистем (рис. 19).

Предполагается, что выделенные периоды соответствуют режимам продукционного процесса, а граничные годы периодов индицируют смену

ведущего фактора продукционного процесса. В качестве ведущих факторов рассматривались региональные (климатические) факторы, влиянию которых подвержены деревья всех местообитаний котловины. Специфика режимов отдельных геосистем отражает трансформацию климатического сигнала локальной неоднородностью ландшафтных условий.

Обоснование выделенных периодов как режимов продукционного процесса проводилось через иллюстрацию полученных и интерпретированных ранее (задача 3) независимых компонент изменчивости в виде графиков Box Plot. При соответствии периодов режимам средние значения компонент (факторов) между граничными годами должны достоверно отличаться. Интерпретация ведущих факторов в каждом режиме продукционного процесса проводилась на основании анализа значений компонент изменчивости в каждом из режимов, их смысловому содержанию и вкладу в изменчивость приростов (индексов) деревьев каждого из местообитаний (геосистем).

6. Построение сводной и сводной индексированной хронологии для Терехольской котловины Тывы.

Для получения сводной хронологии для ключевого участка осреднялись индивидуальные хронологии. Сводная индексированная хронология вычислялась осреднением индексированных хронологий.

7. Выбор репрезентативных (сравнимых с ключевым участком) хронологий в пределах региона.

Под репрезентативными для региона хронологиями понимаются древесно-кольцевые ряды, полученные из типичных для региона геосистем, сравнимые с ключевым участком (схожий высотный уровень рельефа, высотная зона, идентичная порода дерева, измеренный параметр годового кольца, возраст более 100 лет). Индивидуальные хронологии с выбранных точек осреднялись для получения сводной хронологии по точке. При исключении кривой роста получены индексированные индивидуальные и

индексированные сводные хронологии по каждой точке региона. Исследуемый период – XX век.

8. Сравнение сводных и сводных индексированных хронологий ключевого участка и других точек региона в XX в.

Сводные и сводные индексированные хронологи региона, включая хронологии ключевого участка, сравнивались методом кластерного анализа по подобию приростов (индексов приростов). Метод Варда, коэффициент корреляции Пирсона. Кластерное дерево точек позволяет пространственно оценить однородность (разнородность) выбранного материала.

9. Определение ведущих факторов продукционного процесса в регионе в XX веке.

Для массива индексированных хронологий региона применялся метод главных компонент с последующей интерпретацией компонент изменчивости (см. 2.4.-2.6.).

10. Выделение режимов продукционного процесса в регионе в XX веке и их интерпретация.

Режимы продукционного процесса регионального уровня выделялись аналогично локальным: методом кластеризации массива индивидуальных и индексированных индивидуальных хронологий региона по подобию лет. Для каждого режима определялся ведущий фактор изменчивости продукционного процесса (см. 3-5).

11. Место локальных режимов продукционного процесса в режимах регионального уровня.

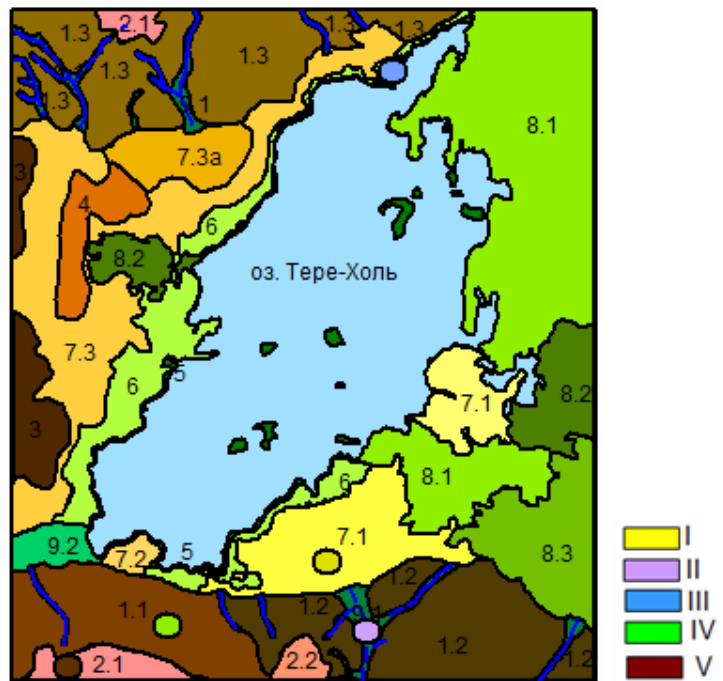
Наложение периодов локальных и региональных режимов позволяет судить о силе проявления региональных и локальных факторов изменчивости продукционного процесса, о типичности или уникальности хода продукционного процесса ключевого участка в регионе.

Раздел. 4.2. Дендрохронологический материал

Ключевой участок (Терехольская котловина Тывы)

Образцы древесины (керны и спилы) лиственницы сибирской (*Larix sibirica Ledeb.*) были отобраны по стандартной методике (Шиятов и др., 2000) в пяти контрастных местообитаниях – геосистемах ранга группы урочищ. Полевые работы проводились в составе полевой экспедиции культурного фонда «Крепость Пор-Бажын» и Географического факультета МГУ в 2008 г.

На основе визуального анализа космического снимка QuickBird (7 августа, 2007) в юго-западной части Терехольской котловины выбрано 5 ключевых участков для отбора дендрохронологического материала (рис. 20, табл. 3).



М 1:100 000

Рис. 20. Площадки отбора дендрохронологического материала в Терехольской котловине

Ключевые участки характеризуют контрастные ландшафтные условия с разным набором ведущих факторов ландшафтной дифференциации (табл. 3). В совокупности проанализировано 224 образца со 112 деревьев. Построено 112 индивидуальных хронологий, 5 – локальных, 1 – региональная.

Таблица 3.

Характеристики местообитаний и древесно-кольцевых хронологий

№	Характеристика местообитаний групп урочищ	Число пробных площадок / деревьев	Возраст деревьев, лет	Min/ср./мах прирост за 1906-2008 гг., см	Синхронность (Glк)	Кросс-корреляция (СС)	Индекс перекрестного датирования (CDI)
I	Краевая зона днища котловины (абс. высота 1320-1325 м): - конуса выноса местных водотоков, сложенные щебнисто-суглинистыми пролювием, с отдельно стоящими лиственницами (II кл. бонитета) разнотравно-злаковые и бобово-злаково-разнотравные на стратоземе темногумусовом; - покатый северный склон флювиогляциального вала, сложенный слоистыми песчано-гравийно-щебнистыми отложениями, с разреженным лиственничником кустарниковым (шиповник, жимолость) разнотравно-злаковым (III кл. бонитета) на палевых темногумусовых почвах.	3/19	110-206	0.01/ 1.19 /5.0	68.5%	48.7	53
II	Днище долины руч. Айыл (1370 м), сложенное галечно-валунным и песчаным аллювием, с елово-лиственничником с кедром рододендроновосмородиновым брусничным зеленомошным (IV кл.	2/23	127-476	0.04/ 0.46 /3.62	58.6%	65.1	19.3

	бонитета) на криоземе гумусово квазиглеевом вторично оторфованном.						
III	Озерные террасы (1300-1302 м): - слабонаклонная вторая озерная терраса, сложенная озерными суглинистыми отложениями, с листовенничниками разнотравно-осоковыми (III кл. бонитета) на гумусовых квазиглеевых иловато-перегнойных вторично оторфованных почвах; - пологий склон щебнисто-супесчаного делювиального шлейфа с листовенничниками бобово-разнотравно-злаковыми (III кл. бонитета) на стратоземах темногумусовых	2/18	101-272	0.05/ 0.87 / 6.33	58.5%	19.1	16.9
IV	Крутой склон северной экспозиции (1350-1700 м), сложенный коллювием мраморов, кварцитов, гнейсов, с листовенничником с кедром рододендроновым брусничным зеленомошным (IV кл. бонитета) на криоземе перегнойно-торфянистом потечно-гумусовом и с елово-лиственничником с кедром рододендроновым мертвопокровным зеленомошным (IV кл. бонитета) на стратоземе темногумусовом вторично оторфованном.	4/38	102-173	0.02/ 0.47 / 6.9	58.0%	74.3	17.3
V	Слабонаклонное междуречье оз. Тере-Холь и руч. Айыл (1700-1800 м), сложенное элювием мраморов, с кедрово-лиственничником с елью багульниково-брусничным зеленомошным и	2/14	135-260	0.04/ 0.55 / 3.6	61.8%	61.1	37.8

	осоково-бруснично-злаковым (IV кл. бонитета) на грубогумусовых органо-аккумулятивных остаточно карбонатных почвах.						
--	---	--	--	--	--	--	--

Региональные данные

Для анализа на региональном уровне хронологии получены из Международного банка данных (Tree-Ring Data Bank). В пределах Алтае-Хангае-Саянского региона на основе анализа карты физико-географического районирования (Самойлова, 2009) и ландшафтной карты (Самойлова, 2008) выбрано 4 точки с данными: КК, НВ, ТМ, SM (рис. 20, табл. 4).



Рис. 20. Точки регионального анализа (легенда к карте – рис. 7). Использована карта физико-географического районирования трансграничной территории гор юга Сибири (Самойлова, 2009).

Таблица 4.

Характеристика площадок для регионального анализа (по Самойлова, 2008)

	Ландшафтная характеристика площадок (Tree-Ring Data Bank, Самойлова, 2008)	Число пробны х деревье в	Возраст деревье в, лет	Min/ср./ тах прирост за 1906- 2008 гг., см	Синх- рон- ность (Glk)	Кросс- коррел ляция (CC)	Индекс пере- крестного датиро- вания (CDI)
Tkh	Tere-Khol (Tkh). Абс. высота 1300-1700 м. 51°с.ш., 97°в.д. Крутосклонные среднегорья глубокорасчлененные с маломощным покровом дефлюкционных отложений, местами каменисто-осыпные с кедрово-лиственничными лесами с примесью ели, мелколиственных пород на горных перегнойных оподзоленных почвах.	112	101-476	0.01/ 0.7 / 6.9	61.1%	53.7	29
SM	Suulchyin Medee (SM). Абс. высота 1800 м. 49.5 °с.ш., 100.8 °в.д. Крутосклонные среднегорья глубокорасчлененные с маломощным покровом дефлюкционных отложений, местами каменисто-осыпные с лиственничными, березово-лиственничными (иногда парковыми) лесами на горно-лесных чернозомевидных, горно-лесных дерновых неоподзоленных почвах в сочетании с лесными	12	287-446	0.01/ 0.41 / 1.2	79%	70	102

	лугами на горно-луговых почвах.						
ТВ	Telmen Novoo (ТН). Абс. высота 1840 м. 48.8 °с.ш., 97.1 °в.д. Крутосклонные среднегорья глубокорасчлененные с маломощным покровом дефлюкционных отложений, местами каменисто-осыпные с лиственничными, березово-лиственничными (иногда парковыми) лесами на горно-лесных чернозомевидных, горно-лесных дерновых неоподзоленных почвах в сочетании с лесными лугами на горно-луговых почвах.	16	238-361	0.05/ 0.4 / 1.2	71%	65	80
НВ	Horin Bugatiyn (НВ). Абс. высота 2229 м. 49.4 °с.ш., 94.9 °в.д. Крутосклонные среднегорья глубокорасчлененные с маломощным покровом дефлюкционных отложений, местами каменисто-осыпные с лиственничными, березово-лиственничными (иногда парковыми) лесами на горно-лесных чернозомевидных, горно-лесных дерновых неоподзоленных почвах в сочетании с лесными лугами на горно-луговых почвах.	22	224-453	0.05/ 0.59 / 1.7	64%	33.8	48.5
КК	Khalzan Khamar (КК). Абс. высота 2500 м. 49.9 °с.ш., 91.6 °в.д.	16	329-673	0.01/ 0.38 / 0.97	71.6	46	62.5

	Крутосклонные среднегорья глубокорасчлененные с маломощным покровом дефлюкционных отложений, местами каменисто-осыпные с лиственничными, березово-лиственничными (иногда парковыми) лесами на горно-лесных чернозомевидных, горно-лесных дерновых неоподзоленных почвах в сочетании с лесными лугами на горно-луговых почвах.						
--	--	--	--	--	--	--	--

Раздел 4.3. Климатические данные

Ключевой участок (Терехольская котловина Тывы)

Ряды наблюдений на ближайших метеостанциях начинаются во второй половине XX в.: «Кызыл» (температура за 1943–2010 гг.; осадки за 1966–2010 гг., 1310 м над ур.м.), «Эрзин» (температура за 1950–2010 гг., осадки за 1949–2010 гг. с пропусками в 1965, 1977, 1994 гг., 1101 м над ур.м.) (www.meteo.ru). Ближайшая станция «Кунгур-Тук» (1958–1962 гг., 1310 м над ур.м.) завершила свою работу в середине XX в. (Климат СССР, 1967, 1969). В связи с этим использованы климатические данные модели CRU TS2.1 (Climate Research Unit), содержащие значения среднемесячных метеорологических переменных (температура, осадки, влажность и др.) с 1901 по 2002 гг. для ячеек геодезической сетки $0,5 \times 0,5^\circ$ (New et al., 2002, Mitchell et al., 2004). Подобные гридированные данные строятся путем интерполяции результатов метеорологических наблюдений с учетом рельефа, широтного и континентального положения и других параметров. Они хорошо отражают фоновые климатические изменения.

Межгодовая изменчивость среднегодовой температуры воздуха связана с динамикой температур зимних месяцев (табл. 5). В месяцы теплого периода температуры воздуха в разные годы более постоянны, стандартные отклонения не превышают 1.4°C . Достоверный полиномиальный тренд третьей степени описывает 58% изменчивости среднегодовых температур воздуха в XX веке (рис. 20). Потепление среднегодовой температуры воздуха с -7°C в конце 70-х годов до -4°C в первые годы XXI в. (рис. 21) происходит за счет второй половины зимы и весны (табл. 5).

Межгодовая изменчивость атмосферного увлажнения (рис. 22) выше, чем температур. Количество осадков во влажные и сухие годы различается в 1.3–1.5 раза. Различия характерны как в последовательности нескольких лет, так в многолетних трендах. Полиномиальный тренд сумм годовых осадков достоверно имеет степень вплоть до пятой и воспроизводит 25% низкочастотной изменчивости атмосферного увлажнения. Середина XX века

отличалась повышенным увлажнением в летнее время (250-350 мм), а 20-е и 70-е годы были относительно засушливыми (200-250 мм). В целом годовая влагообеспеченность определяется количеством осадков в теплый период (табл. 6) и особенно в июле.

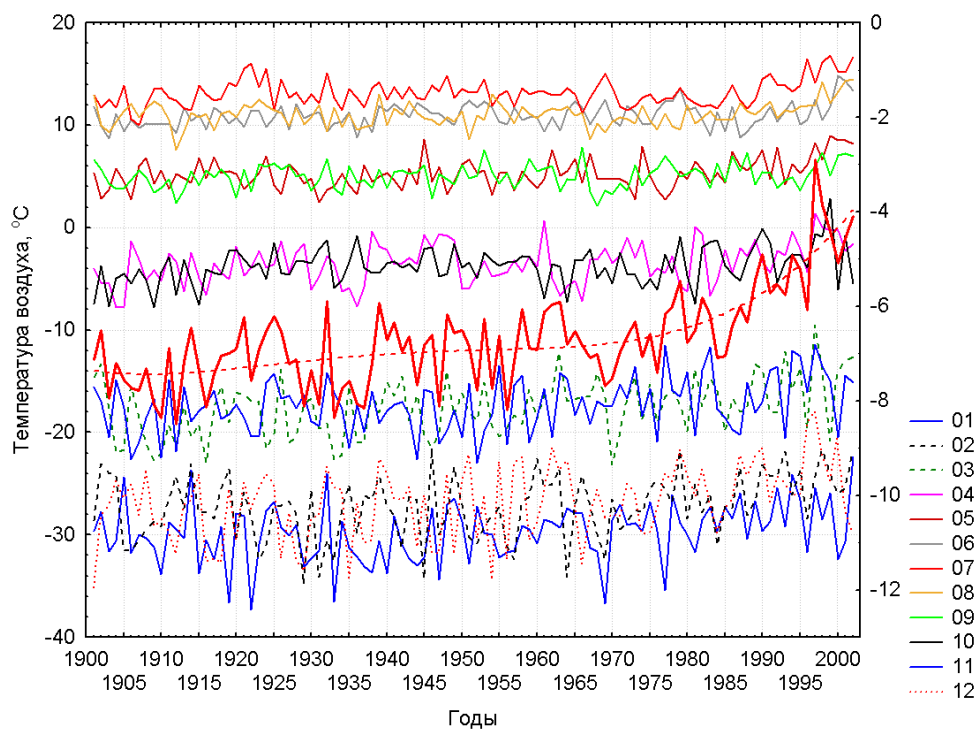


Рис. 21. Межгодовая изменчивость температуры воздуха

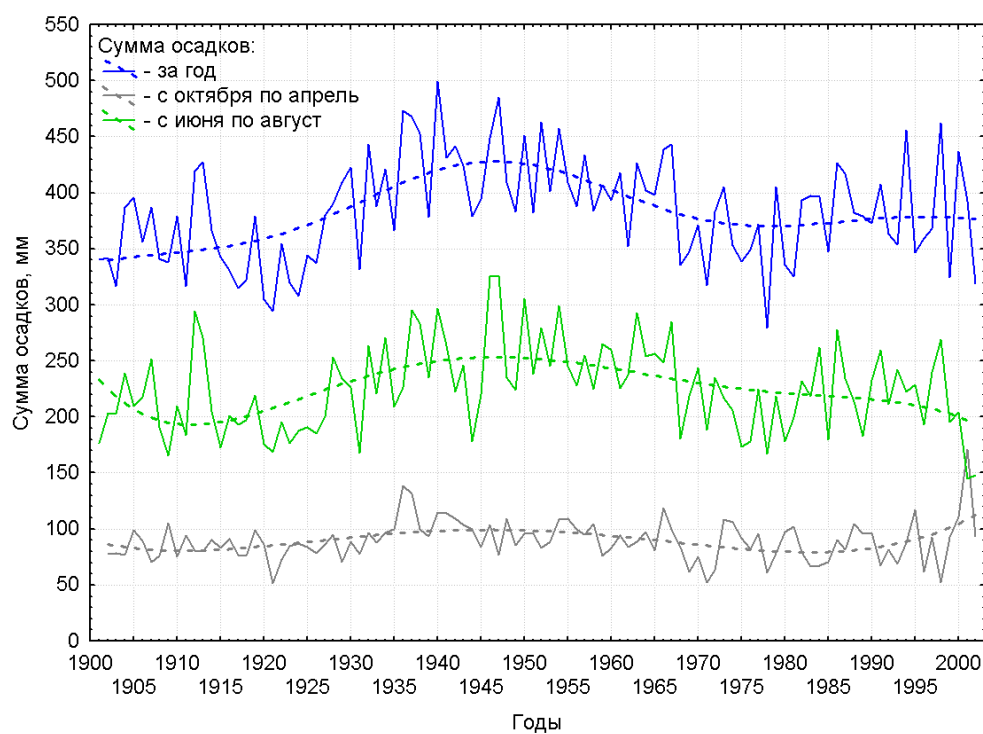


Рис. 22. Межгодовая изменчивость атмосферных осадков

Таблица 5.

Характеристики среднемесячных температур воздуха за 1901-2002 годы

Месяц	Значения				Вклад в среднегодовую изменчивость			Вклад в многолетнюю низкочастотную изменчивость		
	Средн	Мин	Макс	Ст. отк.	Beta	Ст. Ош.	Ур. Знач.	Beta	Ст. Ош.	Ур. Знач.
01	-29.8	-37.3	-22.4	2.9	0.24	0.00	0.00			
02	-27.2	-34.8	-21.5	3.1	0.25	0.00	0.00	0.17	0.07	0.020
03	-17.6	-23.2	-9.5	2.8	0.23	0.00	0.00	0.17	0.08	0.029
04	-3.5	-7.8	1.4	2.0	0.16	0.00	0.00	0.16	0.07	0.027
05	5.3	2.5	9.0	1.4	0.12	0.00	0.00	0.25	0.07	0.001
06	10.9	8.7	14.8	1.1	0.09	0.00	0.00			
07	13.2	10.0	16.8	1.3	0.11	0.00	0.00			
08	11.1	7.6	14.5	1.2	0.09	0.00	0.00	0.15	0.08	0.045
09	5.0	2.1	7.8	1.2	0.10	0.00	0.00			
10	-3.8	-7.8	2.8	1.8	0.15	0.00	0.00			
11	-17.3	-23.0	-11.4	2.7	0.22	0.00	0.00	0.15	0.07	0.041
12	-26.8	-35.2	-17.9	3.6	0.29	0.00	0.00			

Таблица 6.

Характеристики среднемесячных сумм осадков за 1901-2002 годы

Месяц	Значения				Вклад в среднегодовую изменчивость			Вклад в многолетнюю низкочастотную изменчивость		
	Средн	Мин	Макс	С. отк.	Beta	Ст. Ош.	Ур. Знач.	Beta	Ст. Ош.	Ур. Знач.
01	6.1	1.1	15.7	2.7	0.06	0.00	0.00			
02	6.9	0.0	18.7	3.3	0.07	0.00	0.00			
03	8.7	1.7	22.1	3.9	0.08	0.00	0.00			
04	21.2	8.5	49.4	7.3	0.16	0.00	0.00			
05	32.9	7.5	74.1	12.5	0.27	0.00	0.00			
06	61.7	26.4	116.9	18.4	0.39	0.00	0.00	0.23	0.10	0.020
07	89.9	41.4	147.5	22.6	0.48	0.00	0.00	0.26	0.09	0.004
08	73.6	32.5	124.7	17.4	0.37	0.00	0.00	0.22	0.09	0.015
09	36.1	9.3	74.4	12.6	0.27	0.00	0.00			
10	19.6	4.5	46.0	8.4	0.18	0.00	0.00			
11	16.3	4.1	37.4	6.7	0.14	0.00	0.00	0.16	0.09	0.083
12	10.8	2.0	31.2	4.9	0.10	0.00	0.00	0.22	0.08	0.012

Алтае-Хангае-Саянский регион

Ряды наблюдений на ближайших к выбранным точкам региона метеостанциях, преимущественно начинаются во второй половине XX века и содержат многочисленные пропуски: «Мурен» (49.57 °с.ш., 100.17 °в.д.,

1283м, температура за 1941-1991гг., осадки за 1941-2000 гг.), «Улиастай» (47.75 °с.ш., 96.85 °в.д., 1759м, температура за 1937-1991 гг., осадки за 1937-2000 гг.), «Баян Уул Джавшан» (49.70 °с.ш., 96.40 °в.д., 1680м, температуры за 1962-1983, осадки 1962-1983 гг.), «Баруунтуруун» (49.65 °с.ш., 94.40 °в.д., 1232м, температуры за 1961-1983 гг., осадки за 1962-2000 гг.); поэтому использованы климатические данные модели CRU TS3.1 (Climate Research Unit).

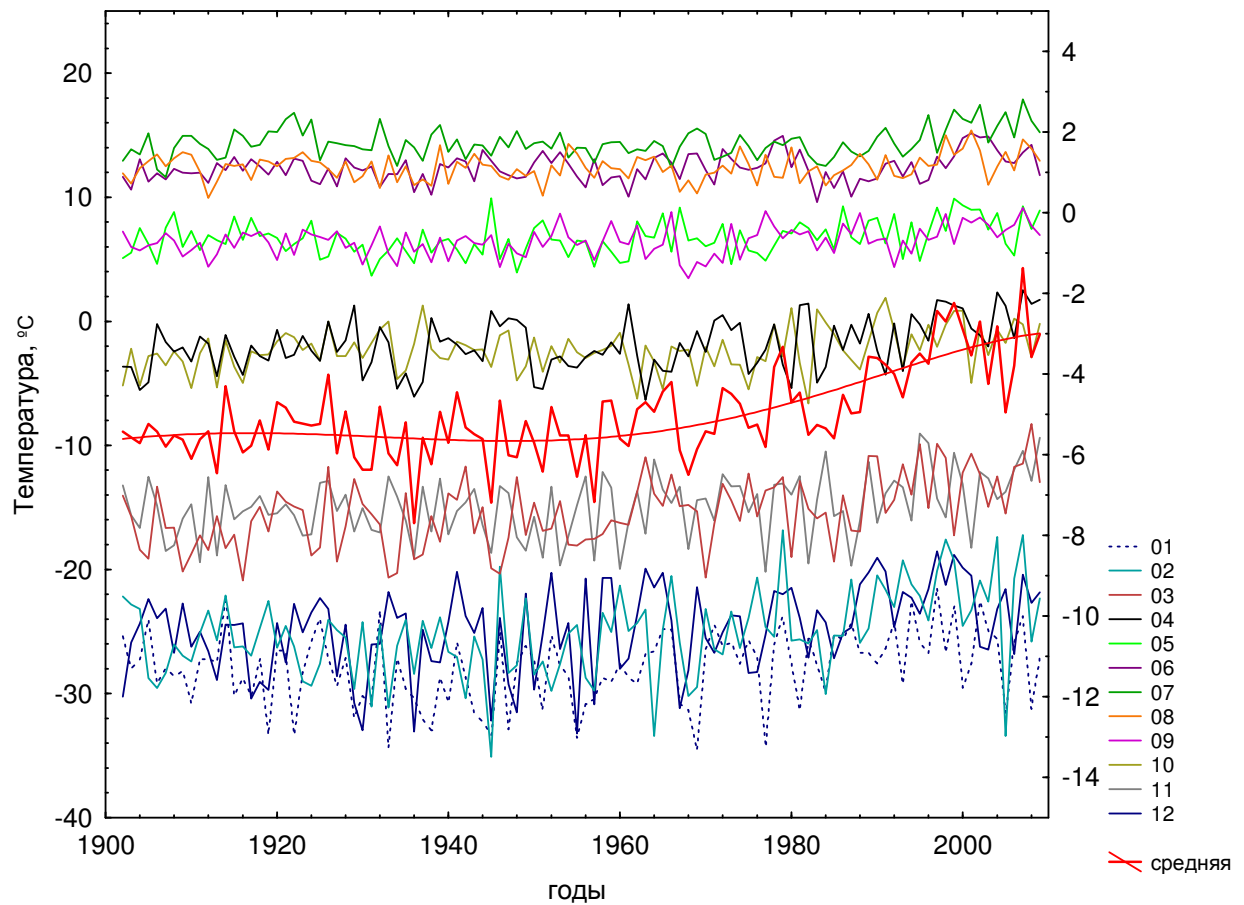


Рис. 23. Межгодовая изменчивость температуры воздуха

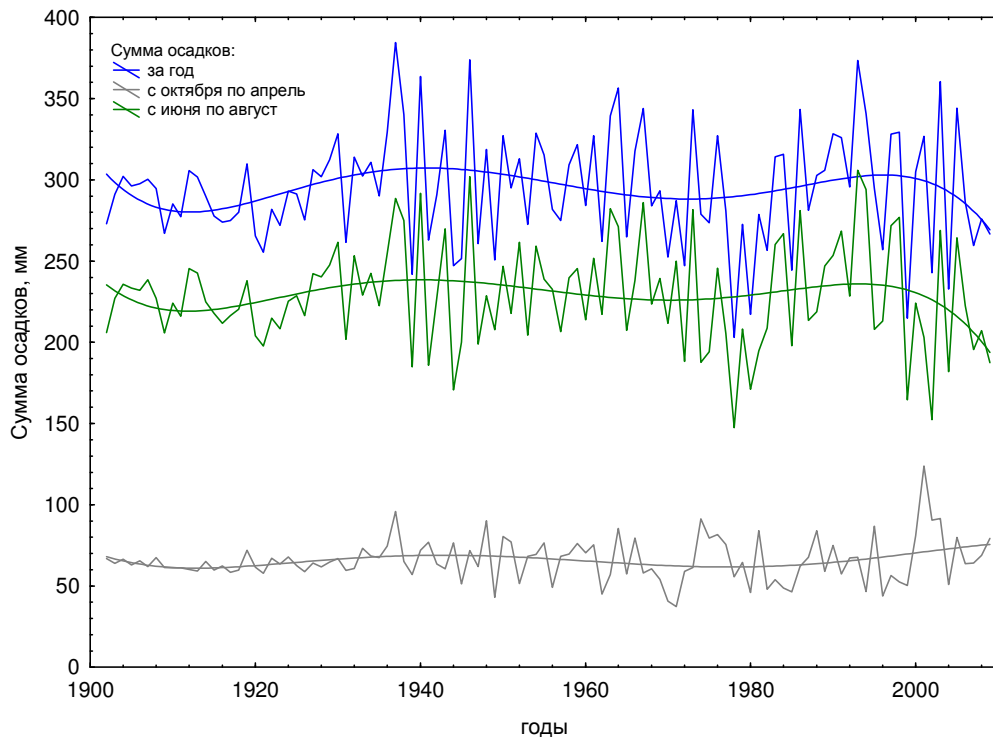


Рис. 24. Межгодовая изменчивость атмосферных осадков

Межгодовая изменчивость среднегодовой температуры воздуха связана с динамикой температур зимних месяцев (табл. 7). В месяцы теплого периода температуры воздуха в разные годы более постоянны, стандартные отклонения не превышают 1.4°C . Достоверный полиномиальный тренд пятой степени описывает 55% изменчивости среднегодовых температур воздуха в XX веке (рис. 23). Потепление среднегодовой температуры воздуха с -7°C в конце 70-х годов до -4°C в первые годы XXI в. (рис. 23) происходит за счет второй половины зимы и весны (табл. 7), как на ключевом участке.

Таблица 7.

Характеристики среднемесячных температур воздуха за 1901-2002 годы

Месяц	Значения				Вклад в среднегодовую изменчивость			Вклад в многолетнюю низкочастотную изменчивость		
	Средн	Мин	Макс	Ст. отк.	Beta	Ст. Ош.	Ур. Знач.	Beta	Ст. Ош.	Ур. Знач.
01	-27.9	-34.6	-34.6	2.9	0.22	0.00	0.00			
02	-25.2	-35.1	-35.1	3.5	0.26	0.00	0.00	0.26	0.08	0.00
03	-15.4	-20.9	-20.9	2.7	0.21	0.00	0.00	0.24	0.08	0.00
04	-1.9	-6.3	-6.3	2.1	0.16	0.00	0.00	0.18	0.07	0.01
05	6.7	3.7	3.7	1.4	0.10	0.00	0.00	0.31	0.07	0.00
06	12.3	9.6	9.6	1.1	0.08	0.00	0.00			
07	14.4	11.6	11.6	1.2	0.09	0.00	0.00			

08	12.4	9.9	9.9	1.0	0.08	0.00	0.00			
09	6.5	3.5	3.5	1.2	0.09	0.00	0.00			
10	-2.3	-6.6	-6.6	1.7	0.13	0.00	0.00			
11	-14.9	-20.2	-20.2	2.5	0.19	0.00	0.00			
12	-24.7	-33.2	-33.2	3.4	0.26	0.00	0.00			

Таблица 8.

Характеристики среднемесячных сумм осадков за 1901-2002 годы

Месяц	Значения				Вклад в среднегодовую изменчивость			Вклад в многолетнюю низкочастотную изменчивость		
	Средн	Мин	Макс	С. отк.	Beta	Ст. Ош.	Ур. Знач.	Beta	Ст. Ош.	Ур. Знач.
01	4.49	0.8	11.4	2.1	0.06	0.00	0.00			
02	3.61	0.4	8.5	1.6	0.05	0.00	0.00			
03	8.01	1.1	23.4	3.7	0.11	0.00	0.00			
04	16.15	5.0	37.4	6.3	0.18	0.00	0.00			
05	25.36	7.6	53.2	8.4	0.24	0.00	0.00			
06	47.30	15.5	92.2	13.8	0.39	0.00	0.00	0.23	0.10	0.020
07	71.18	32.7	134.2	17.5	0.50	0.00	0.00	0.26	0.09	0.004
08	58.10	21.1	109.3	15.1	0.43	0.00	0.00	0.22	0.09	0.015
09	27.13	7.1	70.2	10.0	0.29	0.00	0.00			
10	14.28	3.8	33.1	6.0	0.17	0.00	0.00			
11	11.50	1.6	31.0	5.0	0.14	0.00	0.00	0.16	0.09	0.083
12	7.80	2.1	22.0	3.9	0.11	0.00	0.00	0.22	0.08	0.012

Межгодовая изменчивость атмосферного увлажнения (рис. 24) выше, чем температур в регионе и выше, чем осадков на ключевом участке. В изменчивости осадков высока доля высокочастотной изменчивости, полиномиальный тренд сумм годовых пятой степени воспроизводит 5% низкочастотной изменчивости, ярко выраженного максимума осадков в середине XX века не наблюдается. В целом годовая влагообеспеченность определяется количеством осадков в теплый период (табл. 8) и особенно в июле-августе.

ГЛАВА 5. ФАКТОРЫ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ И РЕЖИМЫ ПРОДУКЦИОННОГО ПРОЦЕССА ЛОКАЛЬНОГО УРОВНЯ В XX ВЕКЕ

Раздел. 5.1. Факторы изменчивости приростов в Терехольской котловине в XX веке

Для визуализации исходных данных радиальных приростов была использована регулярная сетка значений (растр), столбцы которой соответствуют годам, строки – индивидуальным хронологиям, ячейки раскрашены в зависимости от величины прироста (рис. 25). Растр иллюстрирует изменчивость годовичных приростов во времени (между годами) и в пространстве (между деревьями). Расшифровка номеров геосистем приведена в таблице 3.

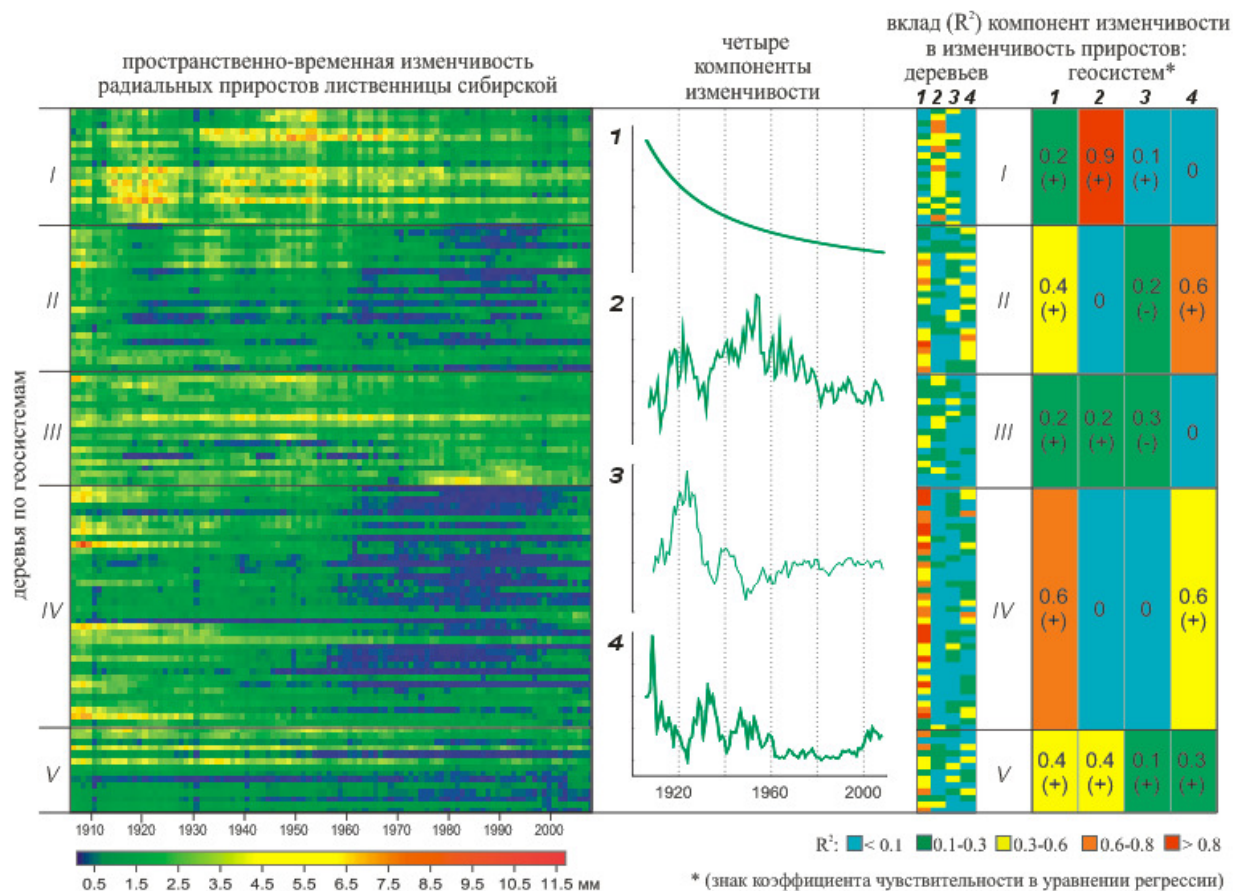


Рис. 25. Пространственно-временная изменчивость радиальных приростов лиственницы сибирской, компоненты изменчивости приростов, вклад компонент в изменчивость приростов индивидуальных деревьев и в интегральный прирост древостоев пяти геосистем

Общая изменчивость приростов. Сводные (локальные и региональные) древесно-кольцевые хронологии по местообитаниям для XX в. в исходном и индексированном виде приведены на рис. 26-29.

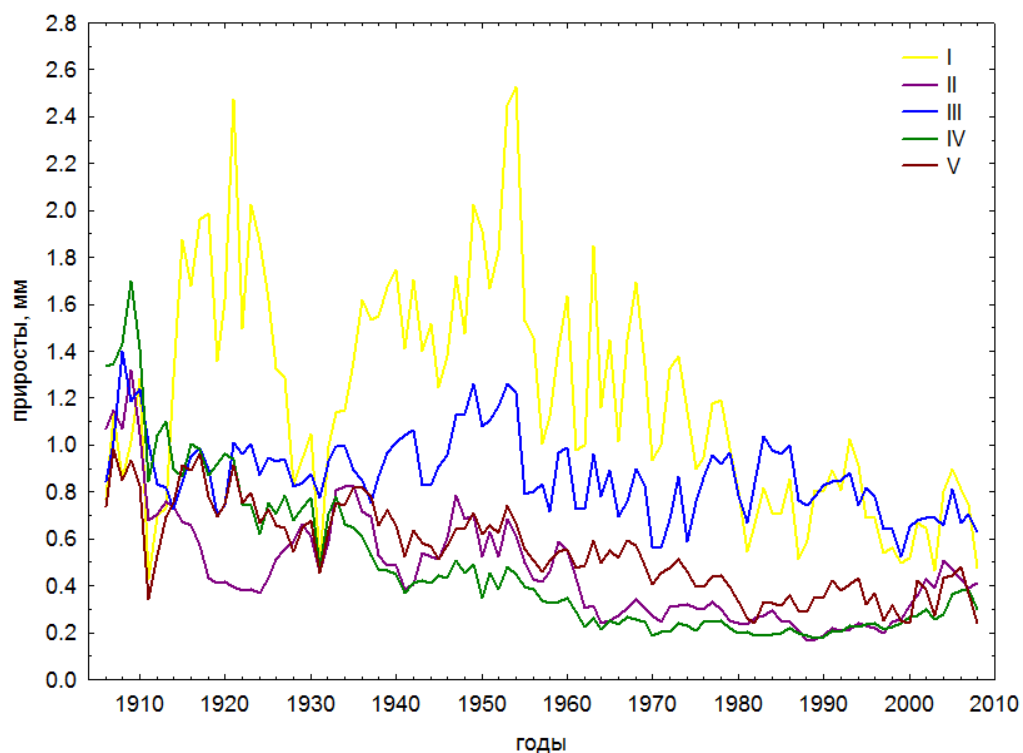


Рис. 26. Локальные древесно-кольцевые хронологии по местообитаниям (XX в.)

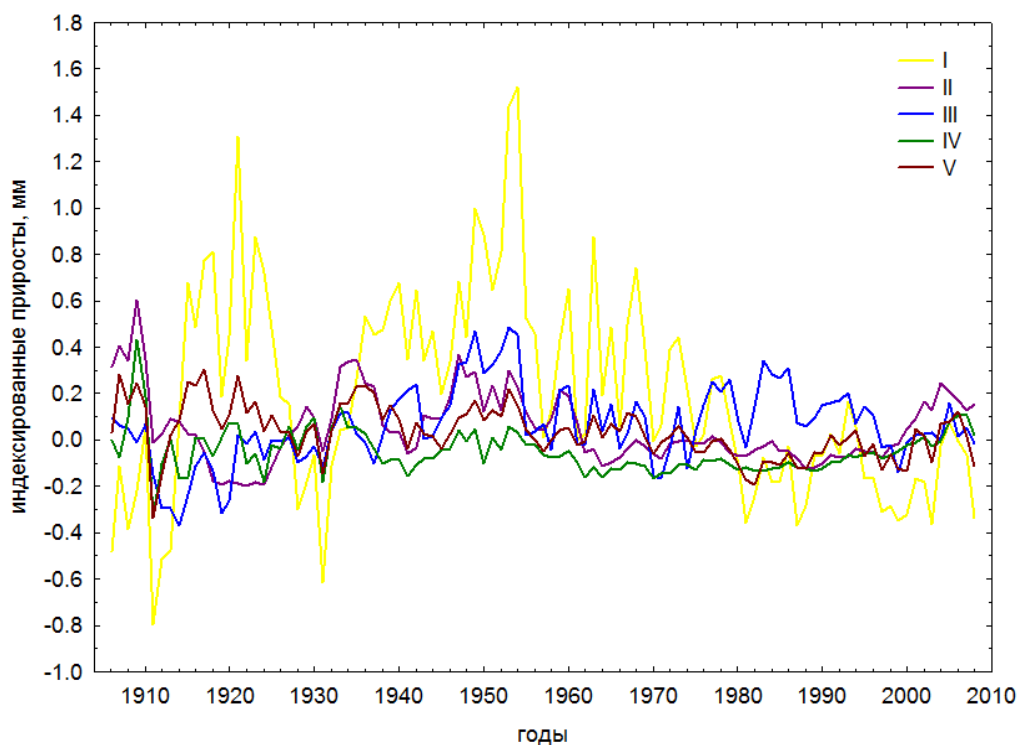


Рис. 27. Локальные индексированные древесно-кольцевые хронологии по местообитаниям (XX в.)

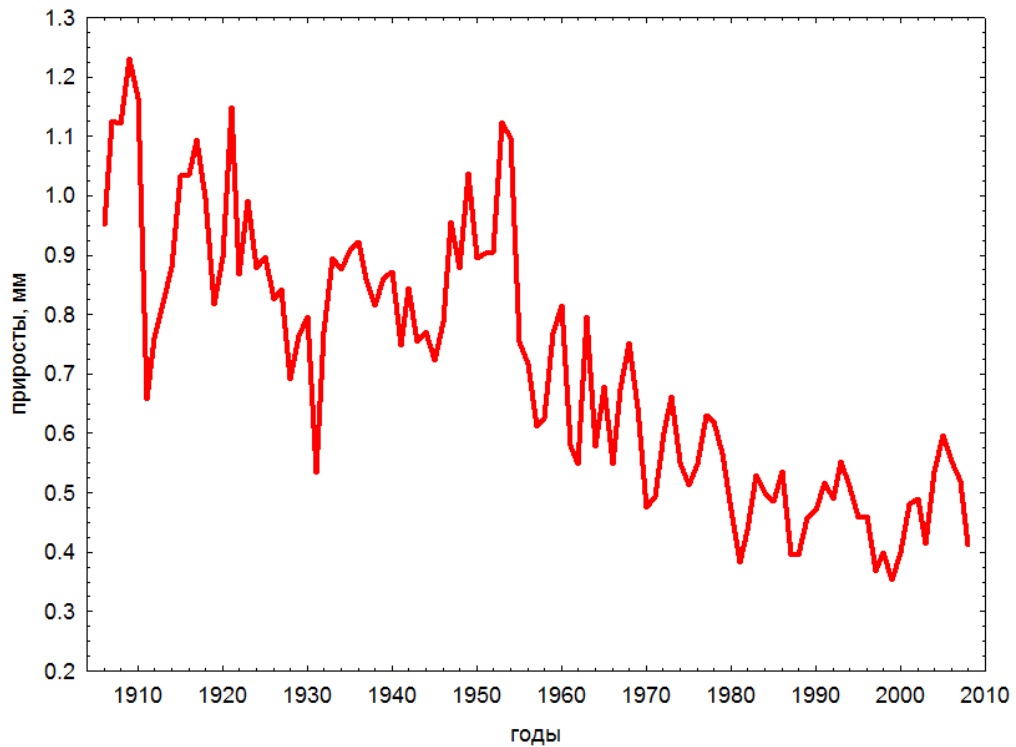


Рис. 28. Региональная древесно-кольцевая хронология для Терехольской котловины (XX в.)

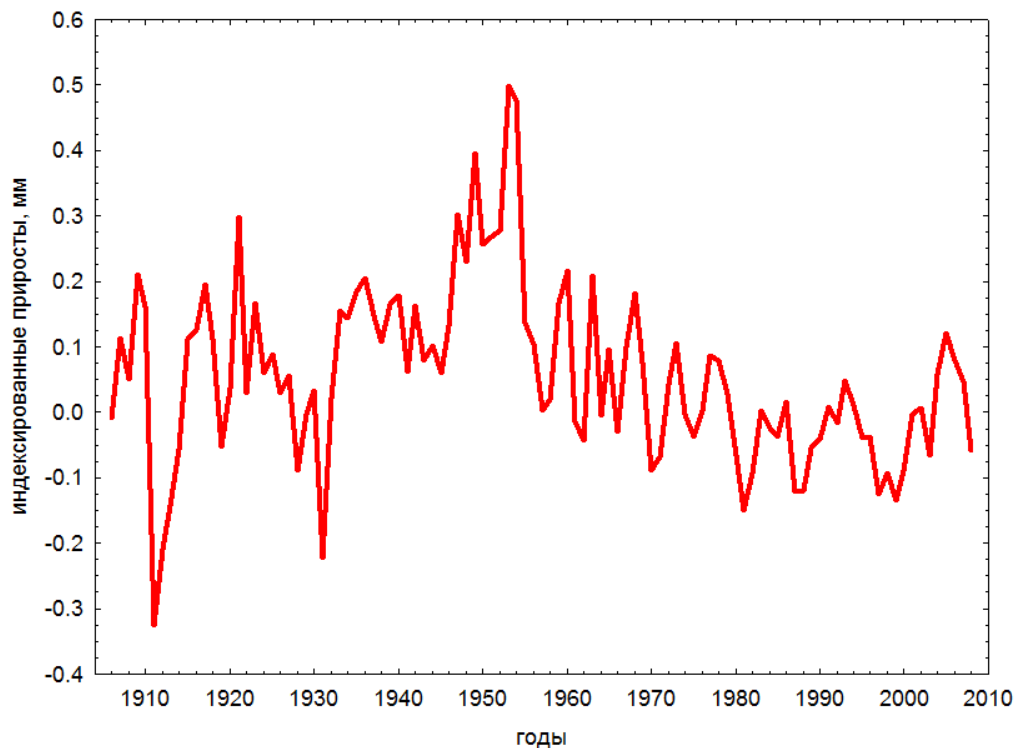


Рис. 29. Региональная индексированная древесно-кольцевая хронология для Терехольской котловины (XX в.)

Каждое местообитание отличается особым типом динамики годичных приростов за 1906–2008 гг. Сочетания лиственных перелесков и степных ценозов днища котловины (I) характеризуются наибольшими абсолютными

значениями приростов с максимумом в середине XX в. и их высокой синхронной межгодовой изменчивостью.

Сомкнутые древостои таежных геосистем II, IV, V обладают меньшими абсолютными значениями, меньшей межгодовой изменчивостью, высокой согласованностью приростов. Максимум приростов деревьев геосистем IV и V приходится на начало XX в.

Для лиственничников озерных террас (III) характерен особый тип изменчивости приростов с двумя максимумами приростов в середине и в конце XX в., низкой кросс-корреляцией хронологий, что связано с разнонаправленностью тенденций роста лиственниц второй озерной террасы и подножья коренного склона, подверженных влиянию изменения уровня озера Тере-Холь.

На фоне различных типов изменчивости продукционного процесса во всех местообитаниях выделяются экстремальные годы с минимальными (1911, 1919, 1931, 1970 и 1997 гг.) и максимальными (1909, 1953, 1968, 1977 и 2005 гг.) значениями приростов.

Индексированная региональная хронология характеризуется относительно высокими, но нестабильными (с высокой амплитудой колебания) приростами в начале XX в., максимум приростов в середине века, общим снижением приростов во второй половине века с минимумом в 1980–2000-е гг.

В 1906-2008 гг. в среднем 38% изменчивости приростов лиственниц связано с влиянием автохтонных факторов, 62% изменчивости – с аллохтонными факторами.

Автохтонная изменчивость. (Первая компонента). Максимальный вклад автохтонной составляющей изменчивости ($R^2=0.92$) наблюдается в сомкнутых лиственничниках северного склона (IV) с экспоненциальной формой кривой роста. Для деревьев характерна высокая начальная скорость роста (до 4 мм) при низком уровне стабилизации приростов (0.3–0.4 мм).

Наиболее чувствительны к влиянию аллохтонных факторов лиственничники днища котловины (I) и озерных террас (III), что выражается в высокой изменчивости приростов внутри одной хронологии и в слабой выраженности кривой роста (вклад кривой роста $R^2=0.16-0.18$). Лиственницы медленно растут в начале жизни (I), но имеют высокий уровень стабилизации приростов (до 3 мм).

В степном днище котловины более контрастно проявляются заморозки, засухи, сильные ветры, резкие колебания температуры и осадков, на озерных террасах – колебания уровня грунтовых вод, вызванные изменениями уровня озера. Сомкнутые лиственничники на северном склоне защищены от действия сильного ветра, здесь не так остро, как в степи, проявляется в летний период жара, недостаток влаги компенсируется оттаиванием мерзлоты и подпиткой корней деревьев этой влагой.

Аллохтонная изменчивость. Изменчивость индексированных приростов разложена на независимые составляющие методом главных компонент. Первые три компонента в сумме описывают 63% аллохтонно обусловленной изменчивости (рис. 23). Нумерацию аллохтонных компонент начнем со второй, первой считая автохтонную компоненту (рис. 23).

Вторая компонента воспроизводит 34% изменчивости индексированных приростов 112 деревьев, описывает максимум приростов в середине XX века. (1935-1970 гг.). Компонента повторяет среднюю индексированную кривую для днища котловины (I, $R^2=0.93$), сходна с кривыми лиственниц междуречья (V, $R^2=0.38$) и озерных террас (III, $R^2=0.24$). Двадцать два процента изменчивости второй компоненты описывается осадками июня и июля текущего вегетационного сезона и осадками июня предыдущего вегетационного сезона: чем больше осадков, тем больше прирост. Другие климатические переменные не имеют статистически достоверной связи.

На июнь-июль приходится безморозная часть вегетационного периода, особенно значимая для ростовых процессов. В условиях резко

континентального климата с коротким жарким и сухим летом недостаток влаги в июне-июле ведет к иссушению степных условий местообитания (I), лимитируя прирост.

В меньшей степени к летним осадкам чувствительны деревья автономных позиций (междуречье, V) на грубогумусовых аккумулятивных почвах, где отсутствуют дополнительные источники увлажнения почвы в виде мерзлоты.

Летние осадки – основная приходная часть водного баланса озера Тере-Холь. При малом количестве летних осадков уровень грунтовых вод понижается, деревья склона делювиально-пролювиального шлейфа на второй озерной террасе (III) испытывают недостаток влаги. При этом лиственницы, произрастающие непосредственно на второй озерной террасе, к этому фактору не восприимчивы.

Третья компонента описывает 18% изменчивости индексированных хронологий, характеризуется максимумом значений в начале XX века (1914-1924 гг.), значима для лиственниц днища долины ручья Айыл (II, $R^2=0.21$), озерных террас (III, $R^2=0.26$). Тридцать семь процентов изменчивости с обратной связью описываются осадками текущего и предшествующего вегетационного периодов (июнь, июль, август): чем больше осадков, тем меньше прирост. Лиственничники супераквальных позиций днища долины ручья Айыл и озерных террас на криоземах в летний период не испытывают недостатка влаги в корнеобитаемом слое. Обильные летние осадки вызывают повышение уровней ручья Айыл и озера Тере-Холь, при которых возможно частичное затопление днища и первой озерной террасы, что негативно сказывается на приростах чувствительной к переувлажнению лиственницы.

Четвертая компонента воспроизводит 11% аллохтонно обусловленной изменчивости, характеризует экстремально высокие приросты в 1909 г., низкие приросты во второй половине XX в. (1962-1997 гг.), постепенное увеличение приростов, начиная с 1998 г.

К четвертому фактору наиболее чувствительны таежные сообщества на криоземах: днище долины ручья Айыл (II, $R^2=0.64$), склоны северной экспозиции (IV, $R^2=0.58$), с меньшей чувствительностью междуречий (V, $R^2=0.27$). Компонента на 23% отрицательно описывается температурами холодного периода – января и марта: чем холоднее, тем больше прирост в предстоящий вегетационный период. Механизм отрицательного влияния зимних температур на прирост не очевиден. Вероятно, низкие зимние температуры способствуют большему промерзанию почвы и создают влагозапас для предстоящего вегетационного сезона. В связи с этим мерзлотные геосистемы (II, IV) не чувствительны к осадкам летнего периода.

Важно отметить, что приведенные компоненты изменчивости – лишь обобщенные независимые типы изменчивости приростов, а не сами факторы таковой изменчивости. Доступные климатические данные описывают меньше половины дисперсии компонент, однако $R^2 > 0.2$ в условиях строгого F-критерия при пошаговой регрессии позволяет предполагать наличие связи. Возможно, климатический сигнал был бы выше при использовании данных метеостанций.

Предложенный подход с использованием методов главных компонент и регрессионного анализа позволяет более строго оценивать влияние локальных условий местообитания на трансформацию климатического отклика, нежели применение для этих целей корреляций между индексированными хронологиями из разных местообитаний и климатическими данными, дает возможность исключить из анализа случайные комбинации.

Вклад независимых типов изменчивости годовых приростов древесины, интерпретированных с точки зрения климата, в изменчивость приростов разных местообитаний (геосистем) можно рассматривать как количественную оценку трансформации региональных факторов внутриландшафтной неоднородностью, что представляет особый интерес для индикационного структурно-функционального ландшафтоведения.

Для Тывы существуют две длительные древесно-кольцевые хронологии: 1104-летняя древесно-кольцевая хронология Tarys (Юго-Восточная Тыва), (Ойдуцаа и др., 2011) и 2367-летняя хронология Mongun из горного массива Монгун-Тайга (Западная Тыва), (Мыглан и др., 2012). Максимум приростов в середине XX века, зафиксированный для хронологий Терехольской котловины, отмечается в длительных Тувинских хронологиях (Ойдуцаа и др., 2011; Мыглан и др., 2012), что свидетельствует о региональной тенденции. Однако хронологии отличаются по климатическому сигналу. Длительные хронологии чувствительны к температурам летнего периода, что связано с произрастанием образцов для хронологий на верхней границе леса на высоте более 2000 м. В хронологиях по Терехольской котловине климатический сигнал слабее, получена связь с осадками летнего периода и температурами зимнего периода, что подтверждает определение зависимостью сигнала от лимитирующего фактора.

Раздел 5.2. Анализ изменчивости индексированных хронологий в 1906-2008 гг. на озерных террасах (участок «Салдам»)

Детальные исследования изменчивости продукционного процесса были проведены на озерных террасах (III, участок «Салдам»).

Сводная характеристика площадок опробования образцов в пределах участка приведена в таблице 9. На участке «Салдам» заложено три площадки (рис. 30, рис. 31).

Таблица 9.

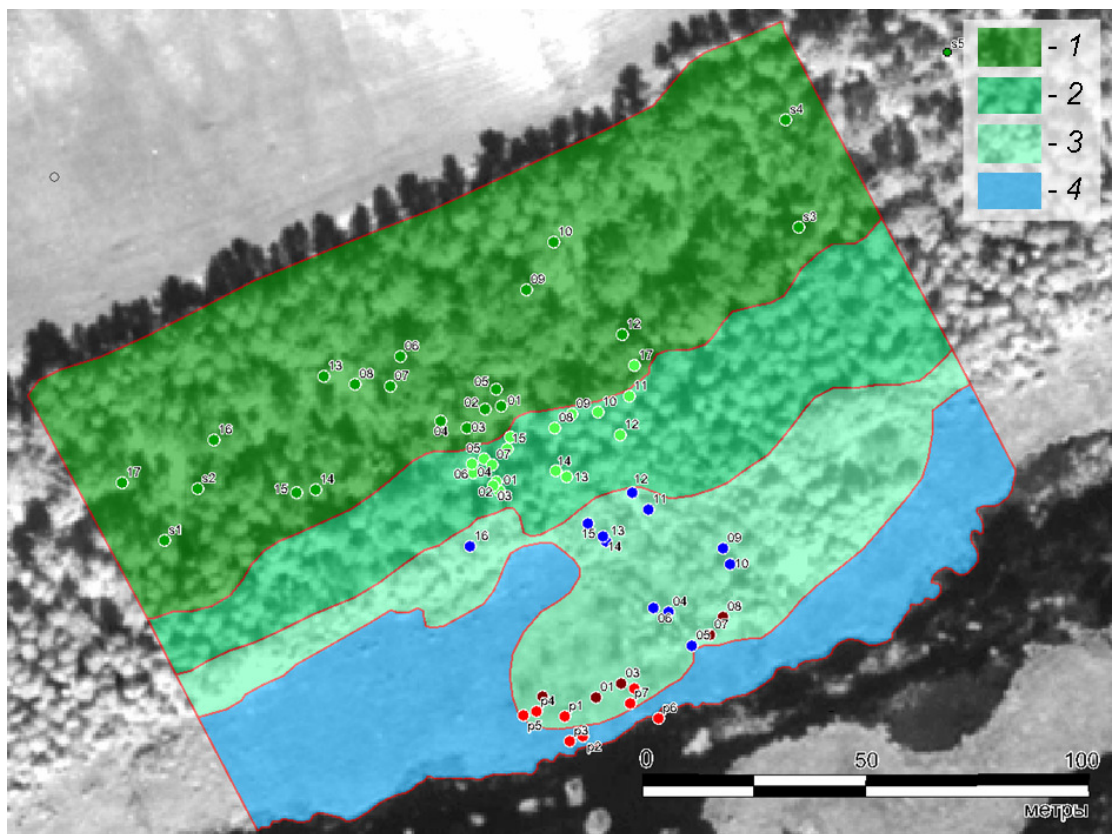
Характеристика площадок опробований древостоев

№	Характеристика	Высота над урезом, м	Бонитет	Число деревьев	Возраст мин/средн/макс
32	Первая озерная терраса (до 0.5 м над урезом) позднеголоценовая, сложенная торфами, подстилаемыми с 50 см мерзлыми озерными отложениями, узкая, плоская, с березняками и	0.3-0.6	II	24	16/ 24/38

	ивняками с единичными лиственницами разнотравно- хвощевыми и разнотравно- осоковыми лугами на торфяно- перегнойно- гидрометаморфических карбонатных криотурбированных почвах, пушицево-осоковыми болотами на торфяно-глеевых почвах				
33	Вторая озерная терраса (1-2 м над урезом) с комплексом мерзлотно- ветровальных форм, раннесреднеголоценовая, сложенная торфами, подстилаемыми с 50 см мерзлыми озерными отложениями, с термокарстовыми озерами и западинами, лоская, местами слабонаклонная с кочкарным микрорельефом, с лиственничными редкостойными лесами разнотравно-осоковыми на гумусовых квазиглеевых иловато-перегнойных вторично- оторфованных почвах и лугами на на торфяно-перегнойно- гидрометаморфических карбонатных криотурбированных почвах	1-2	IV	17	37/88/179
34	Подножье южного склона дробнорасчлененного среднегорья с покровом щебнисто-суглинистого делювия с лиственничными бобово- разнотравно-злаковый лесами на буроземе темноном остаточном карбонатном	2-7	I	22	66/160/270
60	Выровненные, слаборасчлененные вершинные поверхности среднегорий с покровом щебнисто-суглинистого элювия с лиственничными с елью разнотравно-злаковыми лесами на грубогумусовых органо- аккумулятивных остаточном карбонатных почвах	130-150	I-II	11	61/121/193

Низкая озерная терраса высотой до 0.5 м над современным уровнем озера имеет ширину 25-50 м и представляет слабоволнистую кочковатую поверхность с перепадом высот не более 0.4 м с разнотравно-злаково-

осоковым травяным покровом. Терраса сложена торфами, подстилаемыми с 50 см мерзлыми озерными отложениями. Уровень грунтовых вод 5-15 см. Субгоризонтальная поверхность первой террасы осложнена комплексом форм бугристого мерзлотного рельефа с локальным перепадом высот до 0.6 м. Лучший дренаж и теплообеспеченность возвышенных участков мерзлотных бугров обеспечивают условия произрастания на них лиственниц (площадка №32). Их возраст не превышает 36 лет. В тыловой части озерной террасы при переходе к более высокому гипсометрическому уровню возраст деревьев увеличивается до 38-46 лет. По соотношению возраста, диаметра и высоты условия местообитания относятся к II бонитету. Характерны густые березово-ивняковые заросли с разнотравно-хвощевым травостоем.



1 – подножье коренного склона котловины (положение деревьев показано темнозелеными точками), 2 – вторая озерная терраса (светлозеленые точки), 3 – первая озерная терраса с комплексом мерзлотного микрорельефа, залесенная (синие точки – живые деревья, бордовые – засохшие, красные – пни), 4 – первая озерная терраса безлесная.

Рис. 30. Схема ключевого участка «Салдам» с положением деревьев

Вторая озерная терраса (площадка №33) шириной 20-25 м и высотой 1-2 м над современным уровнем озера, имеет волнисто-бугристую кочковатую поверхность со слабым наклоном в сторону озера. Она сложена торфами, подстилаемыми маломощными озерными отложениями (10 см) и делювиальными суглинками. Уровень грунтовых вод 90 см. Озерная терраса осложнена комплексом палеомерзлотных и ветровальных форм, создающих бугристый микрорельеф с перепадами высот до 30 см. Условия местообитаний соответствуют IV бонитету. Возраст лиственниц увеличивается в направлении от озера с 37-104 до 58-180 лет. Подлесок редкий из березы, жимолости шиповника и смородины. Травянистый покров – хвощево-осоковый.

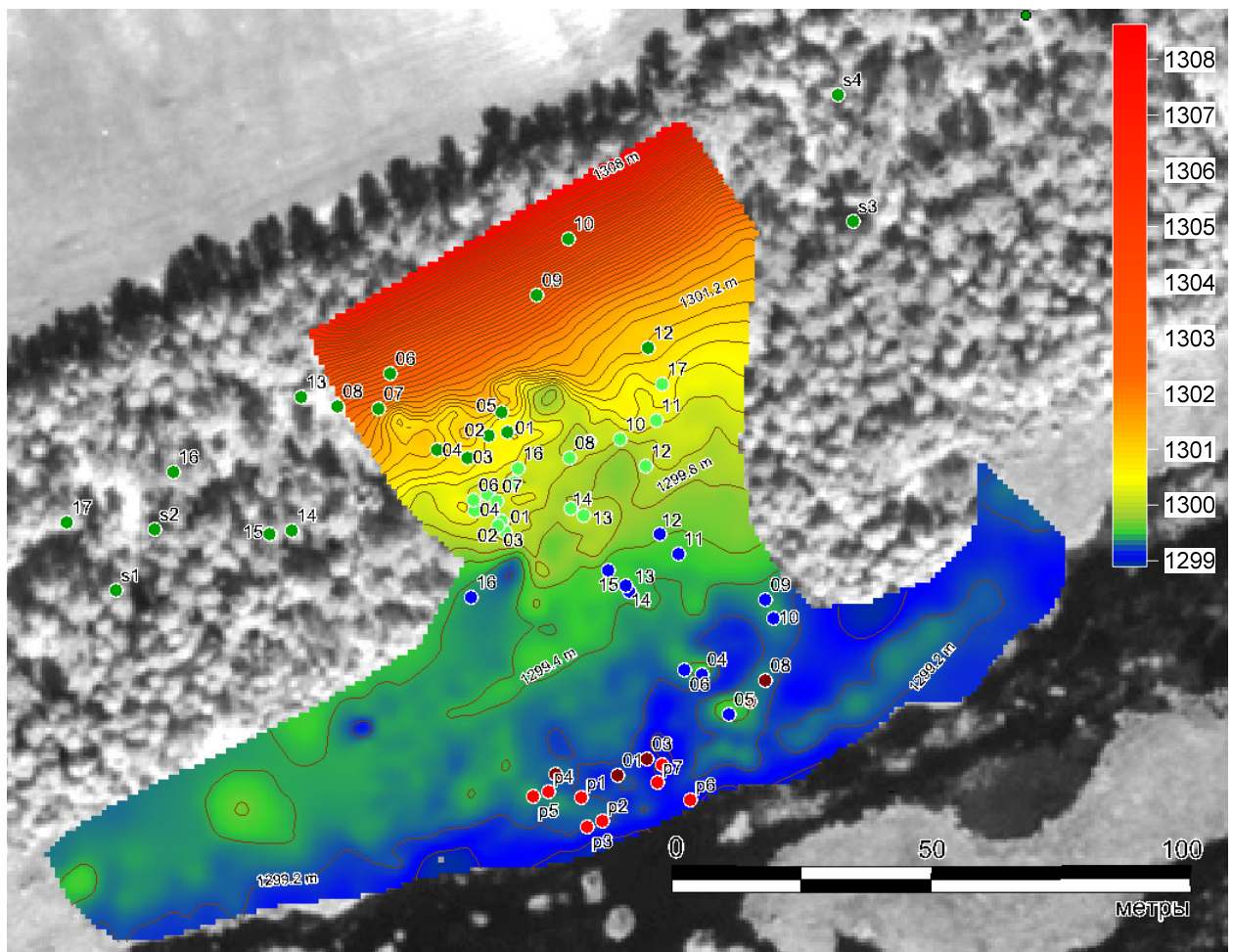


Рис. 31. Положение деревьев относительно рельефа участка «Салдам»

Озерная терраса переходит в коренной склон, сложенный делювиальными отложениями (площадка №34). Его подножие шириной до 8 м выположено и отделяется от озерной террасы четким уступом высотой 20-

30 см. Основной склон имеет крутизну 18-20° и высоту в пределах ключевого участка 7 м. Микрорельеф не выражен. Лиственничный бобово-разнотравно-злаковый лес соответствует местообитаниям I бонитета. Возраст лиственниц 66-270 лет. Самые старые деревья приурочены к подножью склона, имеют диаметр до 83 см и высоту 33 м.

Всего на трех площадках было опробовано 63 дерева. Из них только 20 имеют возраст более 100 лет и состояние древесины, пригодное для подсчета ширины годовых приростов. Дендрохронологический анализ охватывает период 1900-2008 годы. Такая длина временного ряда обоснована требованиями статистических методов выявления закономерностей изменчивости приростов и позволяет сопоставить их с доступными климатическими рядами CRU TS2.1 за 1901-2002 годы. Дополнительно с участием семи самых старых деревьев с площадки №34 возрастом более 200 лет построена обобщенная дендрохронологическая шкала для периода 1744-2008 годы, охватывающая 265 лет.

График средних приростов деревьев двух площадок (рис. 32) демонстрирует противоположные тенденции изменений условий роста на второй озерной террасе (№33) и подножье коренного склона (№34).

С середины второго десятилетия до начала 50-х годов XX века на подножье коренного склона происходило достоверное увеличение приростов (до 0.6 мм) с последующим снижением до середины 90-х до той же величины. Максимальные приросты были с 1948 по 1954 годы, минимальные – с 1912 по 1915 и в последнее десятилетие XX века. У деревьев второй озерной террасы наблюдается сравнительное постоянство приростов с их резким увеличением, начиная с 1970 г. К 1983 г. средние приросты увеличились на 0.9 мм. В дальнейшем происходило снижение приростов. На этом общем фоне выделяются колебания меньшего ранга. Годы с минимальным приростом (1917-1920, 1931-1939, 1957-1970) сменяются годами с лучшими условиями роста (1926, 1942-1952) с периодом около 25 лет.

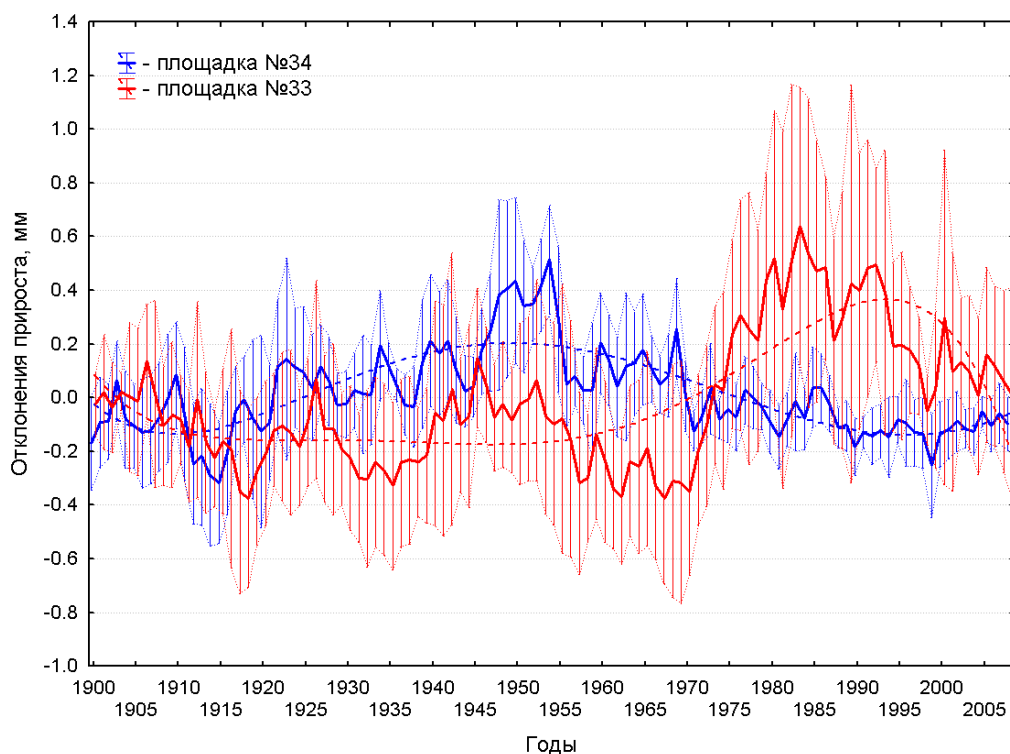


Рис. 32. Изменчивость приростов деревьев на площадках 33 и 34 с 1900 по 2008 гг. Сплошные линии - средние значения приростов текущего года, вертикальные линии – 95% доверительный интервал для среднего, пунктирные – полиномиальные тренды

Однако пересечение доверительных интервалов оценок средних годовых приростов деревьев двух площадок (рис. 32) позволяет рассматривать названные закономерности только в качестве тенденций. Большой разброс годовых приростов связан с высокой изменчивостью приростов между деревьями, размывающей общие закономерности. Метод главных компонент позволил выделить независимые типы изменений условий роста по каждой площадке (табл. 10).

Таблица 10.

Собственные значения компонентов изменчивости приростов деревьев двух площадок участка «Салдам»

Компонент	Площадка №34			Площадка №33		
	Нагрузка	Объясненная дисперсия, %		Нагрузка	Объясненная дисперсия, %	
		Собственная	Накопленная		Собственная	Накопленная
1	4.12	31.7	31.7	3.22	35.8	35.8
2	1.79	13.8	45.5	1.61	17.9	53.7
3	1.66	12.7	58.2	1.33	14.7	68.5
4	1.34	10.3	68.5	0.86	9.6	78.0
5	1.18	9.0	77.6	0.55	6.1	84.2
6	0.67	5.1	82.7	0.52	5.7	89.9

7	0.55	4.3	87.0	0.37	4.1	94.0
8	0.43	3.3	90.2	0.28	3.2	97.2
9	0.40	3.0	93.3	0.25	2.8	100.0
10	0.33	2.6	95.9			
11	0.21	1.6	97.5			
12	0.18	1.4	98.9			
13	0.15	1.1	100.0			

В соответствии с критерием Кайзера (Statsoft, <http://www.statsoft.ru>) существует три независимых типа изменчивости приростов на площадке №33 и пять типов на площадке №34. На каждой площадке первый компонент описывает общую изменчивость всех деревьев, последующие – специфичную изменчивость группы деревьев (табл. 11).

Таблица 11.

Нагрузки на компоненты изменчивости годовых приростов в пространстве главных компонент в сравнении с превышением (Δh) над современным уровнем озера (1299.0 м). Сверху – по площадке №34, снизу – площадке №33

Дерево	Компонент изменчивости					Δh , м
	1	2	3	4	5	
34_06	0.77	0.04	-0.32	0.06	-0.00	4.3
34_17	0.71	-0.20	0.42	-0.36	0.05	4.8
34_13	0.69	-0.14	-0.20	-0.35	0.33	4.8
34_16	0.69	0.00	0.44	-0.01	-0.34	4.6
34_09	0.66	0.04	0.12	0.48	-0.32	4.8
34_07	0.65	-0.08	-0.25	0.39	0.14	3.0
34_10	0.57	-0.54	-0.21	0.21	-0.30	6.8
34_02	0.52	0.67	-0.23	-0.25	0.03	1.6
34_04	0.45	0.37	-0.52	-0.34	-0.35	1.9
s34_01	0.44	-0.04	0.75	-0.26	0.05	2.4
34_11	0.37	0.15	0.13	0.59	0.49	3.2
s34_02	0.27	-0.45	-0.24	-0.23	0.56	3.2
34_01	0.15	0.79	0.23	0.12	0.26	2.4

Дерево	Компонент изменчивости			Δh , м
	1	2	3	
33_02	0.85	0.08	-0.18	1.0
33_04	0.80	0.06	0.06	1.2
33_12	0.79	-0.27	-0.16	1.1
33_11	0.66	0.48	0.06	1.3
33_16	0.62	0.20	0.47	1.2
33_10	0.54	-0.52	-0.34	1.2
33_05	0.28	-0.61	0.45	1.3
33_08	0.11	0.71	0.32	1.2
33_17	-0.11	-0.35	0.79	1.8

Примечание: Ведущие компоненты, описывающие изменчивость приростов каждого дерева, выделены жирным: красным – положительная зависимость, синим – отрицательная.

В соответствии с целью исследования интерес представляют главные (первые) компоненты изменчивости приростов деревьев с двух площадок, различающихся высотой над современным уровнем озера. Их сравнение (рис. 33) демонстрирует, что до 1915 года величина и изменчивость приростов деревьев двух площадок совпадали. В последующие годы деревья 34-й площадки характеризуются постепенным увеличением приростов, максимум которых приходится на 1950-1954-е годы (+0.4 мм).

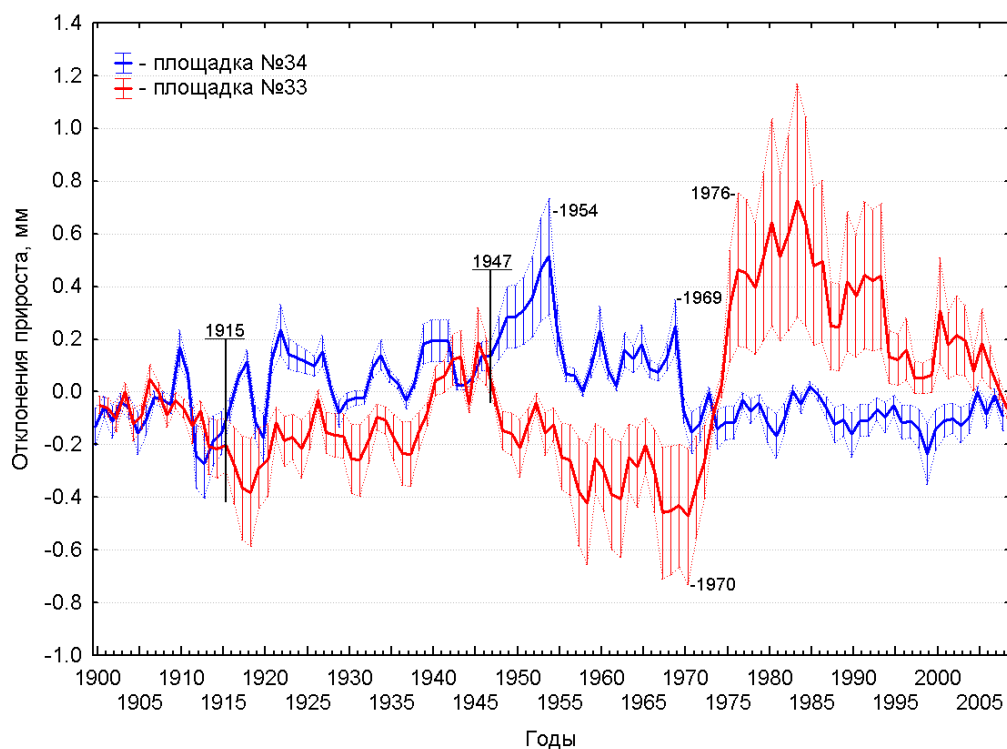


Рис. 33. Главные компоненты изменчивости приростов деревьев на площадке №33 и №34. Сплошные линии - средние значения приростов текущего года, вертикальные линии – 95% доверительный интервал для среднего

Деревья 33-й площадки в этот период имеют в целом меньшие величины приростов (-0.1...-0.2 мм) с непродолжительным увеличением (до 0.1 мм) в 40-х годах. Начиная с 1954-ого года приросты деревьев двух площадок синхронно уменьшились на 0.3-0.4 мм. В 1969-1970-х годах происходит качественное изменение условий произрастания, которые оказали разнонаправленное влияние на приросты деревьев двух площадок. В

пределах коренного склона приросты деревьев уменьшились в среднем на 0.2 мм. Условия роста деревьев второй озерной террасы в течение 5 лет (1971-1976) направленно улучшались, - рост приростов составил 0.7-0.9 мм. Начиная с 1983 г. наблюдается постепенное снижение приростов. В это же время приросты деревьев 34-й площадки сохраняются на уровне -0.1 ...-0.2 мм.

Кардинальные изменения физико-географических условий в береговой зоне озера 1969-1970 годов (38-39 лет назад) подтверждаются возрастом лиственниц, произрастающих на мерзлотных буграх первой озерной террасы. Их максимальный возраст на основной поверхности террасы - 36 лет, и - 38-46 лет в тыловой несколько возвышенной части маркируют период формирования благоприятных условий роста лиственницы на заболоченных местообитаниях первой озерной террасы. Условия для роста лиственниц здесь связаны с положительными формами мерзлотного микрорельефа, обеспечивающими по сравнению с основной поверхностью низкой озерной террасы лучший режим тепла и влаги. Можно предположить, что 38-40 лет назад активизировались процессы мерзлотного пучения, создавшие на первой озерной террасе условия для произрастания лиственниц. Большое число засохших лиственниц возрастом 16-35 лет (рис. 30, 31) свидетельствует о современном разрушении мерзлотного рельефа в краевой части озерной террасы. Встречаются как остатки пней, так и стволы лиственниц, усохших 1-2 года назад.

Для выяснения характера и причин изменений физико-географических условий 38-40 лет назад привлечены данные о приростах лиственниц с вершинных автоморфных поверхностей междуречья оз.Тере-Холь и р.Айыл (табл. 9) расположенных на высоте 130-150 м над современным уровнем озера (площадки 65, 66, 67). Из семнадцати опробованных деревьев для дендрохронологического анализа оказались пригодными одиннадцать с возрастом не менее 109 лет и наличием двух радиусов измерения приростов.

В отличие от береговой зоны оз.Тере-Холь изменчивость годовых приростов разных деревьев на междуречье существенно меньше. Первые две компоненты изменчивости приростов описывают 68.9% общей дисперсии (табл. 11). Первая компонента (55.4%) воспроизводит общую изменчивость приростов всех деревьев с трех площадок, вторая (13.4%) – различия в приростах деревьев с площадок 65 и 67 (табл. 12).

Таблица 11.

Собственные значения компонент изменчивости деревьев междуречья

Компонент	Площадки №65, 66, 67		
	Нагрузка	Объясненная дисперсия, %	
		Собственная	Накопленная
1	6.09	55.4	55.4
2	1.49	13.6	68.9
3	0.80	7.3	76.2
4	0.66	6.0	82.2
5	0.53	4.8	87.0
6	0.38	3.4	90.5
7	0.34	3.1	93.5
8	0.28	2.6	96.1
9	0.18	1.6	97.7
10	0.14	1.3	99.0
11	0.11	1.0	100.0

Таблица 12.

Нагрузки на компоненты изменчивости годовых приростов в пространстве главных компонент

Дерево	Компонент изменчивости	
	1	2
67_06	0.87	-0.13
67_02	0.85	-0.27
67_07	0.84	-0.12
66_02	0.81	-0.16
67_04	0.81	-0.22
66_03	0.78	0.24
65_02	0.77	0.14
65_03	0.66	0.59
67_03	0.66	-0.56
66_04	0.53	0.14
65_04	0.49	0.75

Для междуречья характерна высокая межгодовая контрастность годовых приростов и отсутствие выраженных трендов в их изменчивости. Выделяется период 1980-1988 гг. с относительно низкими приростами (-

0.2...-0.4 мм) и последующим их увеличением до +0.4 мм в последние годы. Два года (1911 и 1931) отличались экстремально низкими приростами. Сравнение изменчивости приростов лиственниц междуречья и участка «Салдам» (рис. 33) демонстрирует синхронность динамики приростов между деревьями междуречья и подножья крутого коренного склона. Совпадают периоды положительных и отрицательных отклонений величин приростов и годы их резкого изменения. Однако ранговый коэффициент корреляции Спирмена хоть и достоверен, но составляет всего 0.19. Характерное для междуречья повышение приростов с начала 90-х годов в приростах лиственниц подножья коренного склона участка «Салдам» не проявляется. В этот период синхронно, но с обратным знаком происходит снижение приростов у лиственниц второй озерной террасы.

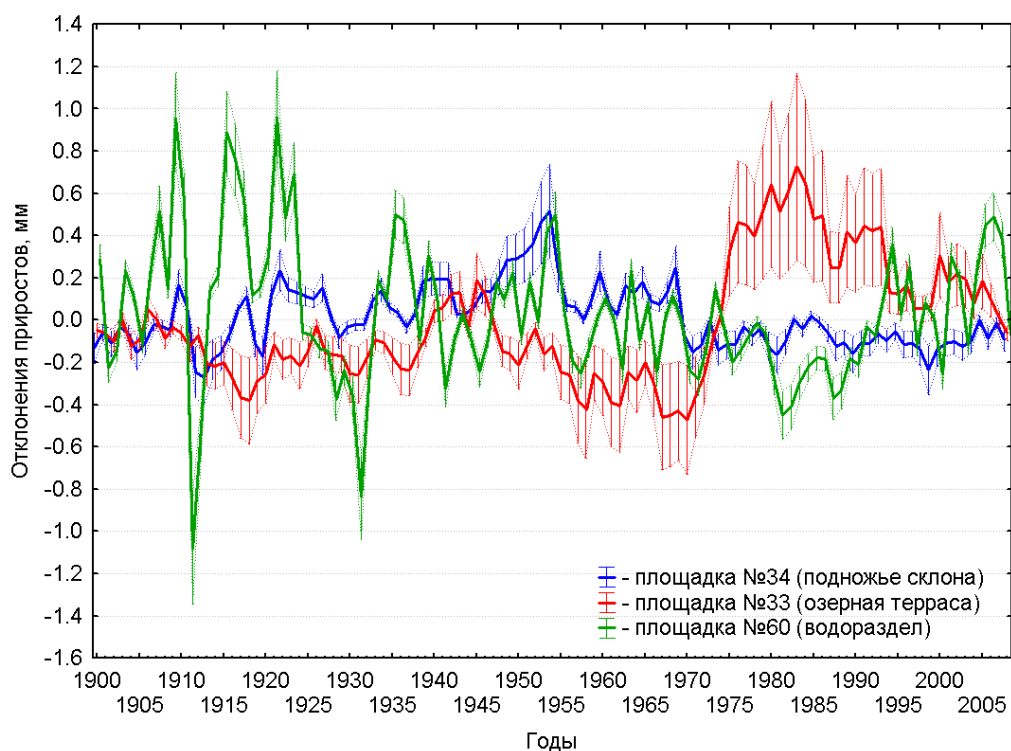


Рис. 33. Главные компоненты изменчивости приростов деревьев на площадке №33 и №34. Сплошные линии - средние значения приростов текущего года, вертикальные линии – 95% доверительный интервал для среднего

Полученные результаты демонстрируют, что изменения приростов деревьев в разных местообитаниях не случайны и определяются действием внешних факторов, как общих для междуречий и гидроморфных позиций

ландшафтов Терехольской котловины, так и специфичных для каждой из них. Наиболее контрастные межгодовые условия характерны для автоморфных позиций. В зоне действия грунтовых вод озера межгодовые контрасты сглаживаются, но создаются локальные пространственные контрасты местообитаний, определяющие высокую изменчивость приростов деревьев.

Метеорологические условия описывают только низкочастотную изменчивость приростов лиственниц в каждом из местообитаний. Экстремальные значения приростов не воспроизводятся. Наиболее информативными переменными оказались полиномиальные тренды среднегодовой температуры и годовой суммы осадков, а так же среднемесячная температура воздуха в июле. В моделях для разных местообитаний эти переменные входят с разным знаком. В пределах междуречий на уровне тенденций ($R^2=0.14$) приросты лиственницы тем выше, чем теплее вторая половина лета на фоне в целом холодного года. Для деревьев второй озерной террасы приросты пропорциональны ($R^2=0.45$) среднегодовой температуре воздуха и обратно пропорциональны среднемесячной температуре июля и сумм осадков летних месяцев. Противоположные отношения получены для лиственниц подножья коренного склона котловины. Здесь приросты тем выше, чем выше сумма осадков и температура июля на фоне в целом холодного года ($R^2=0.53$).

В целом низкие величины коэффициентов детерминации полученных моделей указывают на косвенное опосредованное влияние многолетних метеорологических условий на приросты лиственниц. Вероятно, на междуречьях ведущим фактором, определяющим приросты, является мерзлотный режим почвы, зависящий, прежде всего, от температуры, а не от осадков. На второй озерной террасе условия роста лиственниц связаны с уровнем озера и грунтовых вод, зависящих от соотношения компонентов водного баланса озера, а, следовательно, как от режима осадков, так и от температурного режима. Наиболее тесные (прямые) отношения между

приростами и климатом характерны для деревьев подножья коренного склона ($R^2=0.53$).

Интерес представляют изменения приростов деревьев, связанные с уровнем озера Тере-Холь. В этом отношении установленная дендрохронологическими исследованиями качественная смена физико-географических условий в береговой зоне озера в начале 70-х годов XX века совпадает с периодом резкого снижения летних осадков с 300 до 240-250 мм и последовательностью трех холодных лет с низкими зимними осадками (1969-1971, рис. 34).

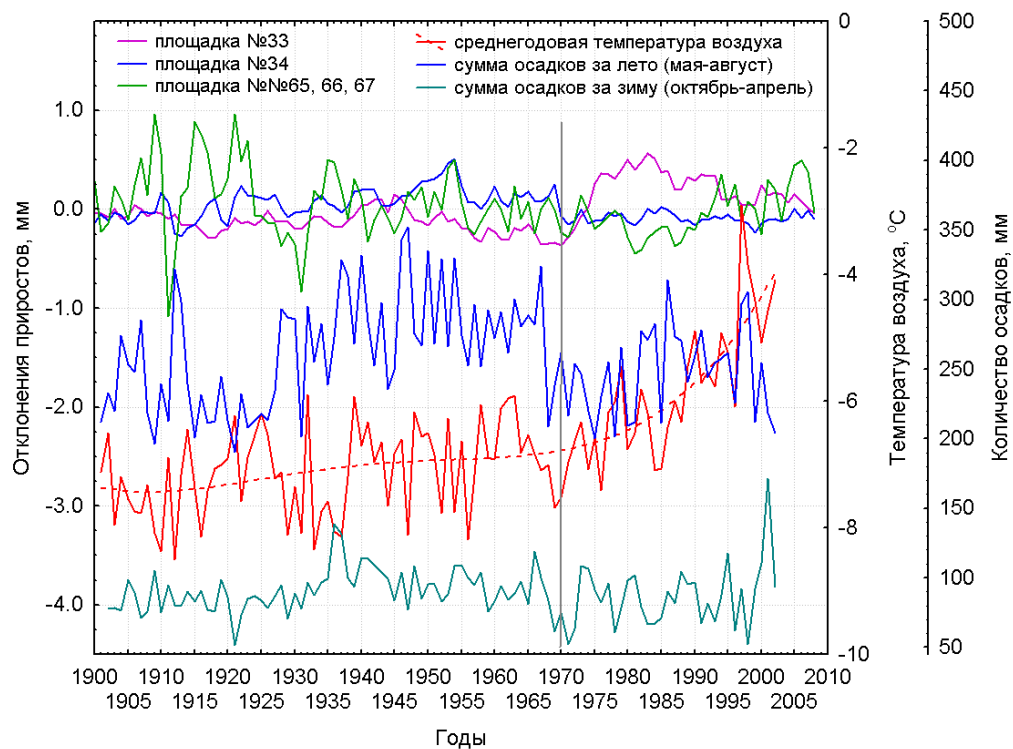


Рис. 34. Сравнение межгодовой изменчивости годовых приростов лиственницы сибирской в трех местообитаниях, сумм осадков в зимний и летний периоды и среднегодовой температурой воздуха

Началом экстремального периода стало лето 1968 г., в течение которого выпало всего 208.5 мм осадков. Последующие четыре зимы отличались аномальной малоснежностью (52.6-75.1 мм за семь месяцев). Год 1969 характеризовался сильными морозами зимой (в январе ниже -35°C), низким количеством летних осадков (238.1 мм) при экстремально высоких температурах воздуха в июне и июле. Следующий год имел менее экстремальные показатели, но так же отличался малоснежной и холодной

зимой, сухим и жарким летом. Наконец, последний из череды экстремальных лет (1971 г.) имел минимальное количество осадков как зимой (52.6 мм), так и летом (216.5 мм) при средних значениях теплообеспеченности.

Пониженное количество атмосферных осадков в течение трех с половиной лет определило снижение приходной части водного баланса оз. Тере-Холь. При сравнении сумм осадков за периоды 1964-1967 и 1968-1971 гг. произошло снижение их количества за четыре года на 310 мм. В 1968-1969 г. недостаток атмосферного увлажнения отчасти мог компенсироваться таянием многолетней мерзлоты в условиях жаркого лета. В 1970-1971 гг. снижение стока в озеро привело к снижению его уровня. Последовавшее за этим снижение уровня грунтовых вод вызвало повышение приростов деревьев, произрастающих на второй озерной террасе и снижение приростов деревьев, растущих на подножье коренного склона межгорной котловины. На первой озерной террасе, в результате снижения уровня озера, начались процессы мерзлотного пучения, создавшие бугристый микрорельеф, на котором поселились лиственницы.

Таяние мерзлоты может быть вызвано как общим потеплением, начавшемся с 80-х годов XX века, так и медленным подъемом уровнем озера на общем фоне повышающегося увлажнения.

Обобщенная хронология, построенная по индивидуальным хронологиям деревьям подножья коренного склона (площадка №34), демонстрирует неоднократные смены условий произрастания деревьев в береговой зоне озера разной продолжительностью (рис. 35).

Установленная ранее для данной площадки связь приростов лиственниц с количеством осадков за год и среднегодовой температурой воздуха при учете, что потепление характерно только для второй половины XX века, позволяет интерпретировать периоды второй половины XVII и середины XX вв. как относительно влажные, а XIX век как сухой. Периоды с минимальными приростами соответствуют годам с минимальным общим количеством осадков и, вероятно, периодам временного понижения уровня

озера. Такие условия наблюдались в 1773, 1795, 1807, 1834, 1865, 1893, 1907 и 1970 годах. Наиболее выраженные периоды максимальных приростов, соответствующих повышенным увлажнению и уровню озера, соответствуют годам 1790, 1816, 1830, 1875 и 1950.

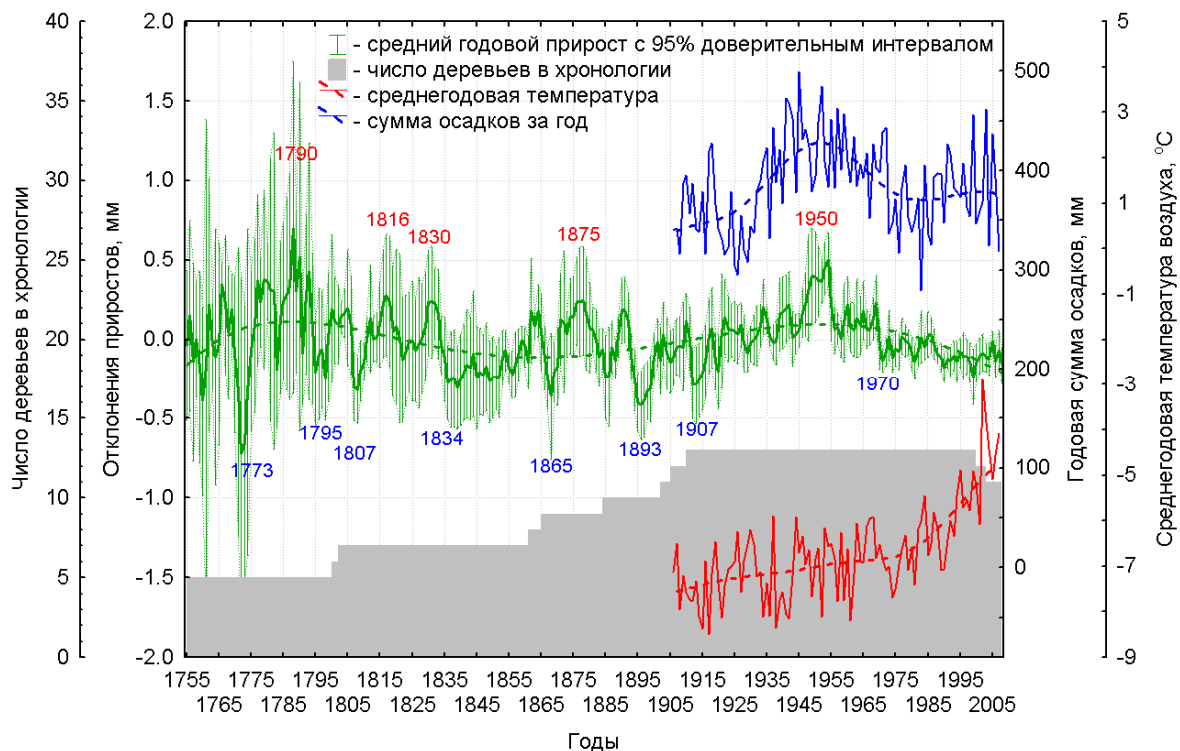


Рис. 35. Обобщенная хронология приростов лиственницы сибирской на подножье коренного склона Терехольской котловины в сравнении с ходом среднегодовых температур и сумм осадков в XX веке

Величину максимального уровня озера за последние 200 лет можно признать не выше 1 м над его современным уровнем. На это указывает возраст лиственниц (не менее 180 лет), растущих на поверхности второй озерной террасы, имеющей превышение 1-1.3 м. Вместе с тем первая озерная терраса высотой основной поверхности до 0.4-0.6 м вероятно была затоплена в середине XX века в период максимального количества атмосферных осадков. Первое падение уровня озера, начавшееся в 1955 г., обеспечило возможность поселения кустарниково-древесной растительности на высотах 0.6-1 м, а после второго падения (1968-1971 гг.) – на высотах 0.3-0.6 м. Судя по деревьям, растущим на формах мерзлотного пучения первой озерной террасы, оптимальные условия для роста формируются при высоте корневой шейки дерева 0.4-0.6 м над озерным уровнем. При меньших высотах в

настоящее время наблюдается усыхание деревьев, вероятно вследствие сезонного вымокания корневой системы. Тогда максимальный уровень озера не мог быть выше абсолютной отметки 1299.6 м (на 40 см ниже поверхности второй озерной террасы), что на 60 см выше современного уровня озера.

Практическая значимость полученных результатов связана с возможностью реконструкции динамики уровня озера и разрушения острова Пор-Бажин с одноименной крепостью (рис. 36, www.por-bajin.ru).



Рис. 36. Остров и крепость Пор-Бажин

Раздел 5.3. Режимы продукционного процесса геосистем Терехольской котловины в XX веке

За период 1906-2008 гг. в ходе продукционного процесса лиственниц Терехольской котловины выделяется три макропериода: 1906-1935 гг., 1936-1974 гг., 1975-2008 гг. (рис. 37).

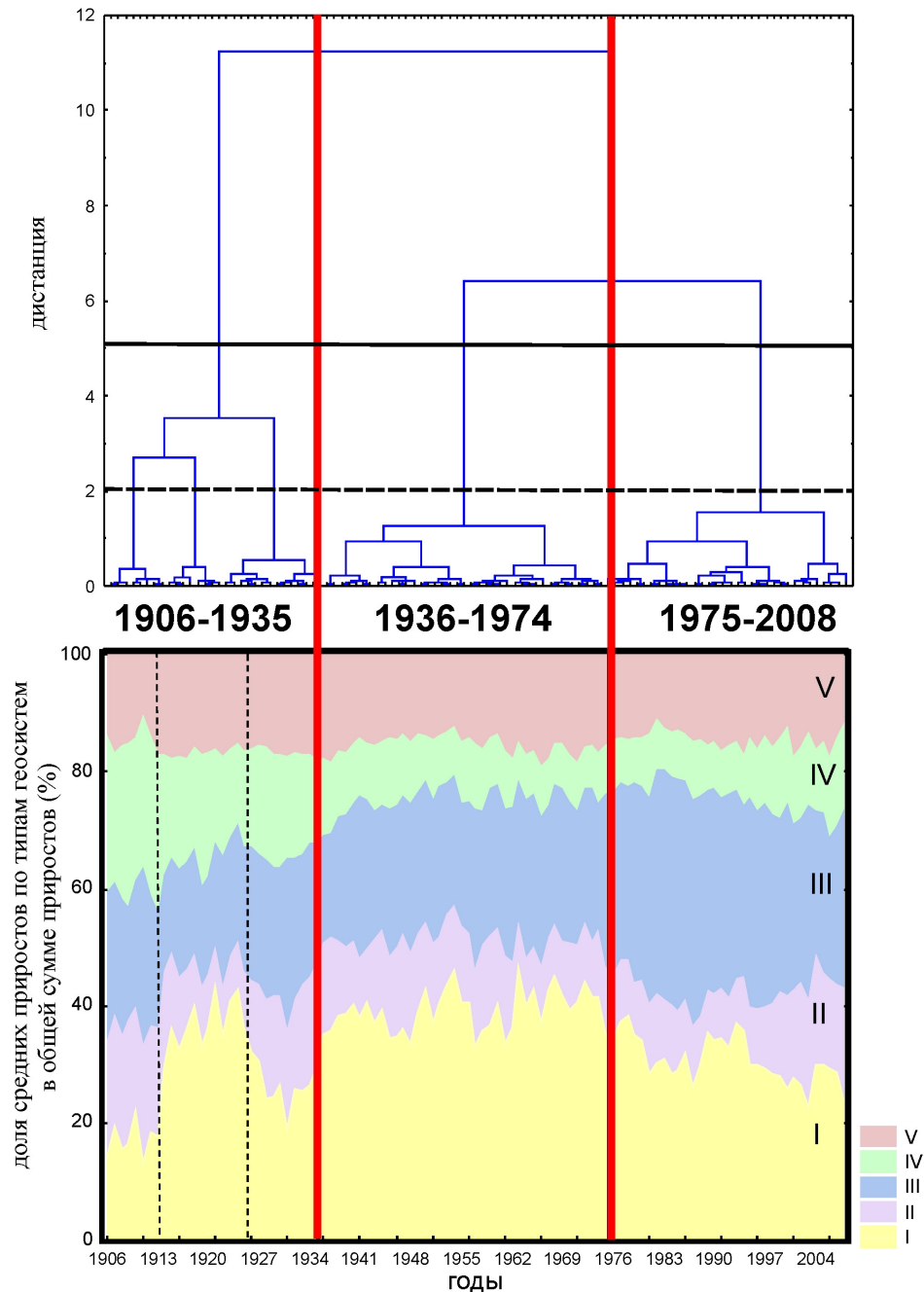


Рис. 37. Режимы продукционного процесса геосистем Терехольской котловины Тывы, обусловленные автохтонными и аллохтонными факторами. Цифры I-V: локальные древесно-кольцевые хронологии по геосистемам в виде накопленного графика.

Каждому периоду соответствует сочетание тенденций роста лиственниц по местообитаниям (пространственная структура приростов) и интенсивность влияния на прирост факторов продукционного процесса (компонент изменчивости), выделенных в разделе 5.1. для всего XX века (рис. 38).

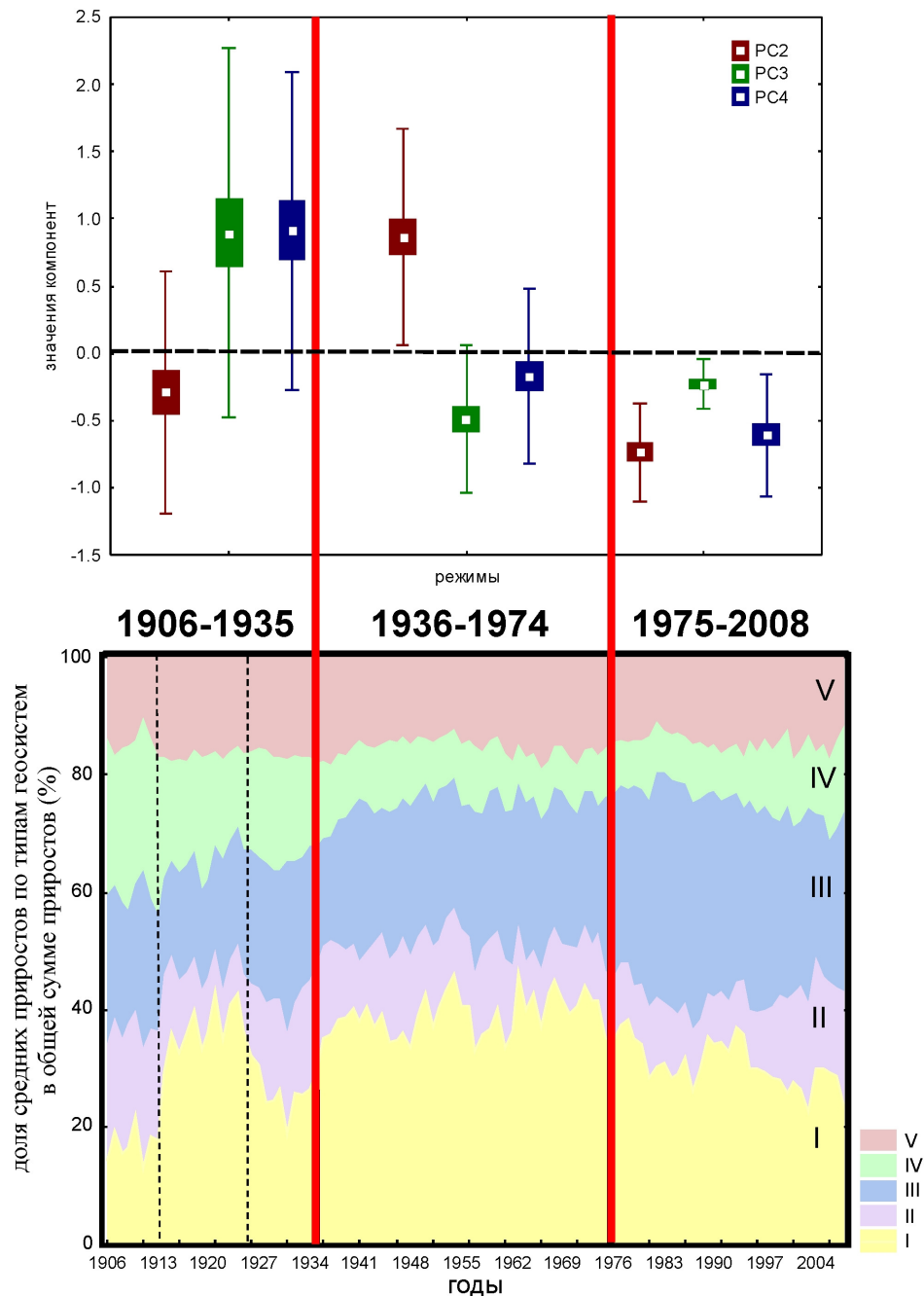


Рис. 38. Изменение активности аллохтонных факторов продукционного процесса по периодам изменения хода продукционного процесса (режимам). PC 2-4 – аллохтонные компоненты изменчивости из раздела 5.3.

Достоверное различие средних значений независимых компонент изменчивости приростов во времени иллюстрирует изменение активности факторов продукционного процесса в разные периоды.

Вклад автохтонных факторов в изменчивость приростов геосистем по периодам представлен в таблице 13.

Таблица 13.

Вклад автохтонной составляющей в ход продукционного процесса на протяжении XX в.

	XX век	1906-1935	1936-1974	1975-2008
I	0.2	0.03	0.16	0.16
II	0.4	0.36	0.32	0.23
III	0.2	0.25	0.14	0.17
IV	0.6	0.36	0.47	0.23
V	0.4	0.06	0.3	0.07

Описание режимов продукционного процесса (рис. 36-37)

1906-1935 гг. характеризуется низкими приростами в степных сообществах (I) и высокими приростами в таежных сообществах (II, IV, V). Подразделяется на периоды более низкого иерархического уровня, индицирующие локальный максимум приростов в 1913-1926 гг. в днище котловины и на озерных террасах (I, II, III).

Ведущий фактор изменчивости приростов – осадки летнего периода (июнь-август) и зимние температуры (январь, март), (рис.38, PC3, PC4). В условиях холодной зимы глубокое зимнее промерзание почвы (низкие зимние температуры) увеличивает запас влаги в почве, поэтому летний недостаток влаги не вызывает снижение приростов на склоне (IV) и междуречье (V). Сухим летом временный водоток в русле в днище котловины отсутствует, что создает благоприятные условия для продуктивности лиственницы (II). В степном днище котловины, где мощность снежного покрова больше, промерзание меньше, запас влаги в почве меньше, недостаток летних осадков снижает приросты (I).

Так же вклад в приросты в днище местного водотока (II), на склоне (IV) вносят автохтонные факторы (табл. 13). Для этих местообитаний

характерна экспоненциальная форма кривой роста, часть деревьев начали свою жизнь в начале XX века.

В **1935-1974 гг.** на фоне низких приростов таежных геосистем ширина годовых колец лиственниц степи достигает максимума за XX век, увеличивается ширина колец на озерных террасах (III). Ведущий фактор изменчивости приростов – осадки июня-июля текущего и предшествующего вегетационного периодов (PC2). Максимум осадков в середине XX века способствует высокой продуктивности тех геосистем, для которых он является лимитирующим. Высок вклад автохтонной составляющей в таежных геосистемах (II, IV, V).

Для **1974-2008 гг.** характерно увеличение вклада в общую продуктивность лиственничников озерных террас (III) и уменьшение приростов других местообитаний. Период характеризуется потеплением за счет зимне-весенних температур (глава 4) и уменьшением количества осадков за счет теплого периода. В таких условиях все местообитания снижают свою продуктивность, кроме геосистем озерных террас, где на второй террасе за счет теплой зимы и отсутствия избытка летней влаги приросты возрастают. После 1975 г. вклад автохтонных факторов во всех геосистемах меньше 30%, что свидетельствует о чувствительности к аллохтонным факторам не только степных геосистем (I) и комплексов озерных террас (III), но и таежных геосистем.

Периоды середины и конца XX века (1935-1974 и 1974-2008), обусловленные совместным влиянием автохтонных и аллохтонных факторов, более похожи по изменчивости приростов в отличие от начала XX века (1906-1935), что видно на кластерном дереве (рис. 37).

Таким образом, выделенные периоды отличаются интенсивностью процессов, а граничные годы фиксируют их смену. Этот факт указывает на правомерность идентификации выделенных периодов с режимами продукционного процесса.

На рис. 39 представлены аллохтонные режимы продукционного процесса, полученные классификацией лет по индексированным приростам. В ходе аллохтонно обусловленного продукционного процесса выделяется пять периодов, два из которых совпадают с общими режимами на рис. 36: 1936-1974 гг. и 1975-2008 гг.; три других периода: 1906-1913 гг., 1914-1926 гг., 1927-1935 гг. – подразделения более низкого иерархического уровня макропериода 1906-1935 гг., выделенного на рис. 37.

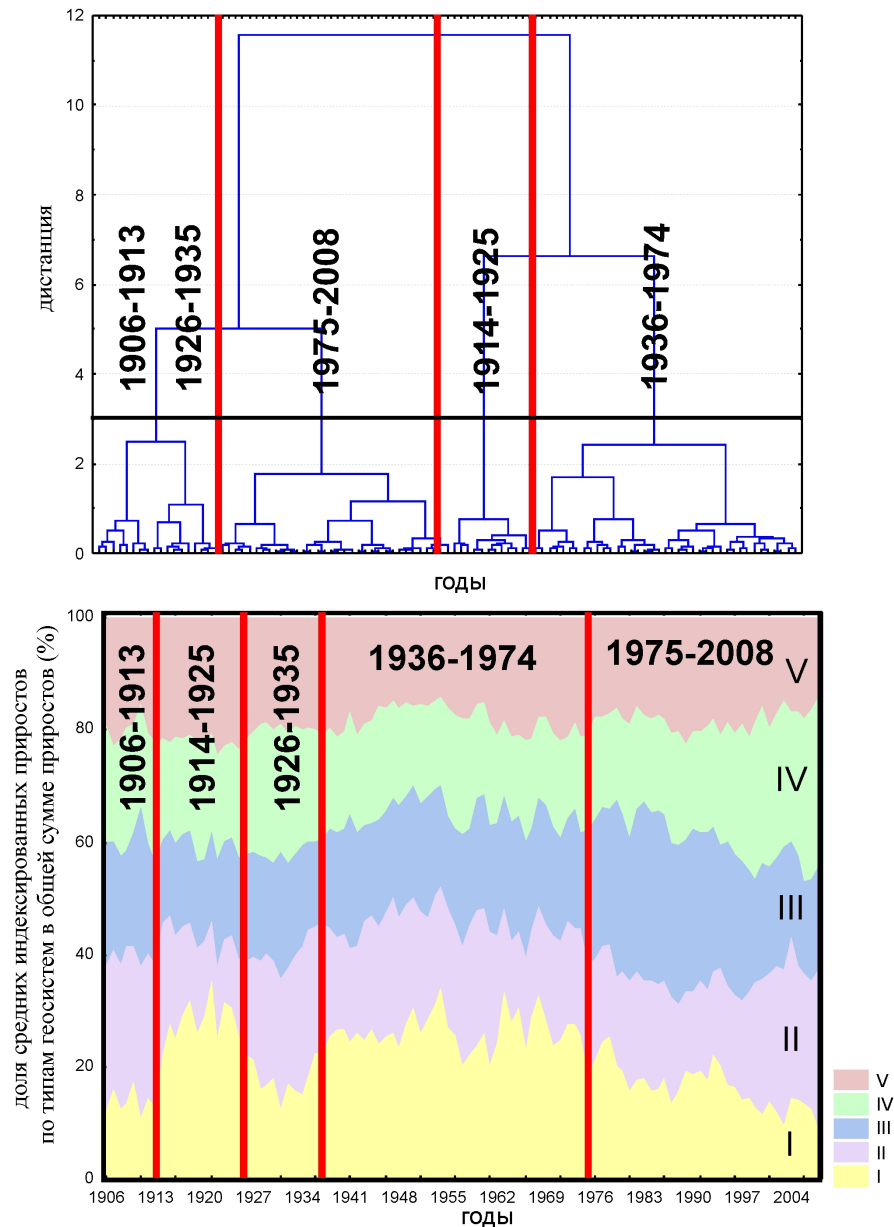


Рис. 39. Аллохтонно обусловленные режимы продукционного процесса

Увеличение числа режимов «первой» значимости происходит за счет усиления сигнала аллохтонных факторов при исключении кривой роста. Если

в общих режимах (рис. 37) начало XX в. по кластерному дереву отличается от середины и конца XX в., то в аллохтонных режимах более близки начало и конец XX в., отличные от середины (рис.39). Полученное различие свидетельствует о разнице выделения режимов с учетом и без учета возрастной структуры сообщества. На рис. 40 видно, что ведущие факторы продукционного процесса совпадают с описанными выше (рис. 38), где период 1906-1935 гг. объединяет факторы трех составляющих его периодов на рис. 38.

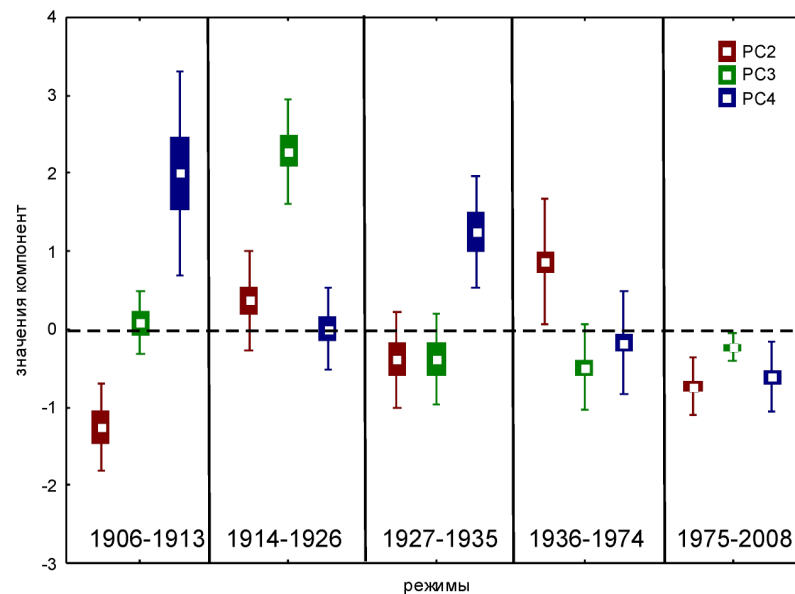


Рис. 40. Различие значений компонент изменчивости по аллохтонно обусловленным режимам

В данной работе рассматриваются режимы наиболее высоких иерархических уровней. Они индицируются в приростах всех геосистем, определяются действием региональных (климатических) факторов. Локальные режимы на уровне геосистем не рассматриваются в связи с отсутствием соответствующих рядов наблюдений для интерпретации факторов. Выделение периодов можно производить методом классификации лет по подобию приростов всего массива деревьев или по каждой геосистеме отдельно. Результат идентичен, возможно, это указывает на региональную природу выделенных режимов. Пространственный уровень режимов будет исследован в следующей главе.

ГЛАВА 6. ФАКТОРЫ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ И РЕЖИМЫ ПРОДУКЦИОННОГО ПРОЦЕССА РЕГИОНАЛЬНОГО УРОВНЯ В XX ВЕКЕ

Раздел 6.1. Факторы изменчивости приростов в Алтае-Хангае-Саянском регионе

Общая изменчивость приростов. Сводные древесно-кольцевые хронологии по точкам Алтае-Хангае-Саянского региона для XX в. в исходном виде приведены на рис. 41.

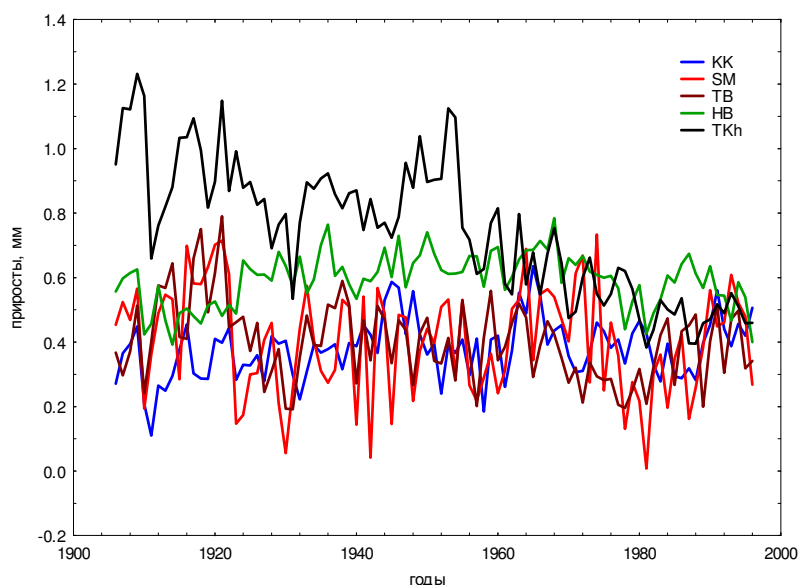


Рис. 41. Сводные древесно-кольцевые хронологии по точкам Алтае-Хангае-Саянского региона (XX в.)

На рис. 42 представлена региональная исходная кривая (по четырем дополнительно взятым точкам) в сравнении с исходной хронологией Терехольской котловины за XX век.

В обобщенном виде для хронологий Алтае-Хангае-Саянского региона, так же как для Терехольской хронологии, характерна высокая амплитуда колебаний приростов. Хронологии отличаются по абсолютным значениям приростов (в Терехольской котловине больше до середины XX века), формой кривой, соответственно, тенденциями роста. Обобщенная Терехольская хронология — экспонента, возраст значительной части входящих в нее региональных хронологий не превышает 130-150 лет, приросты экспоненциально уменьшаются на протяжении XX века. Возраст деревьев Алтае-Хангае-Саянской хронологии превышает 250 лет. Кривая роста в XX

веке не выражена. Характерны колебания приростов высокой амплитуды без направленных тенденций.

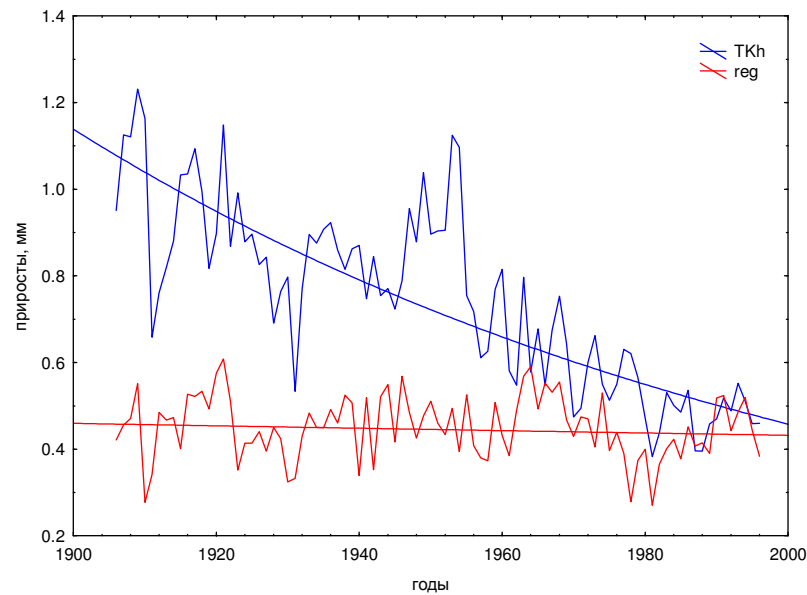
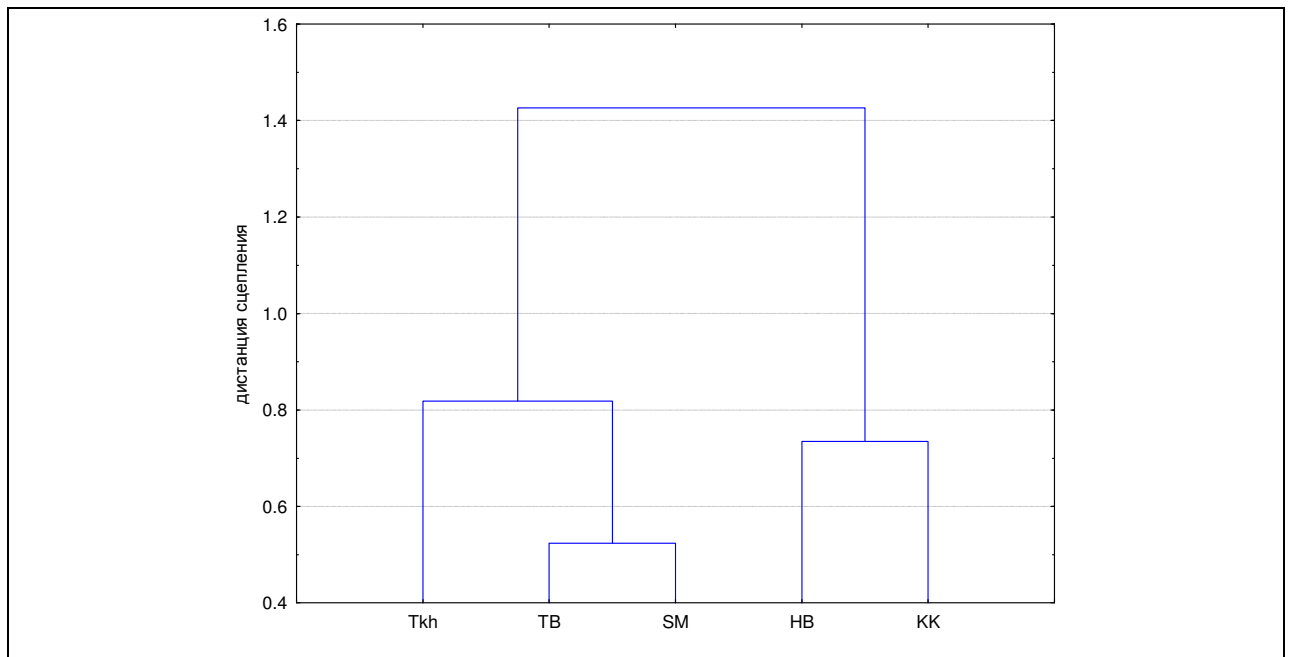


Рис. 42. Региональная Алтае-Хангае-Саняская (по 4-м точкам) и локальная (Терехольская) хронологии

Исходные хронологии западной (НВ и КК) и восточной части (ТВ и SM) региона достоверно отличаются (рис. 43). Это различие так же может быть обусловлено степенью континентальности, абсолютной высотой (2200 м на «западных» точках против 1800 м на «восточных» точках). Терехольская хронология в исходном виде ближе к восточным хронологиям.



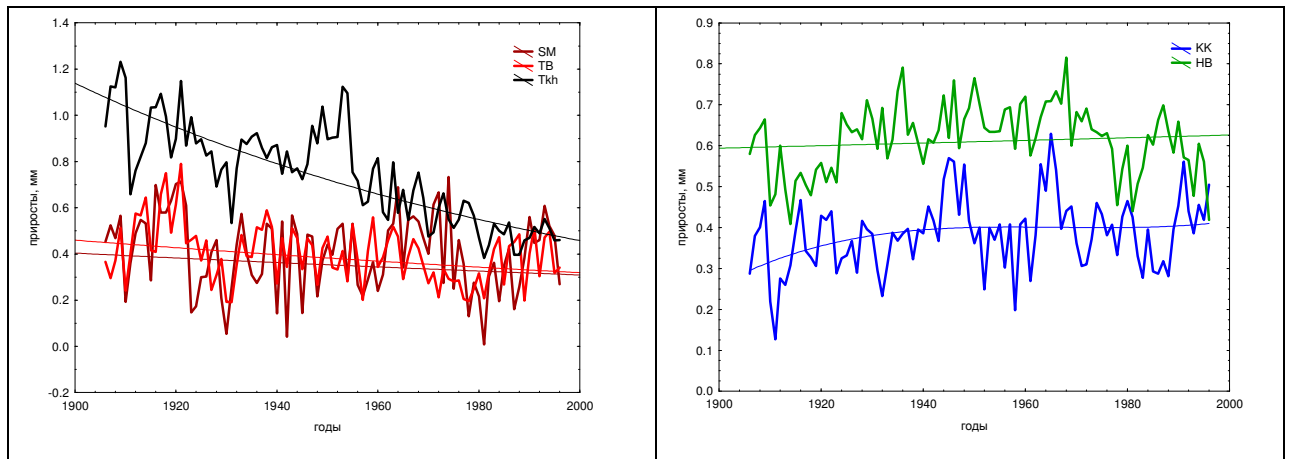


Рис. 43. Сравнение сводных хронологий региона.

Индексированные хронологии так же характеризуются высокой амплитудой колебаний приростов (рис. 44). При этом Терехольская индексированная хронология по абсолютным значениям приростов слабо отличается от других хронологий региона.

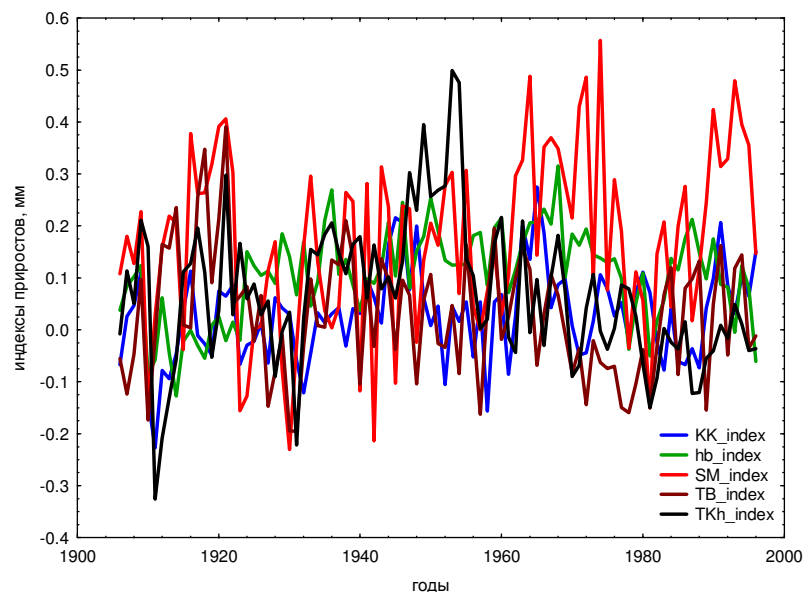


Рис. 44. Сводные индексированные древесно-кольцевые хронологии по точкам Алтае-Хангае-Саянского региона (XX в.)

Сводные индексированные хронологии региона (по 4-м точкам) и Терехольская схожи по средним индексам прироста, тенденции к увеличению приростов в середине XX века; отличаются большей амплитудой колебаний приростов Терехольской котловины (рис. 45).

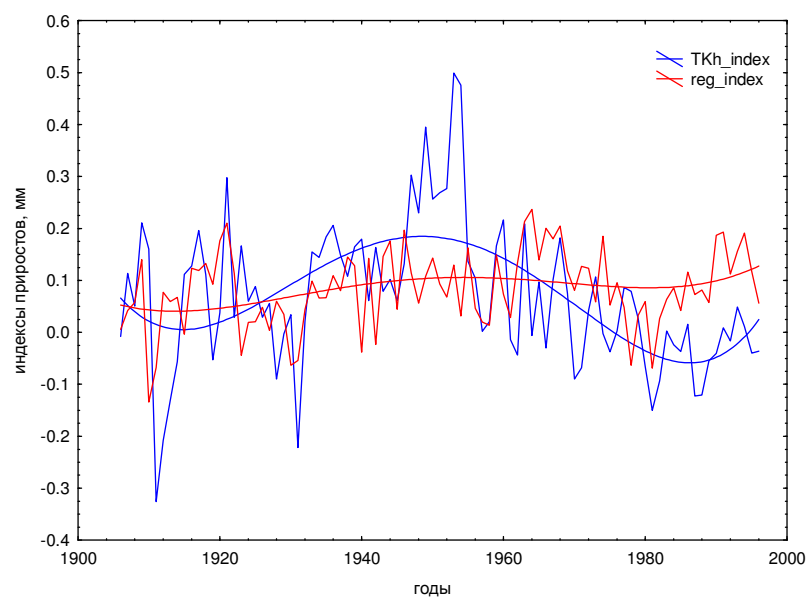


Рис. 45. Региональная индексированная Алтае-Хангае-Саянская (по 4-м точкам) и локальная индексированная (Терехольская) хронологии

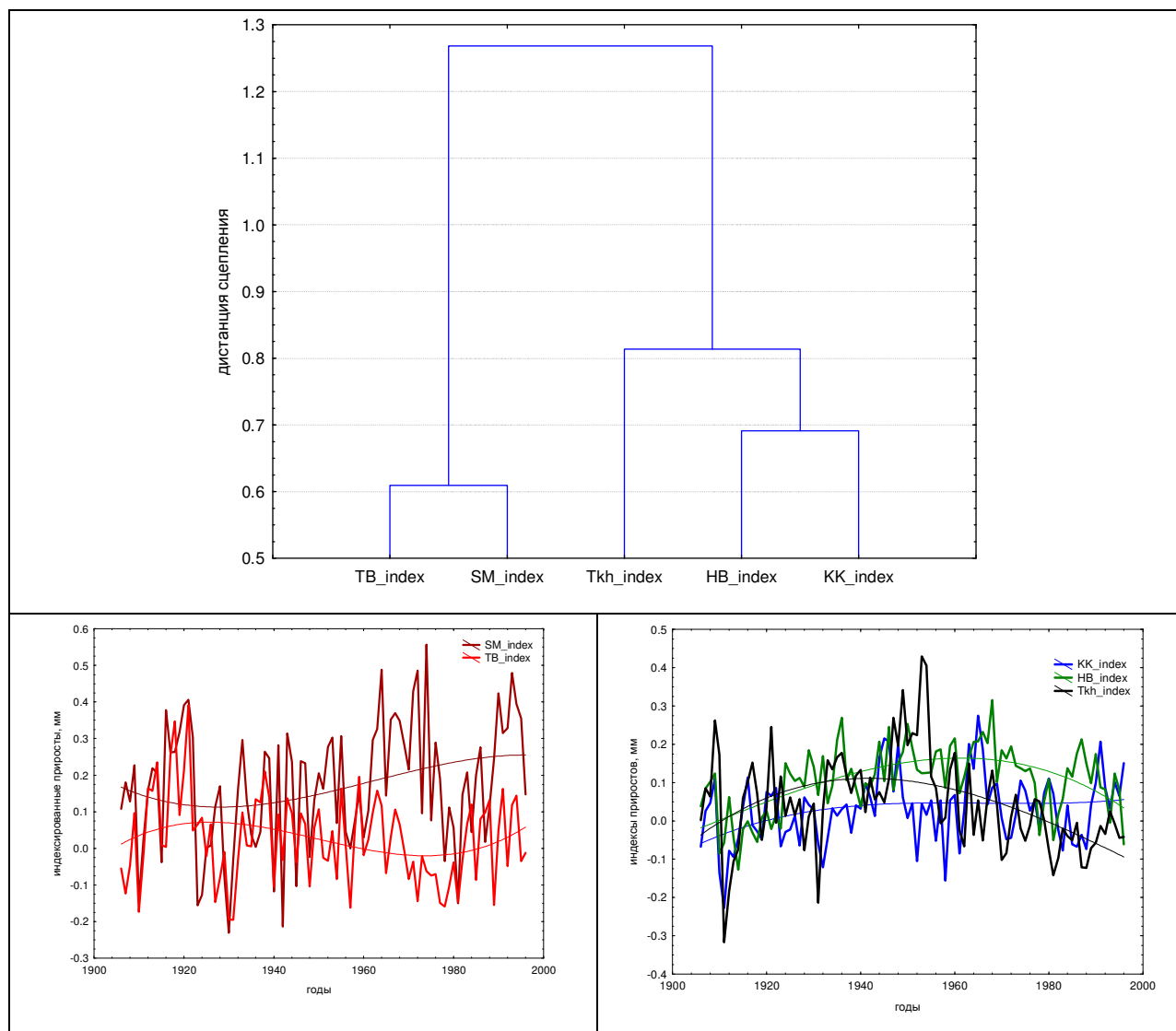


Рис. 46. Сравнение сводных индексированных хронологий региона.

В индексированном виде хронологии западной и восточной части региона так же отличаются. Для западной группы характерен максимум приростов в середине века, для восточной – направленное увеличение приростов на протяжении века с локальным максимумом в 1980-е годы. Индексированная Терехольская хронология ближе к западной, более аридной и абсолютно выше расположенной, группе с характерным максимумом приростов в середине XX века.

В 1906-2008 гг. в среднем 8% изменчивости приростов лиственниц Алтае-Хангае-Саянского региона связано с влиянием автохтонных факторов, 92% изменчивости – с аллохтонными факторами, что отличается от ситуации в Терехольской котловине по абсолютным значениям (38% / 92%), но схоже по соотношению.

Таким образом, особенности аллохтонного роста лиственниц в Терехольской котловине схожи с региональными особенностями роста в западной части региона с выраженным локальным максимумом приростов в середине XX века. Обусловленность приростов в XX веке аллохтонными факторами – региональная тенденция.

Аллохтонная изменчивость.

Изменчивость индексированных приростов Алтае-Хангае-Саянского региона разложена на независимые составляющие методом главных компонент. Первая компонента достоверно описывает 70% аллохтонно обусловленной изменчивости (рис. 47), характеризуется увеличением приростов от середины к концу XX века, с обратным знаком повторяет тенденции роста в точке НВ ($R^2=0.32$). На 40% связана напрямую с температурами февраля, сентября, ноября и с обратным знаком с осадками марта, июня, октября. Тенденция потепления (за счет зимних температур) и уменьшения осадков (за счет летних осадков) фиксируется в климатических данных. С потеплением и иссушением приросты снижаются. Деревья местообитания НВ в большей степени подвержены замеченной тенденции. Стоит отметить, что основной фактор уменьшения приростов во второй

половине XX века в Терехольской котловине – уменьшение количества летних осадков, влияние температуры в первых двух аллохтонных компонентах выявлено не было.

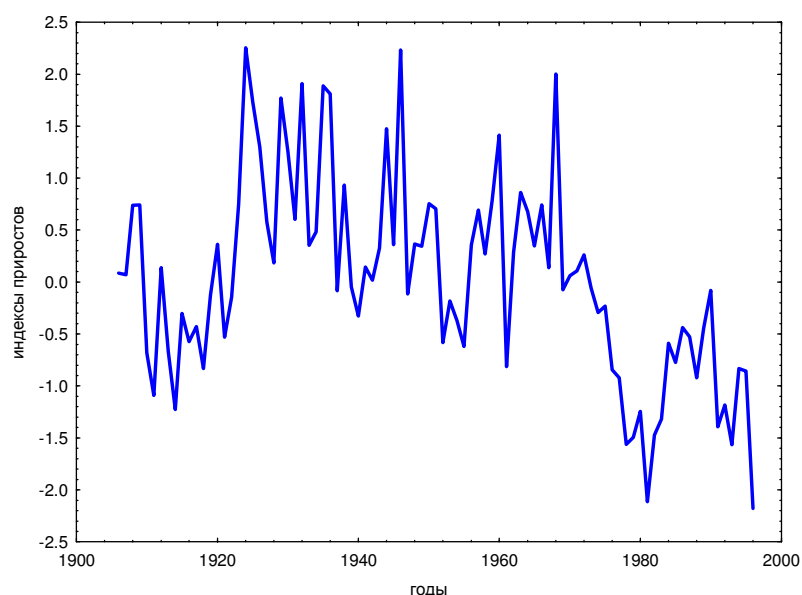


Рис. 47. Компонента изменчивости индексированных приростов Алтае-Хангае-Саянского региона.

Таким образом, несмотря на обусловленность продукционного процесса на локальном (Терехольская котловина) и региональном (Алтае-Хангае-Саянский регион) уровне аллохтонными факторами, высокую амплитуду приростов, общие тенденции роста (увеличение приростов от начала к середине XX века с их последующим уменьшением) в западной части с высотами более 2200 м, геосистемы регионального и локального уровня отличаются ведущими факторами приростов: осадки летнего периода в Терехольской котловине и сочетание осадков и температур в регионе. Кроме того, на ходе продукционного процесса геосистем Алтае-Хангае-Саянского региона сказывается замеченное в климатических данных потепление климата, выраженное в росте зимних и весенних температур и уменьшении количества осадков летнего периода. В климатических данных Терехольской котловины тенденция к потеплению прослеживается, но в дендрохронологических данных реакция не обнаружена.

Раздел 6.2. Режимы продукционного процесса геосистем Алтае-Хангае-Саянского региона

За период 1906-1996 гг. в ходе продукционного процесса лиственниц Алтае-Хангае-Саянского региона выделяется три макропериода: 1906-1922 гг., 1923-1970 гг., 1971-1996 гг. (рис. 48).

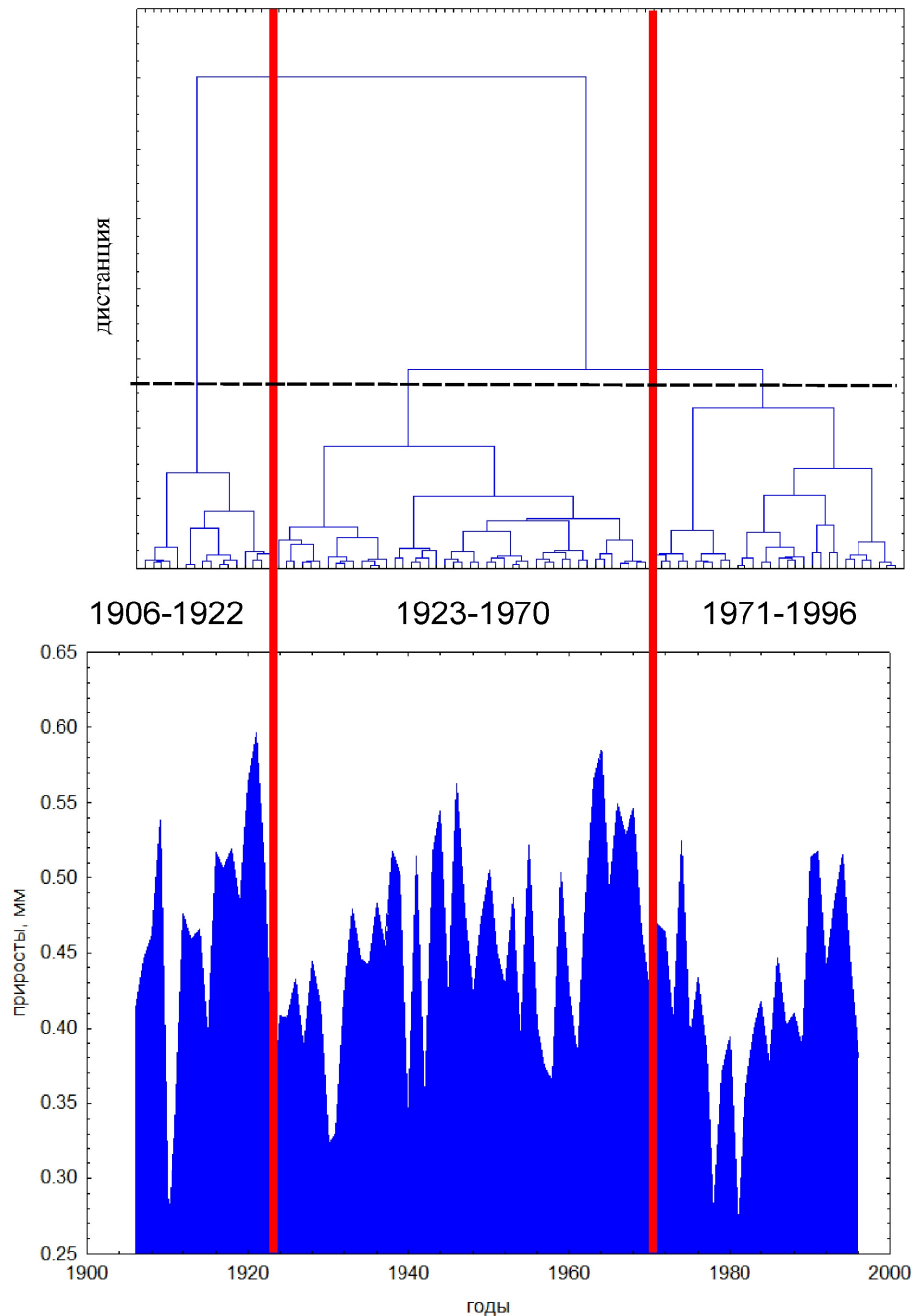


Рис. 48. Режимы продукционного процесса Алтае-Хангае-Саянского региона, обусловленные автохтонными и аллохтонными факторами.

Каждому периоду соответствует тенденция роста и интенсивность влияния на прирост факторов продукционного процесса (компонент

изменчивости), выделенных в разделе 6.1 (рис. 49). Достоверное различие средних значений независимых компонент изменчивости приростов во времени иллюстрирует изменение активности факторов продукционного процесса в разные периоды.

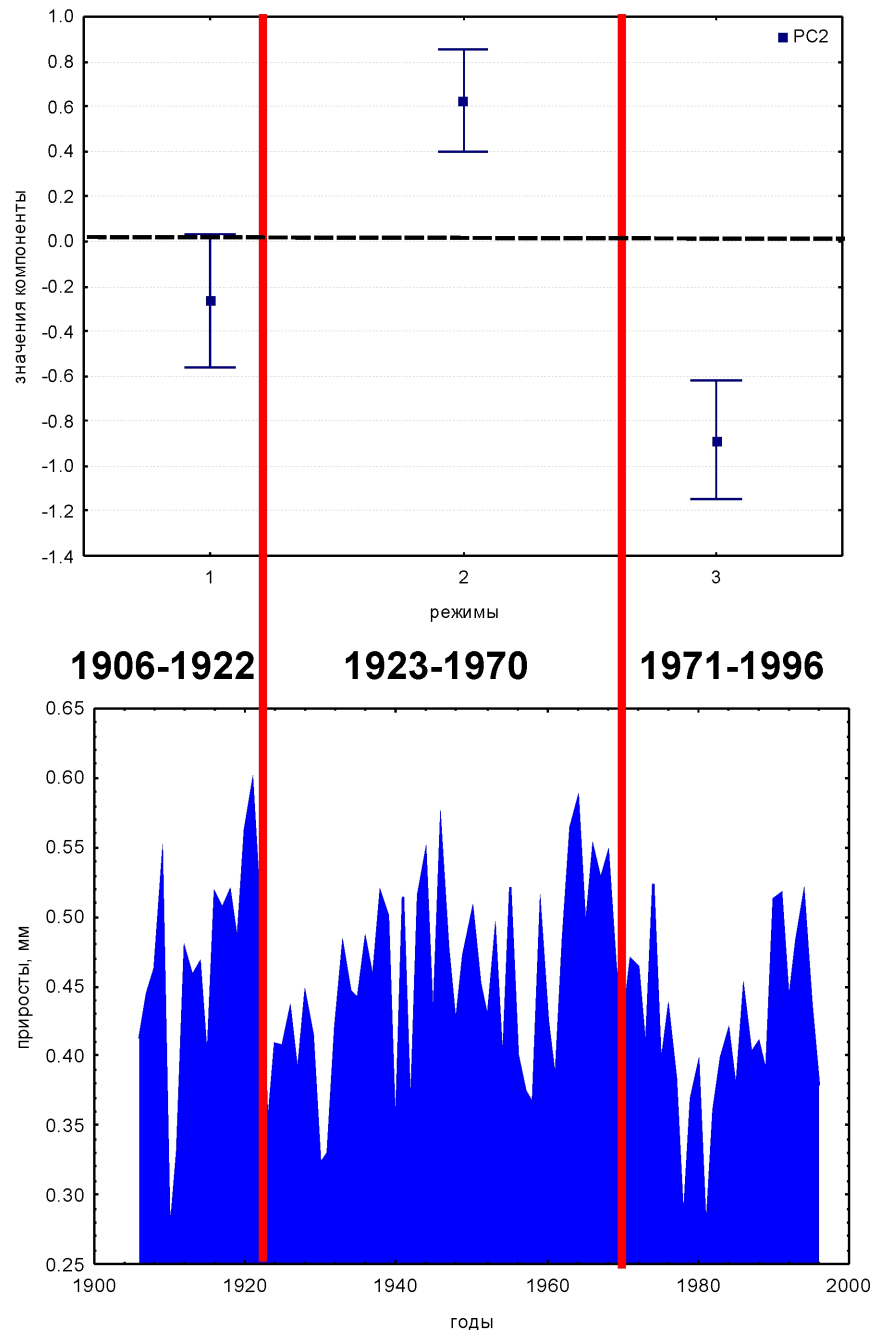


Рис. 49. Изменение активности аллохтонных факторов продукционного процесса по периодам изменения хода продукционного процесса (режимам).

Ввиду малого вклада кривой роста в общую изменчивость приростов в регионе, рассмотрение вклада автохтонных факторов в полученные режимы

можно опустить и перейти к рассмотрению изменения активности ведущих факторов приростов по периодам.

Описание режимов продукционного процесса (рис. 48-49)

1906-1922 гг. характеризуются высокими амплитудами приростов, индицируют локальный минимум в начале XX века, в целом, при высоких значениях.

1923-1970 гг. – средний уровень приростов ниже, чем в предыдущем периоде, наблюдается максимум приростов в середине XX века.

1971-1996 гг. – уменьшение приростов с локальным минимумом в 1980-е гг.

Главный фактор изменчивости приростов – соотношение тепла и влаги. Выделенные периоды достоверно отличаются по характеру проявления ведущего фактора. В первый период более значимы осадки (чем больше осадков холодных месяцев, тем больше прирост), что, возможно, создает дополнительный запас влаги в почве для высокой биологической продуктивности. В середине века на фоне незначительно увеличившегося количества осадков начинается увеличение летних температур. Приросты высокие, по-видимому, в этот период соотношение тепла и влаги оптимально для роста деревьев в XX веке. В конце века на фоне потепления и иссушения климата деревья растут хуже, чем ранее.

ВЫВОДЫ

1. На протяжении XX века в древесно-кольцевых хронологиях выделяются временные периоды с различной пространственной структурой продуктивности: 1906-1935 гг., 1936-1974 гг., 1975-2008 гг. - на локальном уровне; 1906-1922 гг., 1923-1970 гг., 1971-2008 гг. - на региональном уровне. Периоды регионального и локального уровня схожи по длительности и характеризуют различия в процессах функционирования геосистем в начале, середине и конце XX века. В иерархии периодов геосистем локального уровня обособляются более длительные периоды (перечисленные), соответствующие периодам в геосистемах регионального уровня, обусловленные общими метеорологическими факторами, и менее длительные периоды, обусловленные локальными факторами.

2. Ведущим фактором изменчивости продукционного процесса на региональном уровне выступает динамика метеорологических показателей; на локальном уровне возрастает роль неоднородности ландшафтных условий. Специфика ландшафтных условий определяет абсолютную величину радиальных приростов и режим их межгодовой изменчивости. Ведущие факторы приростов на локальном и региональном уровне отличаются. В сигнале локального уровня во всех геосистемах доминирует влияние осадков, на региональном уровне ход процесса определяют и температура, и осадки, в сигнале прослеживается влияние потепления.

3. Для каждого периода характерно индивидуальное состояние продукционного процесса во времени и пространстве, образуемое сменой хода или интенсивности процесса под влиянием автохтонных и аллохтонных факторов. Граничные годы фиксируют смену направленности процесса и ведущего фактора или интенсивности его влияния. Выделение состояний может производиться с учетом и без учета возрастной структуры растительного сообщества.

4. Влияние автохтонных факторов на приросты лиственницы в XX веке значительно ниже, чем аллохтонных и на локальном (38% против 62%), и на

региональном уровне (8% против 92%). Наиболее чувствительны к внешним факторам деревья в днище котловины и на озерных террасах (весь XX в.). Чувствительность к внешним факторам у лиственниц таежных геосистем в долине, на склоне и междуречье проявляется во второй половине века (с 1975 г.). Приросты в период 1975-2008 гг. во всех геосистемах Терехольской котловины реагируют на внешние факторы.

5. Предложенный подход может применяться в ландшафтоведении при изучении пространственно-временной динамики продукционного процесса и в дендрохронологии при обосновании граничных лет смены ведущего фактора приростов. В дендроклиматических исследованиях, когда при поиске изменения климатического сигнала внутри хронологии выбирается произвольная длина скользящего окна, длительность периода функционирования высокого иерархического уровня может быть использована как обоснованная величина временного окна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабушкина, Е.А., Ваганов, Е.А., Силкин, П.П. Влияние климатических факторов на клеточную структуру годичных колец хвойных, произрастающих в различных топоэкологических условиях лесостепной зоны Хакасии / Е.А. Бабушкина, Е.А. Ваганов, П.П. Силкин // Журнал Сибирского федерального университета. – 2010. – Сер. Биология. – Т. 2. – №3. – С. 159-176.
2. Бабушкина, Е.А., Кнорре, А.А., Ваганов, Е.А., Брюханова, М.В. Трансформация климатического отклика в радиальном приросте деревьев в зависимости от топоэкологических условий произрастания / Е.А. Бабушкина, А.А. Кнорре, Е.А. Ваганов, М.В. Брюханова // География и природные ресурсы. – 2011. – №1. – С. 159-166.
3. Беляков, А.И. Дендрохронология сегодня: структура, организация, методология / А.И. Беляков. – М., 2001. – 22 с. – Деп. ВИНТИ № 737 от 26.03.2001.
4. Беляков, А.И. Пространственно-временные ритмы функционирования внутриландшафтных геосистем (на примере среднетаежных ландшафтов юга Архангельской области): автореф. дисс...канд. геогр. наук: 25.00.23 / Беляков Андрей Игоревич. – М., 2003. – 26 с.
5. Беляков, А.И. Ритмы функционирования локальных геосистем среднетаежного ледникового ландшафта / А.И. Беляков // Вестник Моск. Ун-та. – 2004 – Сер. 5. География. – №1. – С. 53-58.
6. Беручашвили, Н.Л. Геофизика ландшафта / Н.Л. Беручашвили. – М.: Высшая школа, 1990. – 287 с.
7. Беручашвили, Н.Л. Четыре измерения ландшафта / Н.Л. Беручашвили. – М.: Мысль, 1986. – 182 с.
8. Битвинкас, Т.Т. Дендроклиматические исследования / Т.Т. Битвинкас. – Л.: Гидрометиздат, 1974. – С. 10-31.

9. Бочкарев, Ю.Н. Дендроиндикация динамики ландшафтов на северной и высотной границах леса: автореф. дисс...канд. геогр. наук: 25.00.23 / Бочкарев Юрий Николаевич. – М., 2012. – 26 с.
10. Бочкарев, Ю.Н., Дьяконов, К.Н. Дендрохронологическая индикация функционирования ландшафтов на северной и верхней границах леса / Ю.Н. Бочкарев, К.Н. Дьяконов // Вестник Моск. Ун-та. – 2009. – Сер. 5. География. – №2. – С. 37-50.
11. Бронникова, М.А., Козлов, Д.Н., Кузнецова, Е.П. и др. Быстрые климатические изменения почвенного и растительного покрова криосубаридных экстраконтинентальных степных ландшафтов Терехольской котловины нагорья Сангилен / М.А. Бронникова, Д.Н. Козлов, Е.П. Кузнецова и др. // Биосферные функции почвенного покрова: материалы Всерос. науч. конф. – Пущино, 2010. – С. 54-56.
12. Ваганов, Е.А., Терсков, И.А. Анализ роста деревьев по структуре годовичных колец. / Е.А. Ваганов, И.А. Терсков. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1977. – 93 с.
13. Васильев, Е.П., Беличенко, В.Г., Резницкий, Л.З. Соотношение древней и кайнозойской структур на юго-западном фланге Байкальской рифтовой зоны / Е.П. Васильев, В.Г. Беличенко, Л.З. Резницкий // Доклады Академии Наук. – 1997. – Т. 353. – С. 789-792.
14. Велисевич, С.Н., Хуторной, О.В. Влияние климатических факторов на радиальный рост кедра и лиственницы в экотопах с различной влажностью почвы на юге Западной Сибири / С.Н. Велисевич, О.В. Хуторной // Журнал Сибирского Федерального Университета. – 2009. – Сер. Биология. – Т.1. – №2. – С. 117-132.
15. Викторov, С.В., Чикишев, А.Г. Ландшафтная индикация / С.В. Викторov, А.Г. Чикишев. – М.: Наука, 1985. – 96 с.
16. Выгодская, Н.Н., Горшкова, И.И. Теория и эксперимент в дистанционных исследованиях растительности / Н.Н. Выгодская, И.И. Горшкова. – Л.: Гидрометиздат, 1987. – 248 с.

17. География, общество, окружающая среда. Том II. Функционирование и современное состояние ландшафтов / Под ред. проф. К.Н. Дьяконова и проф. Э.П. Романовой. – М.: Издательский дом «Городец», 2004. – С. 19-240.
18. Долгова, Е.А., Соломина, О.Н. Первая количественная реконструкция температуры воздуха теплого периода на Кавказе по дендрохронологическим данным / Е.А. Долгова, О.Н. Соломина // Доклады Академии Наук. – 2010. – Вып. 431. – № 2. – С. 1-5.
19. Дьяконов, К.Н. Геофизика ландшафта. Биоэнергетика, модели, проблемы / К.Н. Дьяконов. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991. – 96 с.
20. Дьяконов, К.Н., Беляков, А.И. Ландшафтная дендрохронология. Геопространственные системы: структура, динамика, взаимосвязи / К.Н. Дьяконов, А.И. Беляков // Труды XII съезда Русского географического общества. – 2005. – Т. 2. – С. 37-42.
21. Дьяконов, К.Н., Солнцев, В.Н. Пространственно-временной анализ геосистемной организации: основные итоги и перспективы / К.Н. Дьяконов, В.Н. Солнцев // Вестник Московского университета. – 1998. – Сер. География. – №4. – С. 21-28.
22. Журавлева, О.В. Дендроиндикация изменений природной обстановки на верхней границе леса в горах Алтая: автореф. дисс...канд. геогр. наук: 25.00.23 / Журавлева Ольга Валерьевна. – Барнаул, 2002. – 24 с.
23. Зонненштайн, Л.П., Кузьмин, М.И., Натапов, Л.М. Тектоника литосферных плит территории СССР. Т.1 / Л.П. Зонненштайн, М.И. Кузьмин, Л.М. Натапов. – М.: Недра, 1990. – 327 с.
24. Исаченко, А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование / А.Г. Исаченко. – М.: Высшая школа, 1991. – С. 217.
25. Климат России. – СПб.: Гидрометеиздат, 2001. – 655 с.
26. Климат СССР. Справочник. Вып. 21. Влажность и атмосферные осадки, снежный покров. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 402 с.

27. Климат СССР. Справочник. Вып. 21. Облачность и атмосферные явления. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 354 с.
28. Климат СССР. Справочник. Вып. 21. Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 112 с.
29. Климат СССР. Справочник. Вып. 21. Температура воздуха и почвы. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 504 с.
30. Козловский, Ф.И. Структурно-функциональная и математическая модели миграционных ландшафтно-геохимических процессов / Ф.И. Козловский // Почвоведение. – 1972. – №4. – С. 122-138.
31. Козловский, Ф.И. Теория и методы изучения почвенного покрова / Ф.И. Козловский. – М.: ГЕОС, 2003. – 538 с.
32. Кошурников, А.В., Зыков, Ю.Д., Панин, А.В. и др. Изучение мерзлого основания археологического памятника «Крепость Пор-Бажын» (Тува) / А.В. Кошурников, Ю.Д. Зыков, А.В. Панин и др. // Инженерные изыскания. – 2008. – № 6. – С. 28-31.
33. Крамер, П.Д., Козловский, Т.Т. Физиология древесных растений / П.Д. Крамер, Т.Т. Козловский. – М.: Лесная промышленность, 1983. – 464 с.
34. Крауклис, А.А. Применение организационных принципов в физической географии / А.А. Крауклис // Методологические вопросы географии. – Иркутск, 1977. – С. 36-50.
35. Крауклис, А.А. Природные режимы и топогеосистемы / А.А. Крауклис // Природные режимы и топогеосистемы Приангарской тайги. – Новосибирск: Наука, 1975. – С. 7-13.
36. Кузнецова, В.П. Фенологическая индикация для оценки динамики метеорологических условий северных территорий (на примере Нижневартовского региона) / В.П. Кузнецова // Природа и общество: взгляд из прошлого в будущее. Материалы XVII научной конференции молодых географов Сибири и Дальнего Востока (Иркутск, 11-16 апреля

- 2011 г.). – Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2011. – С. 145-147.
37. Кузнецова, Е.П., Козлов, Д.Н. Внутриландшафтная изменчивость радиальных приростов лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) Терехольской котловины Тывы в XX веке / Е.П. Кузнецова, Д.Н. Козлов // Журнал Сибирского федерального университета.– 2011. – Сер. Биология. – Т.4. – №4. – С. 325-337.
 38. Кучеров, С.Е. Влияние непарного шелкопряда на радиальный прирост дуба черешчатого / С.Е. Кучеров // Лесоведение. – 1990. – №2. – С. 20-29.
 39. Леопольд, А. Рост и развитие растений / А. Леопольд. – М.: Мир, 1968. – 494 с.
 40. Ловелиус, Н.В. Изменчивость прироста деревьев. Дендроиндикация природных процессов и антропогенных воздействий / Н.В. Ловелиус. – Л.: Наука, 1979. – 232 с.
 41. Макунина, Г.С. Три составляющие системной организации ландшафта в концепциях Ф.И. Козловского, А.А. Крауклиса и В.Н. Солнцева / Г.С. Макунина // География и природные ресурсы. – 2010. – №1. – С. 18-23.
 42. Малышева, Н.В., Быков, Н.И. Дендрохронологические исследования ленточных боров юга Западной Сибири / Н.В. Малышева, Н.И. Быков. – Барнаул: Азбука, 2011. – 125 с.
 43. Мамай, И.И. Динамика и функционирование ландшафтов / И.И. Мамай. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. – 138 с.
 44. Мамай, И.И. Динамика ландшафтов: Методика изучения / И.И. Мамай. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1992. – 168 с.
 45. Методы палеогеографических реконструкций / Под ред. Каплина П.А., Яниной Т.А. – М.: Географический факультет МГУ, 2010. – 430 с.
 46. Мудров, Ю.В., Тумель, Н.В. Мерзлотный рельеф нагорья Сангилен (юго-восточная Тува) / Ю.В. Мудров, Н.В. Тумель // Проблемы криолитологии. – М.: Изд-во МГУ, 1969. – Вып. 1. – С. 63-70.

47. Мыглан, В.С., Ойдупаа, О.Ч., Ваганов, Е.А. Построение 2367-летней древесно-кольцевой хронологии для Алтае-Саянского региона (горный массив Монгун-Тайга) / В.С. Мыглан, О.Ч. Ойдупаа, Е.А. Ваганов // Археология, этнография и антропология Евразии. – 2012. – Вып. 3. – №51. – С. 76-83.
48. Наурзбаев, М.М. Дендроклиматический анализ длительных изменений температурного режима в Субарктике Евразии: автореф. дисс...доктор биол. наук: 03.00.16 / Наурзбаев Мухтар Мухаметович. – Красноярск, 2005. – 43 с.
49. Николаев, А.Н., Скачков, Ю.Б. Влияние снежного покрова и температурного режима мерзлотных почв на радиальный прирост деревьев Центральной Якутии / А.Н. Николаев, Ю.Б. Скачков // Журнал Сибирского федерального университета. – 2012. – Сер. Биология. – Т.5. – №1. – С. 43-51.
50. Николаев, А.Н., Федоров, А.Н. и др. Влияние характера мерзлотных ландшафтов на рост лиственничных древостоев в Центральной Якутии / А.Н. Николаев, А.Н. Федоров и др. // Вестник Северо-Восточного Федерального Университета им. М.К. Аммосова. – 2011. – №1. – С. 25-35.
51. Ойдупаа, О.Ч., Баринов, В.В. и др. Построение и анализ 1104-летней хронологии Тагус для Алтае-Саянского региона (Юго-Восточная Тыва) / О.Ч. Ойдупаа, В.В. Баринов и др. // Журнал Сибирского федерального университета. – 2011. – Сер. Биология. – Т.4. – №4. – С. 368-377.
52. Панин, А.В., Бронникова М.А. и др. История озера Тере-Холь и голоценовая динамика природной среды на юго-востоке Саянотувинского нагорья / А.В. Панин, М.А. Бронникова и др. // Доклады Академии Наук. – 2012. – Т. 446. – №5. – С. 568-574.
53. Панин, А.В. Первые данные о голоценовой сейсмике юго-западного замыкания Байкальской рифтовой зоны / А.В. Панин // Доклады Академии Наук. – 2011. – Т. 438. – №1. – С. 76-81.

54. Пузаченко, Ю.Г. Математические методы в экологических и географических исследованиях / Ю.Г. Пузаченко. – М.: Академия, 2004. – 416 с.
55. Раман, К.Г. Пространственная полиструктурность топологических геокомплексов и опыт ее выявления в условиях Латвийской ССР / К.Г. Раман. – Рига: Изд-во Латв. ун-та, 1972. – 48 с.
56. Ретеюм, А.Ю. Физико-географическое районирование и выделение геосистем / А.Ю. Ретеюм // Вопросы географии, сб. 98. – М.: Мысль, 1975. – С. 5-26.
57. Самойлова, Г.С. Ландшафтная карта Алтае-Хангае-Саянского региона и физико-географическое районирование трансграничной территории гор севера внутренней Азии (Россия, Монголия, Казахстан, Китай). М 1:2 000 000 / Г.С. Самойлова. – М., 2008.
58. Самойлова, Г.С. Региональная дифференциация трансграничных территорий гор Южной Сибири / Г.С. Самойлова // География и геоэкология на современном этапе взаимодействия природы и общества: материалы Всероссийской научной конференции «Селиверстовские чтения» (Санкт-Петербург, 19-20 ноября 2009 г.). – СПб: Санкт-Петербургский государственный университет, ВВМ, 2009. – С. 460-465.
59. Сандлерский, Р.Б. Оценка потенциальной биологической продуктивности южно-таежных ландшафтов по данным дистанционного зондирования / Р.Б. Сандлерский // Тр. Междунар. шк.-конф. «Ландшафтное планирование. Общие основания. Методология. Технология». – М.: Геогр. фак. МГУ, 2006. – С. 217–221.
60. Солнцев, В.Н. Системная организация ландшафтов / В.Н. Солнцев. – М., 1981. – 239 с.
61. Сохранение биоразнообразия в российской части Алтае-Саянского региона в условиях изменения климата. Стратегия адаптации. – Красноярск: Город, 2012. – 62 с.

62. Сочава, В.Б. Тайга как тип природной среды / В.Б. Сочава // Южная тайга Приангарья. Структура и природные режимы южнотаежного ландшафта. – Л.: Наука, 1969. – С. 4-32.
63. Сочава, В.Б. Теоретическая и прикладная география / В.Б. Сочава. – Новосибирск: Наука, 2005. – С. 130-147.
64. Табакова, М.А., Кирдянов, А.В. и др. Зависимость радиального прироста лиственницы Гмелина на севере Средней Сибири от локальных условий произрастания / М.А. Табакова, А.В. Кирдянов и др. // Журнал Сибирского федерального университета. – 2011. – Сер. Биология. – Т. 4. – №4. – С. 314–324.
65. Тарасова, Т.В. Классификация состояний геосистем как стокоформирующих комплексов / Т.В. Тарасова // Природа и общество: взгляд из прошлого в будущее. Материалы XVII научной конференции молодых географов Сибири и Дальнего Востока (Иркутск, 11-16 апреля 2011 г.). – Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2011. – С. 54-56.
66. Трофимова, А.Д. Дендроиндикация условий произрастания основных хвойных пород южного и среднего Сихотэ-Алиня: автореф. дисс...канд. геогр. наук: 25.00.25 / Трофимова Анастасия Дмитриевна. – Санкт-Петербург, 2012. – 23 с.
67. Уфимцев, Г.Ф. Горные пояса континентов и симметрия рельефа Земли / Г.Ф. Уфимцев. – Новосибирск: Наука, 1991. – 168 с.
68. Уфлянд, А.К., Ильин, А.В., Спиркин, А.И. Впадины байкальского типа Северной Монголии / А.К. Уфлянд, А.В. Ильин, А.И. Спиркин // Бюлл. МОИП. Отд. Гнол. – 1969. – Т.44. – Вып. 6. – С. 5-22.
69. Шац, М.М. Геокриологические условия Алтае-Саягской горной страны / М.М. Шац. – Новосибирск: Наука, 1978. – 103 с.
70. Шиятов, С.Г., Ваганов, Е.А. и др. Методы дендрохронологии. Ч.1 Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой

- информации / С.Г. Шиятов, Е.А. Ваганов и др. – Красноярск: КрасГУ, 2000. – 80 с.
71. Шполянская, Н.А. Вечная мерзлота Забайкалья / Н.А. Шполянская. – М.: Наука, 1978. – 132 с.
 72. Boucher, É., Ouarda, T.B.M. et al. Spring flood reconstruction from continuous and discrete tree ring series / É. Boucher, T.B.M. Ouarda et al. // *Water Resources Research*. – 2011. – Vol. 47. – W07516. – 14 p.
 73. Bronnikova, M.A., Panin, A.V. et al. Cryo-Geomorphological Evolution of Soils on Islands of Terekhol Lake, Tuva, Southern Siberia / M.A. Bronnikova, A.V. Panin et al. // *Eurasian Soil Science*. – 2011. – Vol. 43. – No 1. – Pp. 1503–1514.
 74. Cook, E.R., Holmes, R.L. Program ARSTAN. Chronology development with statistical analysis. Users manual for Program ARSTAN / E.R. Cook, R.L. Holmes. – Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson, Arizona USA, 1999. – 12 p.
 75. Copenheaver, C.A., Peterson, J.A. A dendroclimatic assessment of habitat specificity: Use of a functional trait to classify white oak / C.A. Copenheaver, J.A. Peterson // *TRACE: Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology. Program and Abstracts of the Dendrosymposium 2012, May 09-12, 2012. – Potsdam and Eberswalde, 2012. – Pp. 11.*
 76. D'Arrigo, R., Wilson, R. et al. On the « Divergence Problem » in Northern Forests : A review of the tree-ring evidence and possible causes / R. D'Arrigo, R. Wilson et al. // *Global and Planetary Change*. – 2008. – Vol. 60. – Pp. 289-305.
 77. *Dendroclimatology: progress and prospects* / Eds. Hughes M.K., Swetnam T.W., Diaz H. F. – Springer. – 2011. – Vol. 11. – 366 p.
 78. Eaton, E., Barsoum, N. et al. Key drivers of inter-annual variation in oak growth over the past century in southern Britain and north-eastern France / E. Eaton, N. Barsoum et al. // *TRACE: Tree Rings in Archaeology,*

- Climatology and Ecology. Program and Abstracts of the Dendrosymposium 2012, May 09-12, 2012. – Potsdam and Eberswalde. – 2012. – Pp. 13.
79. Edvardsson, J., Linderson, H. et al. Holocene peatland development and hydrological variability inferred from bog-pine dendrochronology and peat stratigraphy – a case study from southern Sweden / J. Edvardsson, H. Linderson et al. // Journal of Quaternary Science. – 2012. – doi: 10.1002/jgs.2543.
 80. Esper, J., Cook, E., Schweingruber, F. Low-frequency signals in long tree-ring chronologies for reconstructing past temperature variability / J. Esper, E. Cook, F. Schweingruber // Science. – 2002. – Vol. 295. – Pp. 2250-2253.
 81. Esper, J., Frank, D. Divergence pitfalls in tree-ring research / J. Esper, D. Frank // Climatic Change. – 2009. – Vol. 94. – Pp. 261-266.
 82. Fantucci, R. Dendrogeomorphological analysis of shore erosion along Bolsena lake (Central Italy) / R. Fantucci // Dendrochronologia. – 2007. – Vol. 24. – Pp. 69-78.
 83. Fernández-de-Uña L. et al. Influence of stand competition on the growth response to climate change in Mediterranean tree species / L. Fernández-de-Uña et al. // TRACE: Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology. Program and Abstracts of the Dendrosymposium 2012, May 09-12, 2012. – Potsdam and Eberswalde, 2012. – Pp. 16.
 84. Fritts, H.C. Tree Rings and Climate / H.C. Fritts. – New York, NY: Academic Press, 1976. – 567 p.
 85. Forman, R.T.T., Godron, M. Landscape ecology / R.T.T. Forman, M. Godron. – New York: John Wiley and Sons, 1986. – 619 p.
 86. Gärtner, H. Tree roots – Methodological review and new development in dating and quantifying erosive processes / H. Gärtner // Geomorphology. – 2007. – 86/3-4. – Pp. 243-251.
 87. Gärtner, H., Esper, J., Treydte, K. Geomorphologie und Jahrringe – Feldmethoden in der Dendrogeomorphologie/ H. Gärtner, J. Esper, K. Treydte // Schweiz. Z. Forstwes. – 2004. – Vol. 155. – №6. – Pp. 213-221.

88. Grissino-Mayer, H.D. Evaluating Crossdating Accuracy: A Manual and Tutorial for the Computer Program Cofecha / H.D. Grissino-Mayer // Tree-Ring Research. – 2001. – Vol. 57. – №2. – Pp. 205-211.
89. Hartl, C. et al. Long-term growth pattern of Norway spruce in the Northern Limestone Alps / C. Hartl et al. // TRACE: Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology. Program and Abstracts of the Dendrosymposium 2012, May 09-12, 2012. – Potsdam and Eberswalde, 2012. – Pp. 19.
90. Holmes, R.L. Computer-assisted Quality Control in Tree-Ring Dating and Measurement / R.L. Holmes // Tree-Ring Bulletin. – 1983. – Vol. 43. – Pp. 69-78.
91. Hughes, M.K. Reframing dendroclimatology / M.K. Hughes // TRACE: Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology. Program and Abstracts of the Dendrosymposium 2012, May 09-12, 2012. – Potsdam and Eberswalde, 2012. – Pp. 22.
92. Jozsa, L. Increment Core Sampling Techniques for High Quality Cores / L. Jozsa. – Forintek Canada Corp., SP-30, 1998. – 26 p.
93. Kännel, M., Schweingruber, F.N. Multilingual Glossary of Dendrochronology. Terms and Definitions in English, German, French, Spanish, Italian, Portuguese and Russian / M. Kännel, F.N. Schweingruber. – Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. Berne, Stuttgart, Vienna, Haupt, 1995 – 467 p.
94. Lèvesque, M. et al. Drought responses and water-use efficiency of five conifer tree species: a multiproxy approach / M. Lèvesque et al. // TRACE: Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology. Program and Abstracts of the Dendrosymposium 2012, May 09-12, 2012. – Potsdam and Eberswalde, 2012. – Pp. 25.
95. Linke, N. Growth course and climate sensitivity of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst) in Brandenburg/Germany / N. Linke // TRACE: Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology. Program and Abstracts of

- the Dendrosymposium 2012, May 09-12, 2012. – Potsdam and Eberswalde, 2012. – Pp. 27.
96. Meko, D.M. Tree-Ring Inferences on Water-Level Fluctuations of Lake Athabaska / D.M. Meko // Canadian Water Resources Journal. – 2006. – Vol. 31. – №4. – Pp. 229-248.
 97. Methods of Dendrochronology. Application in the Environmental Sciences / Eds. E.R. Cook, L.A. Kairiukstis. – Dordrecht; Boston; London: Kluwer Acad. Publ, 1990. – 394 p.
 98. Mitchell, T.D. et al. A Comprehensive Set of High-Resolution Grids of Monthly Climate for Europe and the Globe: The Observed Record (1901-2000) and 16 Scenarios (2001-2100) / T.D. Mitchell et al. – Tyndall Centre for Climate Change Res., Norwich, U.K., 2004. – Working Paper 55.
 99. Naurzbaev, M.M. et al. Summer temperatures in eastern Taimyr inferred from a 2427-year late-Holocene tree-ring chronology and earlier floating series / M.M. Naurzbaev et al. // The Holocene. –2002. – Vol. 12. – №6. – Pp.727-736.
 100. New, M. et al. A high-resolution data set of surface climate over global land areas / M. New et al. // Climate Research. –2002 – Vol.21. – Pp. 1-25.
 101. Pérez-de-Lis, G. et al. Is the upper timberline in subtropical mountains induced by drought? – A case study of *Pinus canariensis* along its elevation range in Tenerife, Canary Islands / G. Pérez-de-Lis et al. // TRACE: Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology. Program and Abstracts of the Dendrosymposium 2012, May 09-12, 2012. – Potsdam and Eberswalde, 2012. – Pp. 33.
 102. Peters, K., Jacoby, G.C., Cook, E.R. Principal Component Analysis of Tree-Ring Sites / K. Peters, G.C. Jacoby, E.R. Cook // Tree-Ring Bulletin. – 1981. – Vol. 41. – Pp. 1-21.
 103. Pickett, S.T.A., Cadenasso, M.L. Landscape ecology: spatial heterogeneity in ecological systems / S.T.A. Pickett, M.L. Cadenasso //

- Science. – 1995. – Vol. 269. – Pp.331-334.
104. Rinn, F. TSAP-WinTM Time Series Analysis and Presentation for Dendrochronology and Related Applications. Version 0.53 for Microsoft Windows 98, 2000, XP / F. Rink. – Rinntech, Heidelberg, 2005. – 110 p.
 105. Shapley, M.D. et al. Late-Holocene flooding and drought in the Northern Great Plains, USA, reconstructed from tree rings, lake sediments and ancient shorelines / M.D. Shapley et al. // The Holocene. – 2005. – Vol. 15. – №1. – Pp. 29-41.
 106. Schröder, B. Pattern, process, and function in landscape ecology and catchment hydrology – how can quantitative landscape ecology support predictions in ungauged basins (PUB)? / B. Schröder // Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss. – 2006. – Vol. 3. – Pp. 1185–1214.
 107. Schweingruber, F.H. Tree rings: Basics and Applications of Dendrochronology / F.H. Schweingruber. – Dordrecht: Reidel. Publ., 1988. – 276 p.
 108. Schweingruber, F.H. Tree rings and Environment Dendroecology / F.H. Schweingruber. – Birminsdorf. Berne, Stuttgart, Vienna: Haupt, 1996. – 609 p.
 109. Solomina, O., Wiles, G. et al. Multiproxy records of climate variability for Kamchatka for the past 400 years / O. Solomina, G. Wiles et al. // Climate of the Past. – 2007. – Vol. 3. – Pp. 119-128.
 110. Stoffel, M. et al. Tree-Ring Peconstruction of Debris-Flow Events Leading to Overbank Sedimentation on the Illgraben Cone (Valais Alps, Switzerland) / M. Stoffel et al. // The Open Geology Journal. – 2008. – Vol. 2. – Pp. 18-29.
 111. Turner, M.G. et al. Landscape Ecology in the theory and practice: pattern and process / M.G. Turner et al. – New York, NY [u.a.]: Springer, 2001. – 402 p.

112. Vaganov, E.A. et al. Growth Dynamics of Conifer Tree Rings. Images of Past and Future Environment / E.A. Vaganov et al. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg, 2006. – Pp. 1-71.
113. Wiles, G.C. et al. A 265-year reconstruction of Lake Erie water levels based on North Pacific tree rings / G.C. Wiles et al. // Geophysical Research Letters. – 2009. – Vol. 36. – doi:10.1029/2009GL037164.
114. Wilson, R.J.S. et al. A millennial long March-July precipitation reconstruction for southern-central England / R.J.S. Wilson et al. // Climate Dynamics. – 2012. – doi:10.1007/s00382-012-1318-z.
115. Wu, J. Landscape Ecology / J. Wu // Encyclopedia of Ecology. Elsevier, Oxford, 2008. – Pp. 2103-2108.
116. Wu, J., Hobbs, R. Key issues and research priorities in landscape ecology: An idiosyncratic synthesis / J. Wu, R. Hobbs // Landscape Ecology. – 2002. – Vol. 17. – Pp. 355–365.

Фондовые материалы:

117. Геологическая карта СССР, М 1:200 000. Лист М-47-XXII. Объяснительная записка. – М., 1961. – 69 с.
118. Государственная геологическая карта СССР, М 1: 200 000. Лист М-47-XIV, XV, XX. Объяснительная записка. – М.: ВСЕГЕИ, 1985. – 115 с.
119. Карта физико-географического районирования СССР, М 1:80 000 000. – 1986.
120. Ландшафтная карта СССР, М 1:4 000 000. Гл. ред. А.Г. Исаченко. – 1988.
121. Матросов, П.С. Подготовка к изданию тектонической карты Республики Тувы масштаба 1:500 000 и объяснительной записки к ней (Отчет по договору 80д за 1991-1993 гг.) / П.С. Матросов. – ВСЕГЕИ-Тувагеолком. Кызыл, 1993.
122. Магрицкий, Д.В., Нестеренко, Д.П. Водные объекты / Д.В. Магрицкий, Д.П. Нестеренко // Окончательный отчет о научно-

- исследовательских работах по договору 01/19-04-07 «Комплексное географическое исследование района археологического памятника Крепость «Пор-Бажын» (Республика Тыва РФ)» с Культурным Фондом «Крепость Пор-Бажын. Отв. исполнитель доцент, к.г.н. А.В. Панин. – М., 2008. – С. 109-115.
123. Панин, А.В., Шеремецкая, Е.Д. Геология и геоморфология юго-западной части Терехольской котловины / А.В. Панин, Е.Д. Шеремецкая // Окончательный отчет о научно-исследовательских работах по договору 01/19-04-07 «Комплексное географическое исследование района археологического памятника Крепость «Пор-Бажын» (Республика Тыва РФ)» с Культурным Фондом «Крепость Пор-Бажын. Отв. исполнитель доцент, к.г.н. А.В. Панин. – М., 2008. – С. 115-142.
124. Репкина, Т.Ю. Геологическое строение / Т.Ю. Репкина // Окончательный отчет о научно-исследовательских работах по договору 01/19-04-07 «Комплексное географическое исследование района археологического памятника Крепость «Пор-Бажын» (Республика Тыва РФ)» с Культурным Фондом «Крепость Пор-Бажын. Отв. исполнитель доцент, к.г.н. А.В. Панин. – М., 2008. – С. 12-25.
125. Суркова, Г.В. Климатические условия / Г.С. Суркова // Окончательный отчет о научно-исследовательских работах по договору 01/19-04-07 «Комплексное географическое исследование района археологического памятника Крепость «Пор-Бажын» (Республика Тыва РФ)» с Культурным Фондом «Крепость Пор-Бажын. Отв. исполнитель доцент, к.г.н. А.В. Панин. – М., 2008. – С. 53-70.
126. Струнин, Б.М. Подготовка к изданию карты полезных ископаемых Красноярского региона на геологической основе масштаба 1:500 000 / Б.М. Струнин // Отчет стратиграфической партии о результатах картосоставительских работа масштаба 1:500 000,

проведенных в 1996-2005 гг. – Красноярск: Красноярскгеолсъёмка, 2005.

127. Тумель, Н.В., Мудров, Ю.В. Мерзлотные условия / Н.В. Тумель, Ю.В. Мудров // Окончательный отчет о научно-исследовательских работах по договору 01/19-04-07 «Комплексное географическое исследование района археологического памятника Крепость «Пор-Бажын» (Республика Тыва РФ)» с Культурным Фондом «Крепость Пор-Бажын. Отв. исполнитель доцент, к.г.н. А.В. Панин. – М., 2008. – С. 103-109.

Интернет-источники:

128. Культурный фонд «Крепость Пор-Бажин» www.por-bajin.ru
129. Российский гидрометеорологический портал <http://www.meteo.ru>
130. CarboEurope IP: www.carboeurope.org
131. CRU TS 2.1.:
http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/hrg/timm/grid/CRU_TS_2_1.html
132. DPL: Dendrochronology Program Library –
<http://www.ltrr.arizona.edu/software.html>
133. FLUXNET: www.fluxnet.ornl.gov
134. International Long Term Ecological Research: www.iltinternet.edu
135. Statsoft (электронный учебник по статистике): <http://www.statsoft.ru>
136. Tree-Ring Data Bank: <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/treering.html>