

*На правах рукописи*

**ФЁДОРОВ Павел Петрович**

**ДЕНДРОКЛИМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ  
РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА ДЕРЕВЬЕВ  
В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ**

Специальность 03.00.16. – экология

**А в т о р е ф е р а т**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата сельскохозяйственных наук

Братск – 2008

Работа выполнена в Институте биологических проблем криолитозоны  
Сибирского отделения Российской Академии Наук

*Научный руководитель:* доктор биологических наук,  
профессор, академик РАН,  
**Ваганов Евгений Александрович**

*Официальные оппоненты:* доктор биологических наук,  
**Суворова Галина Георгиевна**  
доктор биологических наук,  
**Наурзбаев Мухтар Мухаметович**

*Ведущая организация:* **Институт экологии растений и  
животных УрО РАН**

Защита состоится 19 декабря 2008 г. в 10-00 часов, на заседании диссертационного совета ДМ 212.018.03 при Братском государственном университете по адресу: 665709, г. Братск, Иркутская область, ул. Макаренко, 40.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Братского государственного университета.

Автореферат разослан \_\_\_\_ ноября 2008 г.

Просим Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями направлять по адресу: 665709, г. Братск, ул. Макаренко, 40, БрГУ, факс (3953) 33-20-08 ученому секретарю совета Чжан С.А.

Ученый секретарь диссертационного совета  
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

С.А. Чжан

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы:** В настоящее время широко обсуждается проблема влияния потепления климата на распространение и параметры криолитозоны - климатически уязвимого элемента природной среды. Ландшафты криолитозоны в силу особенностей своего строения и внутренней структуры по-разному реагируют на изменение климата. Изучению проблем деградации вечной мерзлоты посвящены исследования А.А.Величко, П.И.Мельникова, П.Д.Павлова и многих ученых.

Исследование реакции лесных экосистем в криолитозоне имеет важное научное значение, так как рост и развитие растений тесно связаны с климатическими и почвогрунтовыми условиями мест произрастания. Центральная Якутия – регион, где в условиях потепления климата можно ожидать наиболее существенные изменения в характеристиках многолетнемерзлых пород. Леса здесь представлены в основном хвойными породами, которые достигают возраста 400 и более лет, что позволяет получить длительные древесно-кольцевые серии. Учитывая, что изменения в экосистеме четко фиксируются годичными кольцами деревьев, актуальны исследования направленные на изучение динамики радиального прироста в зависимости от изменений климатических параметров.

**Цель работы:** Исследовать динамику радиального прироста древесных пород, произрастающих в условиях многолетнемерзлых пород на примере Центральной Якутии.

**Задачи исследования:** 1. Получить обобщенные древесно-кольцевые хронологии по живым деревьям для территории Центральной Якутии. 2. Провести сравнительный анализ полученных древесно-кольцевых хронологий и содержащегося в них климатического сигнала в разных районах Центральной Якутии. 3. Провести анализ влияния основных климатических факторов, определяющих многолетнюю изменчивость радиального прироста деревьев в разных условиях местопроизрастания. 4. Исследовать влияние температурных условий грунтов и почвенной влаги на радиальный прирост древесных пород.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Выявлены пространственные и видовые закономерности реакции радиального прироста деревьев на влияние климатических факторов в условиях распространения многолетней мерзлоты.

2. Повышение раннелетних температур, фиксируемых в течение последних десятилетий, отражается на более раннюю активацию радиального прироста деревьев.

3. Температурный режим почв и его изменения оказывают значимое влияние на радиальный прирост лиственницы и сосны в Центральной Якутии.

4. Режим увлажнения деятельного слоя почвы в начальный период вегетационного сезона имеет определяющее значение на прирост лиственницы в Центральной Якутии.

**Научная новизна.** Для разных районов Центральной Якутии, проведен сравнительный анализ хронологий по двум видам хвойных - лиственнице Каяндера (*Larix Cajanderi Mayr*) и сосне обыкновенной (*Pinus sylvestris L.*), который позволил выявить общие закономерности пространственной изменчивости реакции растений на изменения климата и получить модели, описывающие реакции прироста деревьев на изменения основных климатических параметров.

Впервые проведены исследования реакции радиального прироста древесных пород на изменения температурного режима и содержания влаги в деятельном слое почвы. Выявлены тесные корреляционные связи с температурой на разных глубинах почвы и с содержанием влаги на глубинах сезонно-талого слоя. Аккумуляция влаги в осенний период на глубинах соответствующих деятельному слою является одним из основных факторов для произрастания деревьев в условиях сухого климата Центральной Якутии.

**Практическое значение.** Используемые в работе методические подходы и результаты реализованы в ходе выполнения хозяйственных договоров в период с 2003 по 2008 гг. между ИБПК СО РАН и ОАО «ЯкутГазПроект». Результаты исследований могут быть использованы при разработке системы рекомендаций по сведению к минимуму негативного влияния урбанизации на устойчивость лесных экосистем (изучении криогенных ландшафтов, лесном хозяйстве, производстве сельскохозяйственных культур, послепожарной реакции прироста деревьев и др.), а так же для оценки устойчивости древесных растений к изменениям гидротермического режима почв.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации представлялись на российских и международных конференциях: «Структурно-функциональная организация и динамика лесов», Красноярск, 2004г., «Мерзлотные почвы: разнообразие, экология и охрана», Якутск, 2004г., «Лесные исследования в Якутии: итоги, состояние и перспективы», Якутск, 2006г., 1<sup>st</sup> Asia CliC Symposium – The state and fate of Asian Cryosphere, Yokohama, 2006, «Новые методы в дендрэкологии», Иркутск, 2007г., «Дендрэкология и лесоведение», Красноярск, 2007 г.,

**Публикации.** Основное содержание работы изложено в 14 публикациях, в том числе в 1 статье рецензируемого журнала, рекомендуемого ВАК России для опубликования результатов кандидатских диссертаций.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 6 глав, основных выводов и списка литературы. Основной текст изложен на 110 страницах, включает 7 таблиц и 33 рисунка. Список литературы состоит из 187 наименований, в том числе 56 на иностранных языках.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **Глава 1. Дендроклиматические исследования криолитозоны Евразии**

Приведен обзор научной литературы о дендрохронологических исследованиях в зоне распространения многолетнемерзлых пород (ММП). Изложены исторические данные становления дендроклиматических исследований, отмечены работы А.И.Бекетова, Ф.Н.Шведова. Выделена роль А.Э.Дугласа, автора техники перекрестной датировки – основного метода дендрохронологических исследований. Кратко даны основные принципы дендроклиматических реконструкций, в основе которых – построение древесно-кольцевых хронологий в целях анализа прошлых и текущих изменений климата. В России систематические дендроклиматические исследования ведутся с конца 80-х годов прошлого столетия. Большой вклад в дендроклиматических исследования Западной и Средней Сибири внесли Е.А.Ваганов, С.Г.Шиятов, Н.В.Ловелиус, Г.И.Галазий, В.И.Воронин и др. К началу 1990-х г. субарктические районы северо-востока Сибири оказались наименее изучены в дендроклиматическом аспекте. На территории Якутии этот пробел восполнен к 1999 г., была создана сеть дендрохронологических участков, построены длительные - до 600 лет хронологии, оценен вклад отдельных климатических переменных в изменчивость радиального прироста. С 2000 г. ведутся работы по расширению сети дендроклиматических станций, продолжаются исследования влияния криогенных условий на динамику роста и развития деревьев на основе длительных наблюдений.

### **Глава 2. Физико-географические особенности района исследований**

Район исследований охватывает территорию Центрально-Якутской равнины находящуюся между 60-70<sup>0</sup> с.ш. и 120-142<sup>0</sup> в.д. Рельеф равнинный со сложной террасированностью и относится к средневысотным аккумулятивно-эрозионным плейстоценовым террасам и соответствующим аллювиальным и реже денудационным равнинам. Основным типом рельефа являются термокарстовый (аласный) и эрозионно-аккумулятивный. Зарождению и развитию аласных форм рельефа благоприятствуют геологические и геоморфологические условия Центрально-Якутской низменности.

Характерной особенностью климата является резкая континентальность, которая проявляется в больших годовых колебаниях температуры, относительно малом количестве выпадающих осадков, определяющихся географическим положением региона. Основным фактором, влияющим на состояние атмосферы, является мощный и устойчивый зимний Сибирский антициклон. Сильное влияние оказывает воздух, переносимый с Атлантического океана. Зима продолжительная, холодная, малоснежная. Средняя температура зимних месяцев составляет -35...-45°C. Средняя температура самого теплого месяца (июль) - 18-19°C. Продолжительность теплого периода (выше 0°C) около 145 дней. Средняя годовая температура

воздуха отрицательная (-10, -11°C). Переход средней суточной температуры воздуха через 0°C происходит в первых числах мая, а осенью - в конце сентября - начале октября. Годовое количество осадков относительно невелико: примерно 200-220 мм. В связи с антициклональным режимом погоды за весь холодный период (ноябрь-март) выпадает всего 35-40 мм осадков. На теплый период (апрель-октябрь) приходится 160-180 мм осадков, или 75-85% годового количества.

По почвенному районированию исследуемая территория относится к Центральноякутской таежно-аласной провинции мерзлотных почв в сочетании с луговыми и засоленными почвами аласов. Зональным типом почв являются мерзлотные палевые почвы, которые формируются на карбонатных суглинках.

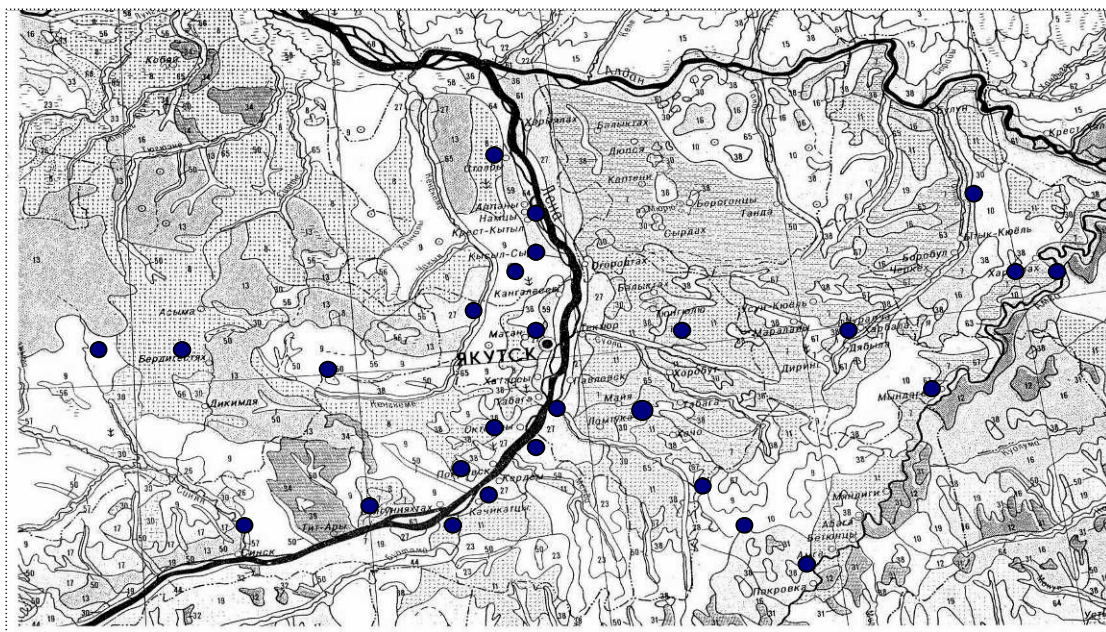
Район исследований, как и территория всей республики, находится в зоне распространения ММП, и относится к группе среднетаежных провинций сплошного распространения многолетнемерзлых пород. В среднем мощность ММП составляет 100-300 м. Средняя годовая температура ММП на глубине 10-15 м колеблется от 0° до -10°C и ниже. Глубина сезонного протаивания почвогрунта в зависимости от рельефа, литологии, экспозиции и растительного покрова, колеблется от 0,3 (0,6) до 2,5 м.

Центральная Якутия относится к Восточно-Сибирской подобласти светлохвойных лесов Евразийской хвойной лесной области. Общая лесистость района составляет 60-70%. Здесь преобладают среднетаежные леса из *Larix cajanderi* (86%), *Pinus sylvestris* (8%), *Betula plathypilla* (2%) с небольшой примесью *Picea obovata*.

### **Глава 3. Материал и методы исследования**

Сбор дендрохронологического материала осуществлялся вдоль среднего течения р. Лены (меридиональный трансект) и одного широтного трансекта в Центральной Якутии. Протяженность района исследований с севера на юг от с. Столбы Намского района до п. Синск Хангаласского района составляет более 300 км, а с запада на восток, с западной части Горного района до с. Уолба Таттинского района более 400 км (рис.1).

Обработка дендрохронологического материала (кernels живых деревьев) произведена в лаборатории дендрохронологии Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН на полуавтоматической установке LINTAB V-3.0. Посредством сочетания кросс-корреляционного анализа и графической перекрестной датировки определялась абсолютная дата каждого годичного кольца в индивидуальных сериях, выявлялись ложные и выпавшие кольца. Кросс-корреляционный анализ реализован в специализированном пакете дендрохронологических исследований DPL, а графическая перекрестная датировка выполнена в программном пакете TSAP-V3.5 с визуальным



**Рис.1. Карта-схема района исследований и расположение дендроклиматических станций**

сопоставлением кривых изменчивости абсолютных значений радиального прироста. Оценка возрастного тренда проведена для каждого индивидуального дерева, возрастная кривая аппроксимировалась негативной экспонентой, относительно которой рассчитывались индексы прироста. Процедуры расчетов выполнены в специализированных программных пакетах для дендрохронологических исследований. Оценка климатических функций отклика проведена по расчетам корреляций между индексами прироста и ежемесячными значениями температуры воздуха и осадков за период с января по август текущего года и с сентября по декабрь предыдущего года роста дерева.

#### **Глава 4. Основные статистические характеристики древесно-кольцевых хронологий**

Проанализирован радиальный прирост 1040 деревьев, при этом измерено и проанализировано 153383 годичных кольца. В том числе по лиственнице Каяндера (*Larix cajanderi* Mayr) - 104193, по сосне обыкновенной (*Pinus Sylvestris* L.) - 49190. Построено 54 обобщенные хронологии: 35 хронологий по лиственнице Каяндера и 19 по сосне обыкновенной.

Корреляционный анализ древесно-кольцевых хронологий по лиственнице и сосне позволил выявить тесные связи в радиальном приросте деревьев, произрастающих на сопредельных территориях. По лиственнице выявлено 5 и по сосне - 4 территориальные группы древесно-кольцевых хронологий. Хронологии деревьев северной части района исследований имеют низкую корреляционную связь с таковыми из южной части, а хронологии деревьев западной части не имеют корреляционной связи с таковыми в восточной части

района исследований, хотя и те и другие коррелируют с хронологиями расположенными в средней части трансектов.

Длительность обобщенных хронологий варьирует от 85 до 381 лет. Хронологии по лиственнице более продолжительны (от 114 до 381 лет), чем по сосне (от 85 до 299 лет). Средняя ширина годовичных колец образцов модельных деревьев увеличивается в направлении с севера на юг. Вдоль широтного трансекта существенных различий не выявлено, если не считать некоторого повышения средней ширины годовичных колец на границах трансектов. У западных хронологий средние значения радиального прироста несколько выше чем у восточных. Наблюдается некоторое уменьшение средней ширины колец в средней части трансектов. В сравнении с лиственницей радиальный прирост у сосны, произрастающей в Центральной Якутии, немного выше. С севера на юг наблюдается увеличение средней ширины колец от 1 до 2,25 мм. Анализ выпадения колец по хронологиям лиственницы показывает, что наибольший процент выпадения колец встречается в участках расположенных на Лено-Амгинском междуречье.

Анализ межсерияльной корреляции древесно-кольцевых хронологий, которая является показателем реакции радиального прироста отдельных деревьев одного местообитания на общие изменения внешних факторов, показал, что для всех полученных хронологий он достаточно высок и изменяется в пределах 0,62-0,81.

Чувствительность, характеризующая качество ответа радиального прироста на изменение факторов влияющих на ежегодный рост дерева, в среднем показывает величины 0,20-0,35. Наибольшие значения чувствительности хронологий выявлены в восточной части исследуемой территории. Этот район характеризуется как наиболее засушливый в Центральной Якутии. В этих условиях деревья наиболее сильно подвержены воздействию изменений условий внешней среды.

Анализ цикличности в многолетних колебаниях прироста деревьев Центральной Якутии показал, что в радиальном приросте преобладают высокочастотные циклы в 4-7 лет. Кроме того, значимые амплитуды имеют «солнечные» циклы длительностью в 11 лет и 22 года. Характерны и другие внутривековые циклы в полосе частот 28-35 и 40-59 лет. Для некоторых наиболее продолжительных древесно-кольцевых хронологий выявлены вековые и сверхвековые циклы.

Выявленные циклы совпадают с данными, полученными для некоторых регионов Северной Евразии другими исследователями.



## Глава 5. Анализ влияния климатических факторов на радиальный прирост лиственницы и сосны в Центральной Якутии

### 5.1. Влияние температуры воздуха и осадков на радиальный прирост лиственницы.

Анализ связи климатических переменных и радиального прироста лиственницы произрастающей в Центральной Якутии выявил, что значимая связь имеется в основном с раннелетними температурами воздуха (рис.2). Почти все древесно-кольцевые хронологии показывают значимую корреляцию с температурой мая. Только для некоторых западных участков проявляется значимая положительная корреляционная связь с температурой июня.

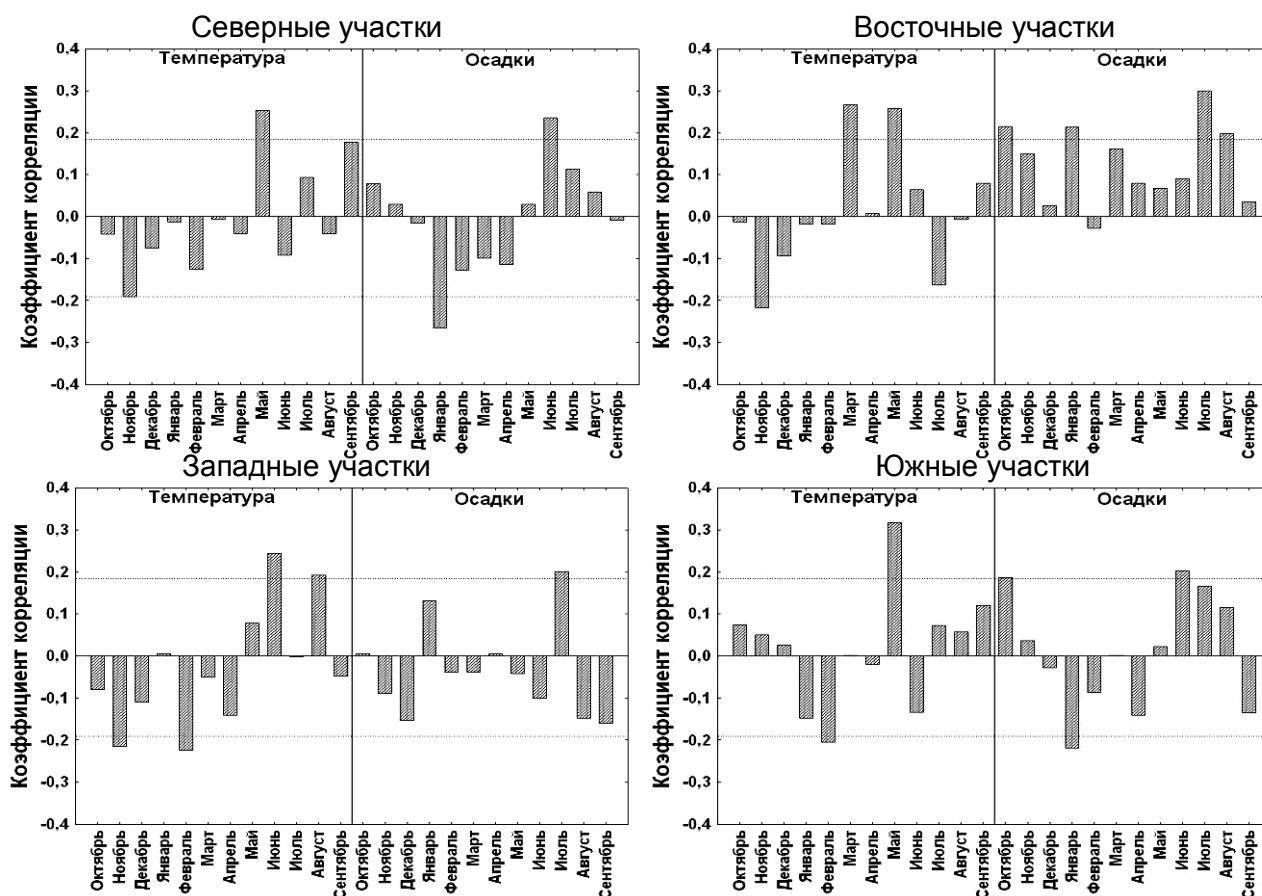


Рис. 2. Корреляции радиального прироста лиственницы с температурой воздуха и количеством выпадающих осадков.

Для восточных и центрально-восточных участков характерна слабая отрицательная корреляционная связь с июльской температурой воздуха. Этот район выделяется как самый засушливый в Центральной Якутии. Высокие температуры июля, вызывая иссушающий эффект почвы, негативно отражаются в радиальном приросте лиственницы.

Положительная связь наблюдается с температурой воздуха ноября месяца. Этот период совпадает со временем интенсивного промерзания деятельного слоя почвы. Можно предполагать, что ход ноябрьских температур напрямую влияет на этот процесс. Именно в это время происходит процесс миграции почвенной влаги в разные горизонты деятельного слоя.

Почти для всех групп наблюдается положительная корреляционная связь с осадками июня-июля. Как отмечалось ранее, в Центральной Якутии в июле месяце отмечаются самые высокие температуры воздуха. Среднесуточные температуры июля могут достигать 35-40°C. Поэтому в этот период, осадки наиболее необходимы для нормального роста лиственницы даже в западных более увлажненных местообитаниях. Для восточных и южных местообитаний положительную корреляционную связь с радиальным приростом лиственницы показывают осадки летних месяцев (июнь-август). Это еще раз свидетельствует о засушливости этой части Центральной Якутии в летний период. Важно, что для участков расположенных в восточной части Центральной Якутии характерна положительная связь с количеством выпадающих осадков октября-ноября предыдущего года. Известно, что осенние осадки, промерзая в деятельном слое, задерживаются в почве.

## 5.2. Влияние температуры воздуха и осадков на радиальный прирост сосны обыкновенной

Пространственный анализ влияния климатических переменных на радиальный прирост сосны показал, что температура воздуха в основном имеет незначимую, а в летние месяцы и отрицательную связь (рис.3).

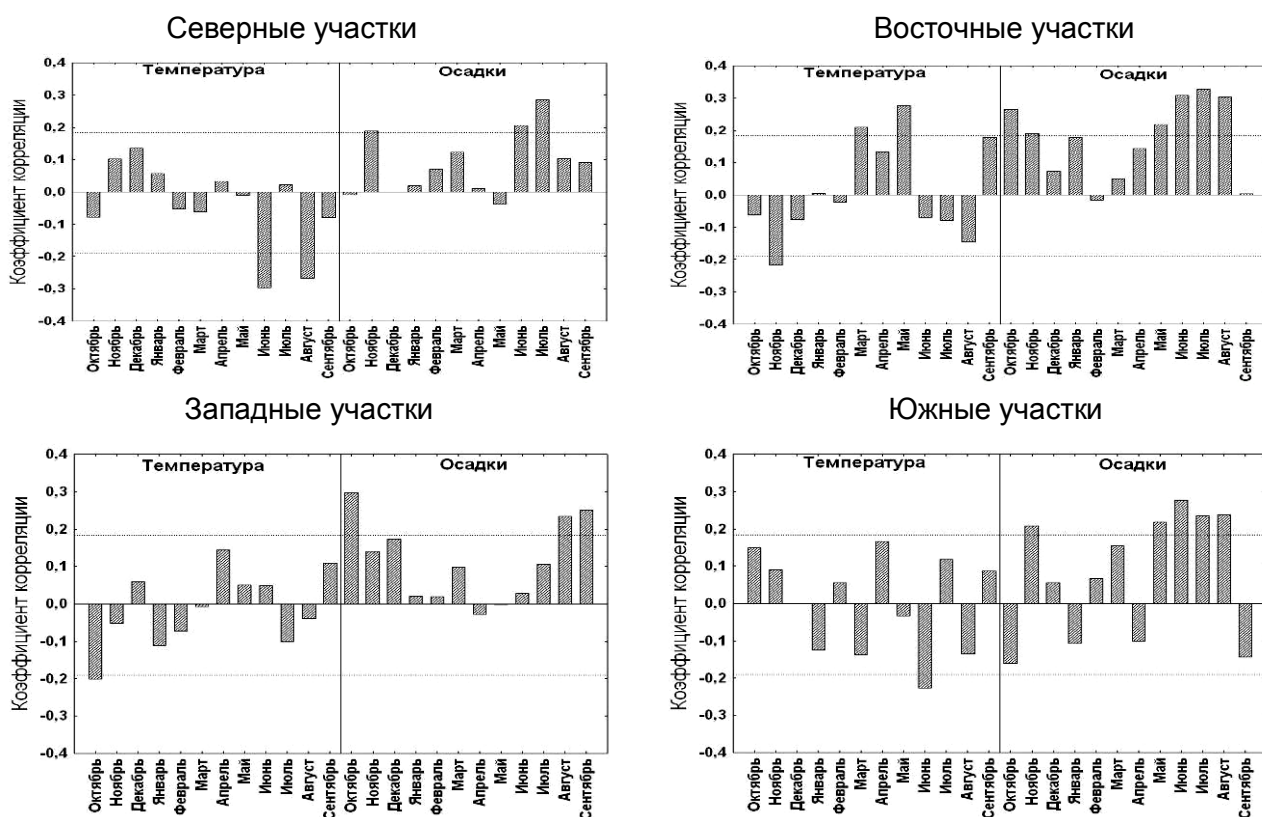


Рис.3. Корреляции радиального прироста сосны с температурой воздуха и количеством выпадающих осадков.

Для сосны произрастающей в Центральной Якутии важна роль осадков, особенно летних месяцев. Для северных участков значимую положительную корреляционную связь с радиальным приростом сосны показывают количество осадков июня и июля. Для центральных, восточных и южных участков важна роль увлажнения всех трех летних месяцев с июня по август. Для юго-восточных участков значимая положительная корреляционная связь годовичного прироста сосны с количеством осадков выявляется в мае и июне. Для западных участков осадки первой половины лета не значимы. Наибольшее значение осадков для роста сосны выявлено для участков, расположенных в восточной части Центральной Якутии, поскольку в этом регионе леса испытывают наибольший дефицит увлажнения.

### **5.3. Связь радиального прироста деревьев с температурой воздуха и суммой осадков по пятидневкам в период с апреля по конец сентября.**

Более подробно влияние климатических условий на радиальный прирост лиственницы и сосны рассмотрено, используя суточные данные по температуре воздуха и осадкам по метеостанции Якутск. Сравнительный корреляционный анализ древесно-кольцевых хронологий по лиственнице и сосне с ходом температур воздуха и осадков по пятидневкам с апреля до конца сентября выявил, что значимая корреляция с раннелетними температурами воздуха у сосны отмечается раньше, чем у лиственницы. Результаты анализа показывают наличие температурного порога в 4°C, после чего ширина годовичного кольца у деревьев начинает положительно коррелировать с температурой воздуха. Для Центральной Якутии этот период отмечается 11 мая. С середины мая, когда температура воздуха достигает 7°C у сосны отмечается значимая корреляция между температурой воздуха и шириной годовичного кольца.

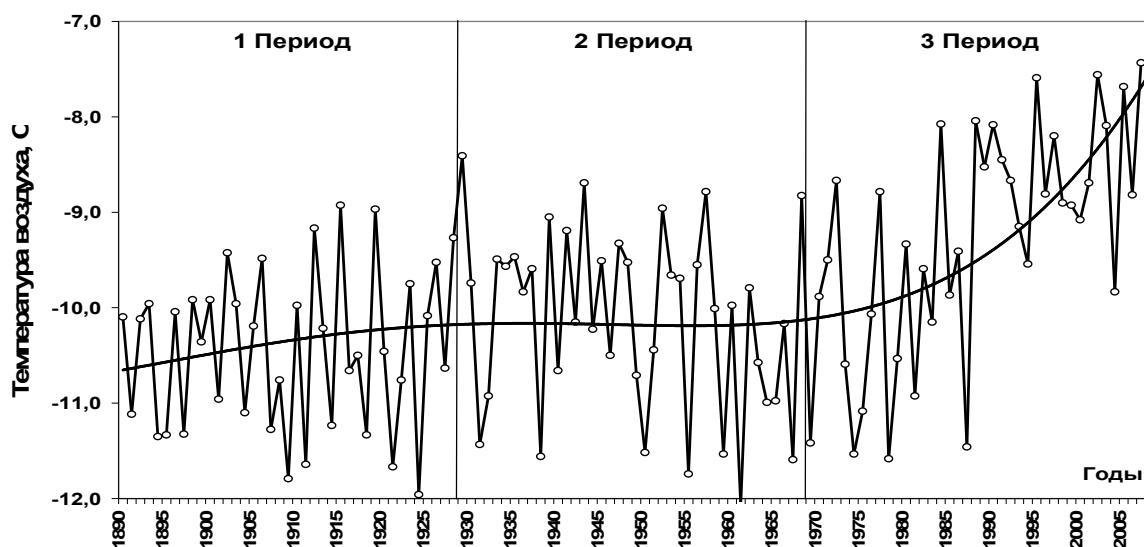
Порог положительно значимой корреляции для лиственницы достигается при значениях температуры воздуха 9°C в начале третьей декады мая. Позднее при повышении температуры наблюдается снижение корреляции между приростом и температурой у обоих видов деревьев.

Еще большие различия в климатическом отклике двух пород можно наблюдать из расчета корреляции прироста с осадками по пятидневкам. Для сосны характерно значимое влияние осадков с третьей декады мая до конца июля. Для лиственницы осадки оказывают незначимое или отрицательное влияние на радиальный прирост.

### **5.4. Сравнительный анализ влияния температуры воздуха и осадков по пятидневкам на рост древесных пород в течение различных периодов последнего столетия.**

Наиболее интересно, в связи с устойчивой тенденцией потепления в Центральной Якутии, было рассмотреть влияние климатических переменных на прирост лиственницы и сосны по трем последовательным временным периодам

(рис.4). Выявлено, что за последние более чем сто лет произошли значительные изменения в дендроклиматических связях.



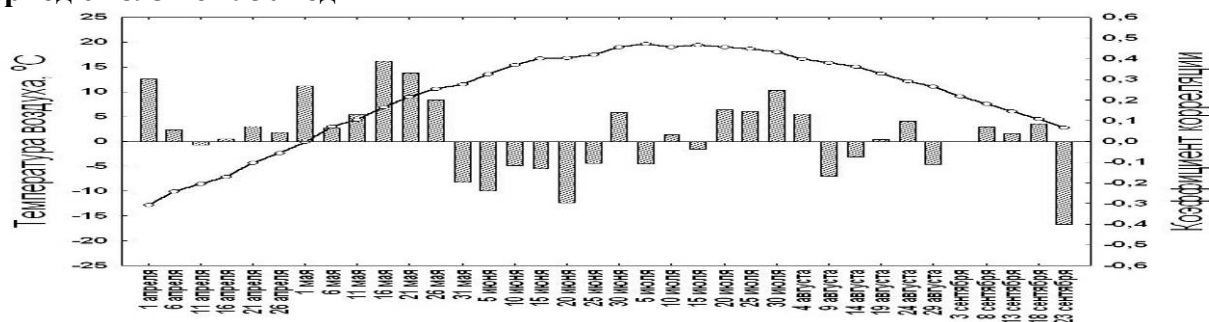
**Рис.4. Ход среднегодовой температуры воздуха по метеостанции Якутск за период с 1890 по 2008 гг.**

Корреляционный анализ радиального прироста лиственницы с ходом среднесуточных температур воздуха показал, что в начале XX века температуры мая оказывают незначительное положительное влияние на радиальный прирост лиственницы (рис.5).

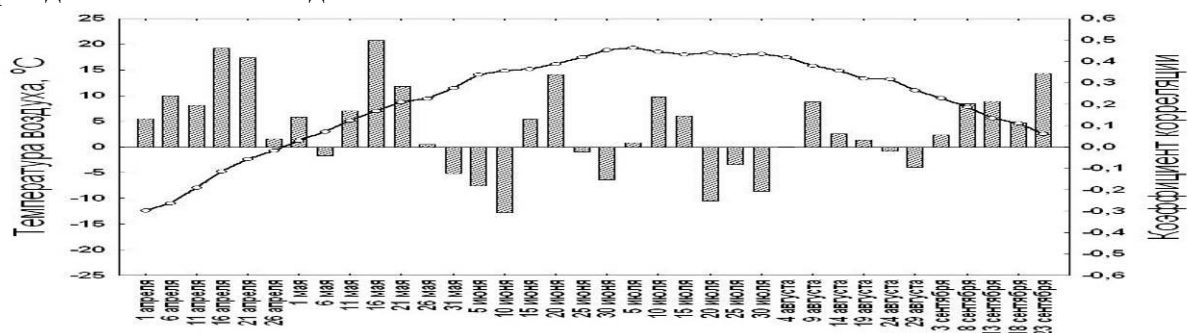
Во втором и третьем периодах отмечается негативное влияние высоких температур второй половины июня и первых двух декад июля, усиливается влияние раннелетних температур воздуха. Заметен сдвиг значимой корреляционной связи с раннелетними температурами воздуха - с третьей декады мая на первую половину мая в последние десятилетия. В отличие от предыдущего периода не отмечается негативная корреляционная зависимость радиального прироста лиственницы от хода среднесуточных температур. В свою очередь рост лиственницы показывает положительную корреляционную связь с ходом температур воздуха второй половины лета.

Анализ влияния среднесуточного количества осадков по трем вышеуказанным периодам показал, что в первый период, осадки не оказывали значимого влияния на радиальный прирост лиственниц. Второй период не сильно отличается от предыдущего. Интересно, что в середине июля радиальный прирост и осадки показали высокую положительную корреляционную связь. В последние десятилетия на радиальный прирост лиственницы положительную роль оказывают осадки второй половины мая. В дальнейшем они не лимитируют годичный прирост. Вероятно, количество выпадающих за летний период осадков за последние десятилетия достаточно для обеспечения нормальных условий формирования радиального прироста лиственниц.

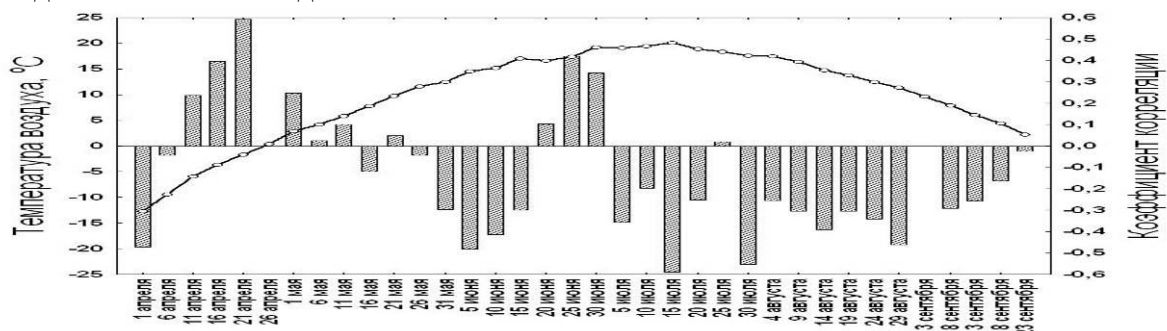
### Период с 1895 по 1930 годы



### Период с 1930 по 1970 годы



### Период с 1970 по 2001 годы



**Рис. 5. Корреляции температуры воздуха по пятидневкам с начала апреля по конец сентября с радиальным приростом сосны, произрастающей на стационаре «Спасская Падь» в Центральной Якутии**

С конца XIX века по 1930 год наблюдается положительная корреляционная связь раннелетних температур воздуха с радиальным приростом сосны. Значимая корреляция выявлена для второй половины мая. В дальнейшем в течение вегетационного сезона температуры воздуха не оказывают сильного влияния.

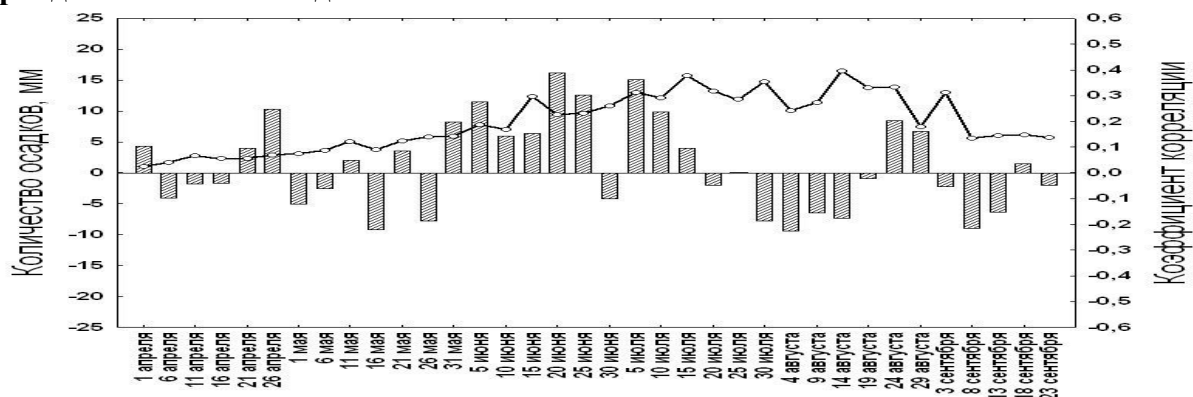
Во второй временной период с 1930 по 1970 год вклад раннелетних температур на радиальный прирост сосны усилился. Отмечается значимая корреляционная связь роста деревьев с апрельскими температурами воздуха. После некоторого снижения в начале мая эта связь усиливается ко второй декаде мая. Далее с третьей декады мая в течение всего вегетационного периода с некоторыми перерывами повышение температуры воздуха оказывает только негативное влияние на радиальный прирост сосны.

В третий период с 1970 г. по настоящее время наблюдается значительный сдвиг положительной корреляционной связи радиального прироста деревьев.

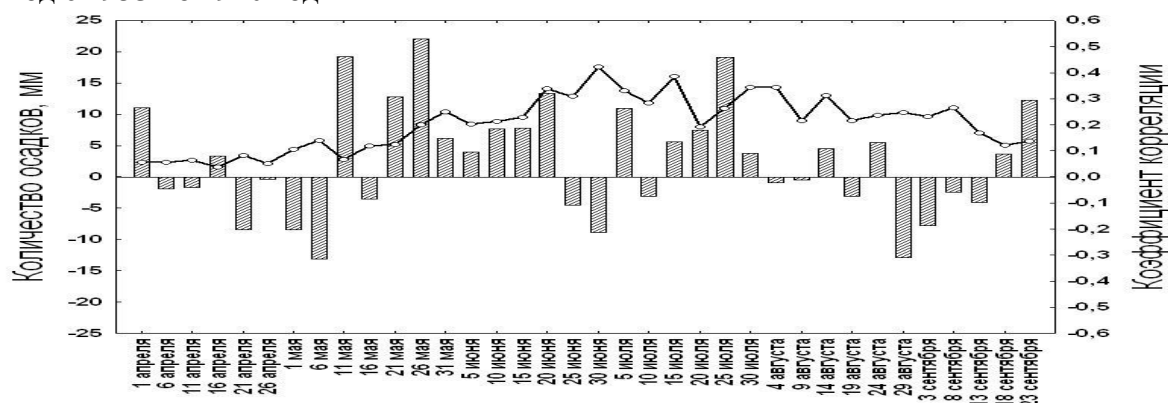
Значимая положительная корреляция роста сосны со среднесуточной температурой воздуха проявляется уже во второй декаде и в начале третьей декады апреля. Далее температура воздуха в основном негативно сказывается на приросте сосны.

Анализ влияния количества суточных осадков на радиальный прирост сосны показал четкое лимитирующее влияние увлажненности (рис. 6).

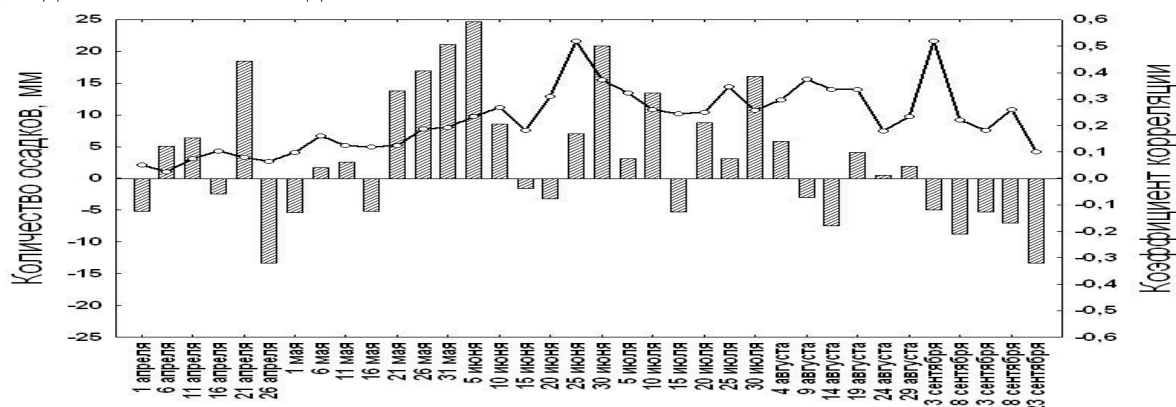
**Период с 1895 по 1930 годы**



**Период с 1935 по 1970 годы**



**Период с 1970 по 2001 годы**



**Рис. 6. Корреляции количества осадков по пятидневкам с начала апреля по конец сентября с радиальным приростом сосны, произрастающей на стационаре «Спасская Падь» в Центральной Якутии**

Корреляционный анализ радиального прироста лиственницы и сосны с температурами воздуха и количеством осадков позволил выявить некоторые закономерности влияния климата на рост деревьев для различных районов

Центральной Якутии. Начало сезона вегетации для двух пород резко отличается. У лиственницы начало вегетационного периода связано с температурами мая, а у сосны и с температурами апреля. Для лиственницы только осадки июля положительно влияют на радиальный прирост, а для сосны положительное влияние оказывают осадки июня-июля, иногда и августа. В некоторых местообитаниях у сосны и лиственницы отмечена положительная корреляционная связь с количеством осадков предыдущей осени. В разные периоды при изменениях климата, а именно хода суточных температур воздуха и количества суточных осадков, меняется и ход радиального прироста деревьев на территории Центральной Якутии. В начале прошлого столетия влияние температур воздуха и количества осадков в сравнении с современными значениями ниже. При современном повышении температур воздуха наблюдается сдвиг в связи радиального прироста деревьев и климатических факторов на более ранние сроки. За последнее время усилилось влияние осадков на рост сосны, произрастающей в Центральной Якутии. В отличие от сосны, лиственница не столь зависима от количества осадков в течение вегетационного периода. Это еще раз демонстрирует различие условий место-произрастания этих пород деревьев. Таким образом, главным лимитирующим фактором роста древесных пород в Центральной Якутии являются гидротермические условия, а именно колебания температуры и распределения атмосферных осадков в период наиболее активного роста (первая половина сезона).

#### **Глава 6. Анализ влияния мерзлотных условий на радиальный прирост древесных пород Якутии.**

Лесной покров, являясь буфером между тепло- и влагообменом атмосферы и земной поверхности, во многом определяет мощность сезонного слоя и характер гидротермического режима почв. Растительность, в зависимости от таксационных и геоботанических показателей лесных насаждений (сомкнутостью полога; состава, высоты и возраста древостоя), изменяет структуру радиационно-теплового баланса земной поверхности, а напочвенный покров (травяно-кустарничковый и мохово-лишайниковый покров) по отношению к почве является теплоизолирующим покрытием.

В свою очередь, рост и развитие древесных пород приурочен к определенным типам почв. Лиственница образует поверхностные корни, предпочитая среднеплодородные и среднеувлажненные суглинистые почвы. Она хуже растет в сухих и влажных местах. В отличие от лиственницы сосна произрастает на сухих песчаных и супесчаных хорошо аэрируемых почвах. В работах многих исследователей отмечено, что в зоне распространения многолетней мерзлоты сосна образует поверхностную корневую систему. Однако доказано, что в глубокооттаивающих и благоприятных по физико-химическим свойствам почвах у сосны может образоваться стержневая

корневая система. Корни сосны принимают поверхностную форму там, где почва сильно увлажнена, оглеена и близко залегает мерзлота. Сосна более чувствительна к ухудшению условий почвогрунта. Поэтому, только в более благоприятных для нее условиях, сосна выигрывает конкуренцию у лиственницы.

### **6.1 Связь радиального прироста с температурой деятельного слоя на разных глубинах на примере стационаров ИБПК СО РАН Спасская Падь и Тюнгиюлю**

Исследование степени влияния температурных условий грунтов на разных глубинах на радиальный прирост лиственницы Каяндера и сосны обыкновенной проводились на научных стационарах Института биологических проблем криолитозоны СО РАН (ИБПК СО РАН) «Спасская Падь» и «Тюнгиюлю». Данные стационары находятся в 25 км к северо-западу и в 45 км северо-восточнее г. Якутска соответственно.

Анализ влияния температурных условий почвы на радиальный прирост деревьев, произрастающих на стационаре «Спасская Падь» выявил положительную корреляционную связь радиального прироста лиственницы и сосны с температурой почвы в зимний период. Летние температуры не лимитируют радиальный прирост, так как тепла в этот период достаточно для благоприятного роста деревьев.

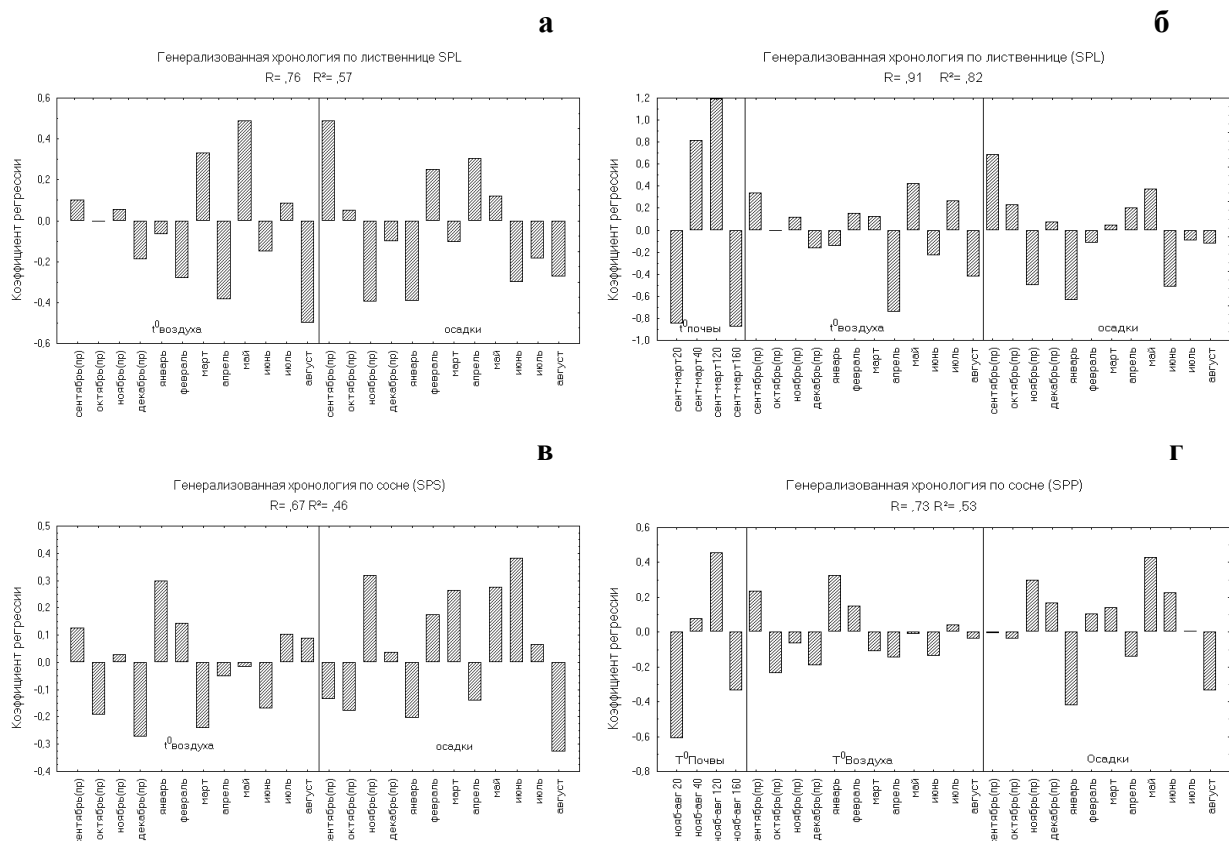
Для сравнения, подобный анализ проведен для дендрохронологических участков Лено-Амгинского междуречья, где деревья произрастают в более сухих условиях. В отличие от анализа на предыдущих участках, в виду отсутствия данных на глубине 120 см, корреляционный анализ проведен с данными на глубинах 80 и 160 см. В результате, древесно-кольцевые хронологии показали схожую зависимость от температурных условий почвогрунтов. Так же, выявлено наличие высокой корреляционной связи, как и для стационара «Спасская Падь», в зимний период времени.

Климатические факторы отдельных месяцев объясняют от 1/3 до 1/2 от общей дисперсии погодичной изменчивости радиального прироста лиственницы и сосны в разных типах исследованных лесов. Очевидно, что оставшаяся доля изменчивости должна объясняться другими факторами. Поскольку значимость термического режима почв для роста растительности в Центральной Якутии несомненна, то нами проанализирована корреляция между генерализованными хронологиями лиственницы и сосны и температурой почвы на разных глубинах. При этом установлено: повышение осенних, зимних и весенних температур почвы благоприятно сказывается на радиальном приросте лиственницы и сосны.

Существенное влияние температуры почвы на прирост древесных растений на исследуемых участках оценено сравнением двух моделей регрессии индексов прироста относительно климатических переменных. Первая



включает только температуры воздуха и атмосферные осадки за отдельные месяцы, вторая – в дополнение к ним и температуру почв за зимний и летний период (рис. 7).



**Рис. 7. Модели регрессии индексов прироста относительно климатических переменных. а. и б. лиственничник; в. и г. сосняк.**

(Примечание: «пр» – предыдущий год; «сент-март20»– средняя температура почвы на глубине 20 см с сентября предыдущего года по март нынешнего).

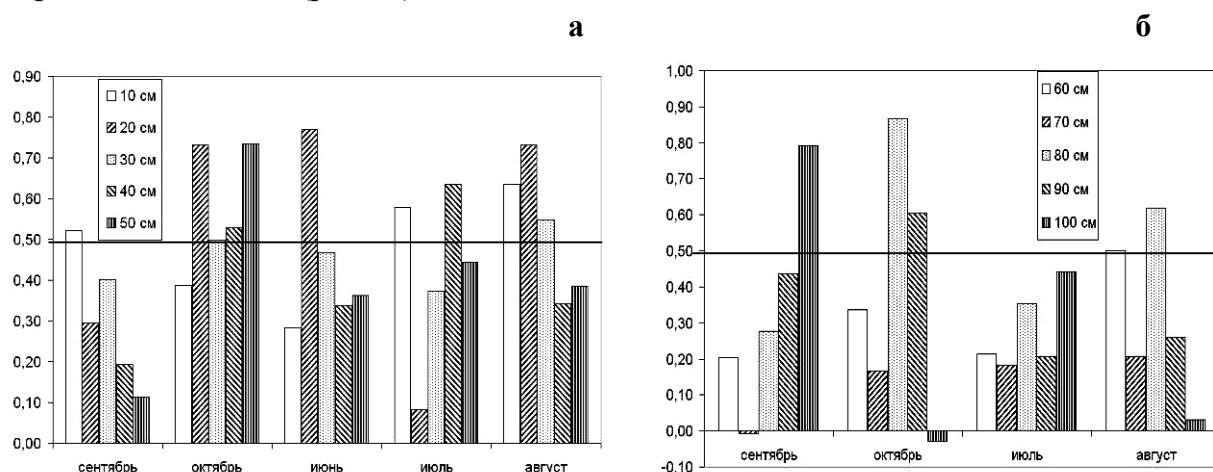
Так, стандартная климатическая функция отклика объясняет 57% ( $R=0,76$ ) общей изменчивости прироста лиственницы, а влияние значений температуры почв за зимний период увеличивает объяснимую внешними условиями дисперсию до 82% ( $R=0,91$ ). Для генерализованных хронологий сосны эти величины составляют 57% и 79% соответственно. Таким образом, для зоны многолетней мерзлоты, изменения температуры почв даже в зимнее время существенным образом (20-25%) имеют влияние на формирование годичного прироста у древесных растений.

## 6.2 Связь радиального прироста лиственницы с влажностью почвы

Важнейшим условием, определяющим нормальный рост растений в криолитозоне, является водный режим почв. В условиях многолетней мерзлоты почвенная влага длительное время пребывает в мерзлом состоянии и постепенно, по мере сезонного оттаивания, переходит в жидкое состояние. При этом наиболее интенсивный влагообмен происходит в верхних горизонтах до 50 см. У лиственницы, произрастающей в условиях криолитозоны, почти 2/3

корневой системы расположена в пределах глубин 50-60 см. При промерзании почвы в сентябре и октябре происходит процесс миграции почвенной влаги в сторону образования льдистых структур. С одной стороны миграция почвенной влаги идет в сторону промерзания сверху, с другой в сторону многолетнемерзлых толщ снизу. В результате этого происходит аккумуляция влаги в верхних слоях почвы и на глубинах соответствующих сезонно-талому слою.

Анализ древесно-кольцевых хронологий по лиственнице свидетельствует о тесной корреляционной связи прироста деревьев с влажностью верхних горизонтов почвы (рис. 8).



**Рис. 8. Коэффициенты корреляции древесно-кольцевых хронологий с влажностью почв на глубине от 10 до 50 см (а) и на глубине от 60 до 100 см (б). Горизонтальные линии – уровень доверительной вероятности при  $p < 0.01$ .**

Наиболее значимые коэффициенты корреляции характерны для осеннего периода предыдущего сезона. Это связано с тем, что лиственница в начале вегетационного периода использует накопленный в предыдущем году запас почвенной влаги. Тесную корреляционную связь с ежегодным приростом показывает влажность почвы сентября и октября на глубине 80-100 см. Эту связь можно объяснить тем, что в середине вегетационного периода корневая система лиственницы начинает использовать влагу нижних горизонтов почвы. Так как летом оттаивание почвы происходит постепенно, то к середине лета влага, накопленная на нижних границах сезонно-талого слоя, начинает использоваться корнями лиственницы. В условиях сухого климата Центральной Якутии дополнительное водное питание деревьев за счет влаги сезонно-талого слоя становится определяющим фактором для нормального роста лиственницы.

Следует отметить низкую корреляционную связь роста деревьев с содержанием влаги в период сезонного промерзания грунтов на глубинах 60-80 см в сентябре и 60-70 см в октябре. Видимо, это связано с механизмом промерзания почвы в осенний период, который вызывает иссушение именно

этого горизонта вследствие миграции влаги в сторону верхней и нижней границы промерзания.

## **ВЫВОДЫ**

1. Определены закономерности пространственной изменчивости основных статистических характеристик древесно-кольцевых хронологий вдоль меридионального и широтного трансектов в зависимости от климатических особенностей района и локальных условий мест произрастания деревьев в Центральной Якутии. Корреляционный анализ древесно-кольцевых хронологий лиственницы и сосны выявил тесные связи в радиальном приросте деревьев, произрастающих на сопредельных территориях. По лиственнице выделено 5 и по сосне 4 территориальных групп древесно-кольцевых хронологий. Хронологии деревьев, произрастающих в северной части района исследований имеют низкую корреляционную связь с таковыми из южной части, хронологии же деревьев западной части не имеют корреляционной связи с таковыми в восточной части района исследований, хотя и те и другие коррелируют с хронологиями расположенными в средней части трансектов.

2. В частотной структуре древесно-кольцевых хронологий Центральной Якутии преобладают высокочастотные колебания (длительностью 4-7 лет) и циклы близкие к солнечным - 11 лет и 22 года. Кроме этого выявлены внутривековые и вековые циклы.

3. Деревья одного вида хвойных в различных районах Центральной Якутии синхронно реагируют на изменения климатических факторов, тогда как радиальный прирост разных видов хвойных даже в близко расположенных местообитаниях имеет разную реакцию на изменения климатических параметров. Эти различия обусловлены видовыми особенностями и спецификой мест произрастания деревьев.

4. Начало вегетационного периода у лиственницы и сосны зависит от времени прохождения температурой воздуха рубежа  $0^{\circ}\text{C}$ . В последние десятилетия, этот период совпадает с началом третьей декады апреля, а уровень среднесуточных температур воздуха стал на  $1-2^{\circ}\text{C}$  выше, чем в предыдущие периоды. В связи с этим вегетационный сезон древесных пород в последнее время начинается раньше на одну декаду в сравнении со среднемноголетними сроками.

5. Главным фактором определяющим прирост лиственницы и сосны в Центральной Якутии являются гидротермические условия первой половины сезона роста (апрель-июль). В условиях Центральной Якутии более ранний подъем температуры весной может ингибировать прирост лиственницы и в то же время благоприятствует радиальному приросту сосны. Атмосферное увлажнение в ходе всего вегетационного периода мало сказывается на приросте

лиственницы, тогда как осадки первой половины (конец мая-июнь) существенно ускоряют прирост сосны.

6. В начале вегетационного периода прирост древесины лиственницы и сосны тесно и положительно связан с температурой воздуха, после перехода последней рубежа  $4^{\circ}\text{C}$ . При дальнейшем ее подъеме выше  $13-14^{\circ}\text{C}$  положительная связь исчезает, а при достижении температурой более высоких значений (до  $30^{\circ}\text{C}$ ), она становится отрицательной (прирост древесины подавляется).

7. Рост и развитие деревьев находится в тесной связи с температурным режимом почв. Установлено, что более высокие значения зимних температур почвы обуславливают более ранние сроки оттаивания ее деятельного слоя и это благоприятно сказывается на радиальном приросте лиственницы и сосны.

8. В условиях многолетней мерзлоты влажность деятельного слоя почв имеет определяющее значение как основной источник водного питания деревьев. Выявлена значимая корреляционная связь с содержанием влаги на верхней и нижней границе деятельного слоя в период осеннего промерзания, а также в верхних слоях почвы в летний период времени с радиальным приростом хвойных.

## **СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:**

– в изданиях из перечня ВАК:

1. Федоров, П.П. Влияние климатических факторов и термического режима мерзлотных почв Центральной Якутии на радиальный прирост лиственницы и сосны [Текст] / Николаев А.Н., Федоров П.П. // Лесоведение.- 2004.-№6. - С.3-13.

– в других изданиях:

2. Fedorov, P.P. Effect of human activity on carbon balance in meadows in a thermokarst depression in Siberia/ Desyatkin, A.R., Takakai, F., Fedorov, P.P., Desyatkin, R.V. and Hatano, R. // Eurasian J. For. Res..-2007.-V10. – P. 89-96.

3. Федоров, П.П. Особенности баланса тепла и влаги в таежно-аласных ландшафтах [Текст] / Десяткин Р., Ишии И., Ябуки Х., Десяткин А., Федоров П., Семенова Т. // Тепловодообмен в мерзлотных ландшафтах Восточной Сибири и его факторы. /кол.монография, отв.ред. А.Г.Георгиади, А.Н.Золотокрылин/ - Москва-Тверь, 2007.- С.192-221.

4. Федоров, П.П. Анализ радиального прироста лиственницы Центральной Якутии в зависимости от климатических факторов [Текст] / Федоров, П.П., Николаев А.Н. // Структурно-функциональная организация и динамика лесов. Материалы Всероссийской научной конференции. - Красноярск: Изд-во: Дарма, 2004.-- С.373-375.

5. Федоров, П.П. Влияние температурного режима почвы на радиальный прирост стволов лиственницы в Центральной Якутии [Текст] / Федоров, П.П., Николаев А.Н.// Мерзлотные почвы: разнообразие, экология и охрана. Материалы Всероссийской научной конференции. - Якутск: Изд-во Института мерзлотоведения СО РАН, 2004.- С.106-110.

6. Федоров, П.П. Связь радиального прироста лиственницы Каяндера с температурным режимом почв [Текст] /Федоров, П.П., Николаев А.Н. // Мерзлотные почвы: разнообразие, экология и охрана. Материалы Всероссийской научной конференции. – Якутск: Изд-во Института мерзлотоведения СО РАН, 2004.- С.123-126.

7. Федоров, П.П. Температурный режим лесных почв Центральной Якутии [Текст] / Федоров П.П. Десяткин Р.В., Десяткин А.Р. // Лесные исследования в Якутии: итоги, состояние и перспективы. Материалы научно-практической конференции «Лесные исследования в Якутии: итоги, состояние и перспективы», Т.1. Мерзлотное лесоведение и лесоводство. Лесная экология, 23-24 ноября 2006. - Якутск: Изд-во Якутского госуниверситета, 2006.- С. 122-130.

8. Федоров, П.П., Десяткин А.Р., Николаев А.Н. Влияние влажности на радиальный прирост лиственницы [Текст] / Федоров, П.П., Десяткин А.Р., Николаев А.Н.//Лесные исследования в Якутии: итоги, состояние и перспективы. Материалы научно-практической конференции «Лесные исследования в Якутии: итоги, состояние и перспективы», Т.1. Мерзлотное лесоведение и лесоводство. Лесная экология, 23-24 ноября 2006. - Якутск: Изд-во Якутского госуниверситета, 2006. – С 82-85.

9. Fedorov, P.P. About influence of soil moisture on the radial growth of the larch / Fedorov, P.P., Desyatkin A.R., Desyatkin R.V. // 1<sup>st</sup> Asia CliC Symposium – The state and fate of Asian Cryosphere – Abstracts. 20-22 April 2006. - Yokohama, Japan, 2006.- P. 49.

10. Федоров, П.П. Выявление влияния гидротермического режима почв на радиальный прирост лиственницы в Центральной Якутии [Текст] / Федоров П.П., Николаев А.Н., Десяткин А.Р. // Новые методы в дендрэкологии. Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием. - Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2007.- С.101-103.

11. Федоров, П.П. Влияние гидротермического режима почв на радиальный прирост лиственницы в Центральной Якутии [Текст] / Федоров

П.П., Николаев А.Н., Десяткин А.Р. // Дендрозкология и лесоведение. Материалы Всероссийской конференции, посвященной 50-летию Сибирского отделения РАН. - Красноярск: Изд-во Института леса им. В.Н. Сукачева, 2007 .- С.166-168.

12.Fedorov, P.P. Comparison of Greenhouse Gas Emissions and Carbon Budget from Grasslands in Southern Hokkaido and Central Yakutia/ Alexey R. Desyatkin, Mariko Shimizu, Fumiaki Takakai, Pavel P. Fedorov, Roman V. Desyatkin, Ryusuke Hatano. // Abstract of Eighth Conference of the East and Southeast Asian Federation of Soil Science, Tsukuba, Japan, October 22-23, 2007. - P. 89.

13.Fedorov, P.P. GHG emission from different stages of thermokarst in Central Yakutia, Russia/ Alexey Desyatkin, Fumiaki Takakai, Maya Nikolaeva, Pavel Fedorov, Ryusuke Hatano, Roman Desyatkin..// Sapporo, Japan, December 2, 2007. - P. 59.

14.Fedorov, P.P. Comparison of grassland NEP and NBP of Hokkaido and Central Yakutia, Russia/ Alexey Desyatkin, Mariko Shimizu, Fumiaki Takakai, Pavel Fedorov, Roman Desyatkin, Ryusuke Hatano. // Abstracts of the annual meeting, Japanese society of soil science and plant nutrition. -Tokyo, Japan, August 22. 2007. - P. 186.

Автореферат  
Формат 60x84 1/16. Бумага тип. №1  
Усл.п.л. 1,25. Тираж 100 экз. Заказ № 297  
Подписано к печати 14.11. 2008. Отпечатано 16. 11. 2008.  
Отпечатано в полиграфической компании «СМИК-Мастер»  
677000, ЯКУТСК, ул. Держинского,1, оф. 22  
Тел/факс: (4112) 34-32-44