

*На правах рукописи*



Демина Анастасия Викторовна

ОСОБЕННОСТИ ЭКОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКОГО ОТКЛИКА  
РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ДВУХ  
ДЕФИЦИТНЫХ ПО УВЛАЖНЕНИЮ РЕГИОНАХ СИБИРИ

Специальность 03.02.08 – Экология (биология) (биологические науки)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание учёной степени  
кандидата биологических наук

Воронеж – 2022

Работа выполнена в Хакасском техническом институте – филиале ФГАОУ ВО  
«Сибирский федеральный университет»

Научный руководитель: **Бабушкина Елена Анатольевна**  
доктор биологических наук,  
профессор

Официальные оппоненты:

**Румянцев Денис Евгеньевич**

Доктор биологических наук, Мытищинский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», профессор кафедры «Лесоводство, экология и защита леса» (ЛТ-2-МФ).

**Кучеров Сергей Евгеньевич**

Доктор биологических наук, Уфимский Институт биологии – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, старший научный сотрудник.

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова»

Защита состоится 21 сентября 2022 года в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.034.01 на базе ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова» по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8, ауд. 146

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова» и на сайте организации <http://vgltu.ru>

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
канд. биол. наук

dissov01@vgltu.ru

Попова Анна Александровна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В последние десятилетия нарастающие изменения глобального и регионального климата приводят к нарушению стабильности экосистем, ландшафтов, а так же устойчивости видов. Особый интерес представляет анализ изменчивости роста и продуктивности растительности в ответ на перемены климатических факторов (температуры, увлажнения) в континентальных районах южной Сибири, где гидротермическое влияние имеет иное воздействие, чем на территориях под действием океанического давления (Будыко и Израэль, 1987). Исключительным объектом для изучения длительных изменений увлажнения Северного полушария являются степные районы Сибири, такие как Алтайские ленточные боры, южные районы Бурятии и Красноярского края, центр Хакасии с годовым количеством осадков около 200-400 мм. Протяженность этого пояса позволяет оценить степень пространственной синхронизации экстремальных экологических событий на огромных расстояниях в рамках одного климатического режима.

Экспериментально подтверждены депрессии в росте или даже гибель лесов при существующих тенденциях изменения климата, особенно при устойчивой тенденции к ограничению доступности влаги на границе экотона лес - степь (Semenov et al., 2016; Kharuk et al., 2017; Xu et al., 2017). При этом очень важно понять региональные режимы и периодичность засух, выявить их цикличность, интенсивность, что дает инструмент для прогнозных оценок (Дроздов, 1980; Davi et al., 2006; Григорьев и Карнаухова, 2014; Chen et al., 2015). Однако отсутствие длительных наблюдений существенно ограничивает возможности применения математических методов для составления моделей прогноза (Меко et al., 1985, Меко, 1997; Davi et al., 2009). В этом отношении в условиях дефицита увлажнения большая продолжительность жизни деревьев и погодичное разрешение сформированных ими годичных колец позволяет использовать древесно-кольцевые хронологии для реконструкции изменчивости увлажнения длительностью несколько сотен лет (Fang et al. 2010; Esper et al. 2010; Kostyakova, et al. 2018; Riechelmann, Gouw-Bouman, 2019; Ljungqvist et al., 2020). Создание сети дендрохронологических станций и оценка причин лимитирующих прирост древесных растений позволяет проследить длительную историю изменения составляющих лесного ландшафта в условиях сложного рельефа и неоднородности климатических условий (Шиятов 1983, 1986; Шиятов и др., 2001; Ваганов и др., 1996, 2006; Cook, Kairiukstis, 2013).

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) широко распространенный в Евразии вид хвойных с регулярной анатомической структурой древесины является удобным объектом исследования.

Цель исследования: Оценить отклик пространственно распределенных древесно-кольцевых хронологий на ведущие климатические факторы, получить дендроклиматические реконструкции, выявить длительные колебания режима увлажнения в двух дефицитных по увлажнению исследуемых регионах юга Сибири.

### Задачи исследования:

1. Получить локальные и региональные хронологии ширины и анатомических параметров годичных колец (ШГК) и анатомических параметров для сосны обыкновенной провести анализ их статистических характеристик, обеспечивающих пространственные закономерности и интеграцию в региональные хронологии.

2. Провести дендроклиматический анализ древесно-кольцевых хронологий с учетом влияния локальных условий произрастания и видовых особенностей сосны, выявить ведущие климатические факторы, определяющие погодичную изменчивость радиального прироста.

3. Провести реконструкцию ведущих климатических факторов с максимальным временным разрешением по данным ШГК, получить историю засух, выявить региональные и пандемические засушливые периоды, а также циклические составляющие в динамике засух для юга Сибири.

4. Используя статистические оценки хронологий и их климатические отклики, оценить устойчивость сосны обыкновенной к основным лимитирующим факторам (осадкам и высоким температурам) в исследуемых регионах.

5. Сравнить отклик анатомических параметров годичных колец сосны на ведущие климатические факторы и выявить особенности фенологии ксилогенеза и ключевые интервалы климатического отклика в течение сезона в росте сосны в районах исследования.

Научная новизна. Проведена сравнительная оценка в отклике прироста деревьев сосны обыкновенной, произрастающих в двух дефицитных по увлажнению регионах – Хакасии и Бурятии. Установлено, что с континентальностью климата возрастает роль осадков в формировании радиального прироста сосны.

На основании региональных древесно-кольцевых хронологий получены модели реконструкции годовых осадков и оценена частота засух разной интенсивности для двух важных сельскохозяйственных регионов юга Сибири. Выявлены преобладающие циклы в режиме увлажнения, что может быть использовано при статистическом прогнозировании рисков наступления засух и связанных с ними экстремальных экологических событий.

Трахеидограммы годичных колец отражают различия биологической реакции в сезонном росте сосны в Хакасии и Бурятии. Более сухие условия весны и начала лета в Бурятии приводят к существенному запаздыванию начала камбиальной активности и дальнейших этапов ксилогенеза сосны обыкновенной.

Теоретическая и практическая значимость. Климатические отклики радиального прироста сосны в двух дефицитных по увлажнению регионах адаптируются к внутрисезонному распределению осадков, определяющему как сроки начала сезонного роста, так необходимую сумму осадков для формирования годичных колец разной ширины. В такой адаптации проявляется устойчивость прироста сосны в долговременной перспективе при высокой погодичной изменчивости климатических факторов.

Динамика реконструированных длительных изменений показала отсутствие значимой межрегиональной синхронности в частоте и силе засух, обуславливающей крайне низкую вероятность развития экстремальных засух пандемического масштаба на территории Южной Сибири.

Практическая значимость определяется высоким качеством климатических моделей реконструкции режима увлажнения, на основании которых можно получить надежные статистические оценки частоты засух и связанных с ними экологических событий (таких, как пожары, вспышки размножения вредителей и пр.) для важного сельскохозяйственного пояса Сибири.

Методология и методы исследования. Положения и выводы, сформулированные в результате проведенных исследований, получены с применением классических методов дендрохронологии и анатомии древесных растений, интерпретированных с учетом экофизиологических особенностей исследуемого вида, а также с использованием общепринятых в экологии методов исследования: наблюдение, описание, сравнение, эксперимент. Количественные данные обрабатывали и анализировали методами математики и статистики.

Защищаемые положения:

1. Для исследуемых регионов максимальный отклик в изменчивости радиального прироста сосны наблюдается для суммы осадков за биологический год (со 2 июля предшествующего года по 1 июля текущего календарного года в Хакасии и с 22 июля предыдущего года по 21 июля текущего – в Бурятии).

2. Восстановленная динамика региональных режимов увлажнения за последние 250 лет имеет выраженные 11, 27, 36 и 44-летние циклические компоненты в межгорных котловинах Хакасии и Бурятии, но значимая синхронность между регионами отсутствует как в длительных, так и в погодичных колебаниях.

3. В Бурятии радиальный размер клеток ксилемы сосны обыкновенной наиболее значимо определяется условиями увлажнения в середине июня, а толщина клеточной стенки – в середине июля; этот отклик на 2-4 недели отстает от наблюдаемого при формировании годичных колец сосны в Хакасии.

Личный вклад автора. Сбор и обработка материала, измерение радиального прироста и анатомических параметров древесины, датировка, систематизация и математический анализ данных проведены при непосредственном участии автора. Определение целей и задач данного исследования, подбор материала, его обработка и интерпретация полученных результатов выполнены автором самостоятельно.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность полученных результатов подтверждается достаточным объемом собранных исследуемых образцов древесины, использованием общепринятых методов дендрохронологии по их обработке и статистической проверки полученных результатов. Основные положения диссертационной работы апробированы на конференциях и других научных мероприятиях российского и международного уровня: XVIII и XX Международной научной школы-конференции студентов и молодых ученых «Экология Южной Сибири и сопредельных территорий» (Абакан, 2014, 2016); Международной научно-практической конференции

«Проблемы и перспективы развития науки в России и мире» (Екатеринбург, 2017); Международной научно-практической конференции «Байкал 2018» (Иркутск, 2018); Международная научная конференция «Сохранение растений в связи с изменениями климата и биологическими инвазиями» (Белая Церковь, Украина, 2021).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 11 работ, в том числе 4 статьи в рецензируемых журналах, индексируемых в базах Web of Science, Scopus и рекомендуемых ВАК Минобрнауки РФ для опубликования научных результатов.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 6 глав, основных выводов, списка аббревиатур и обозначений, списка литературы и приложения, изложена на 133 страницах машинописного текста и иллюстрирована 8 таблицами и 22 рисунками. Список литературы включает 240 наименований, в том числе 131 иностранных.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 17-04-00315А).

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **1 Дендрохронологические исследования в засушливых регионах (обзор литературы)**

Древесно-кольцевые хронологии являются ценным источником косвенных данных об окружающей среде (Fritts, 1976; Шиятов, Ваганов, 1998; Методы дендрохронологии..., 2000). В нашей стране активные работы по этой теме стали проводиться в 50-60-е годы. Ряд авторов (Рудаков, 1951; Колчин, 1962; Ловелиус, 1966; Шиятов, 1973; Битвинкас, 1974 и др.) наряду с научными исследованиями занимались разработкой и совершенствованием методических приемов анализа изменчивости радиального прироста деревьев. Последующие дендроклиматические исследования больше внимания уделяли изучению динамики радиального прироста деревьев в высоких широтах и в условиях верхней границы леса, высокогорий, где лимитирующим фактором, как правило, выступает температура (Адаменко, 1978; Шиятов, 1986; Ваганов и др., 1996; Наурзбаев, 1998; Николаев, 1999; Панюшкина, Овчинников, 1999; Хантемиров, 2000 и др.).

Для древостоев, образующих нижнюю границу леса, важно выявлять региональные режимы засух, определять их цикличность и интенсивность, что может обеспечить прогнозные оценки (Chen et al., 2008). Однако нехватка инструментальных климатических данных препятствует усилиям в этой области (Davi et al., 2010, 2015). В этом отношении древесно-кольцевые хронологии позволяют восстановить динамику косвенных показателей режима увлажнения на протяжении сотен лет (Fritts, 1976, 1989; Esper et al., 2010; Ljungqvist et al., 2020).

В исследованиях дендрохронологии засушливых регионов были пионерными работы А.Е. Дугласа (Douglass, 1914, 1919, 1936). Он впервые показал значение засушливых районов и хвойных видов деревьев как источников чувствительных древесно-кольцевых хронологий, обосновал и ввел в практику

метод перекрестной датировки. Э. Куком с соавторами была проведена уникальная работа по пространственной реконструкции, рассчитанная для 152 точек летнего индекса засухи Палмера (PDSI) на континентальной территории США (Cook et al., 1996). Динамика экстремальных явлений может быть даже более значимой, чем долгосрочные тренды средних значений климатических переменных (Ummenhofer, Meehl, 2017). Это особенно важно для континентального климата, где дефицит влаги во время вегетационного периода сочетается с чрезвычайно низкими зимними температурами (Rivas-Martínez et al., 2011).

Дендроклиматические исследования в Бурятии были проведены Андреевым С.Г. (Андреев и др. 1999, 2001а; Андреев, 2001б). Автор описал тесную связь изменчивости прироста деревьев с осадками. Л.Л.Убугунов и А.И. Куликов в своих исследованиях Забайкалья показали, что в этом регионе потепление климата происходит более высокими темпами, чем средние в России и мире (Убугунов, Куликов, 2013). Одной из ранних дендрохронологических работ в Хакасии, была работа В.Н. Магды и А.В. Зеленовой (2002) по изучению влияния осадков и температуры воздуха на радиальный прирост сосны обыкновенной. Авторы отметили, что в районах Шира и Беи более значимыми оказались температуры мая и июня (отрицательное воздействие), в районе Богграда – весенние (апрель-май) осадки. Бабушкиной Е.А. проводились исследования в лесостепной зоне Ширинского района Хакасии. Выявлено, что в условиях недостаточного почвенного увлажнения ШГК возрастает при увеличении суммы осадков и при понижении средней температуры в мае-июне (Бабушкина, 2011). Также в рамках умеренного континентального пояса Азии известны работы по изучению цикличности, влияния рекреационной нагрузки и засух на радиальный прирост сосны обыкновенной в условиях северной части Казахского мелкосопочника (Григорьев, Карнаухова, 2014). В работе Ш.М. Жумадиной (2019) рассматриваются древесно-кольцевые хронологии сосны обыкновенной в лесостепных экосистемах Казахстана.

Основной методический подход к выявлению и количественному анализу отклика древесных растений на ведущие климатические факторы, как и понимание того, как региональные и глобальные изменения климата будут влиять на рост и продуктивность деревьев, базируются на построении сети станций дендроклиматического мониторинга и выявлении общего отклика на климатические изменения на обширных лесных территориях (Ваганов и др., 1996; Ваганов и Шиятов, 1998).

## **2 Материал и методика исследования**

Район исследований охватывает территорию Хакасско-Минусинской котловины в юго-западной части Восточной Сибири, а также южную часть Республики Бурятия, т.е. Селенгинскую среднегорную провинцию (по Н.И. Михайлову – Приселенгинскую провинцию (Физико-географическое..., 1968)) (Рисунок 1).

Хакасско-Минусинская котловина расположена между Кузнецким Алатау (высота до 2211 м), Западным Саяном (3121 м), Восточным Саяном (3491 м).

В горах высотные экологические пояса варьируются от лесостепи в предгорьях (сосна обыкновенная, лиственница сибирская, береза повислая, осина дрожащая) через таежные хвойные леса до альпийских тундр и пустынь. Большую часть равнинной территории котловины (250-600 м н.у.м.) занимают степи и сельскохозяйственные угодья, но встречаются и изолированные сосновые леса.

Селенгинское нагорье расположено на юге Республики Бурятия, юго-восточнее озера Байкал. Ландшафт в пределах Селенгинского нагорья представляет собой систему небольших вытянутых долин (500-800 м н.у.м.), покрытых степями с вкраплениями небольших изолированных сосновых и лиственничных лесов. Этот комплекс долин ограничен с северо-запада хребтом Хамар-Дабан (до 2400 м н.у.м.) и разделен нижними Цаган-Дабанским, Заганским и другими хребтами (до 1300-1500 м н.у.м.), покрытыми сосново-лиственничными древостоями лесостепной и подтаежной зон (Фадеева, 1963; Андреев, 2001).

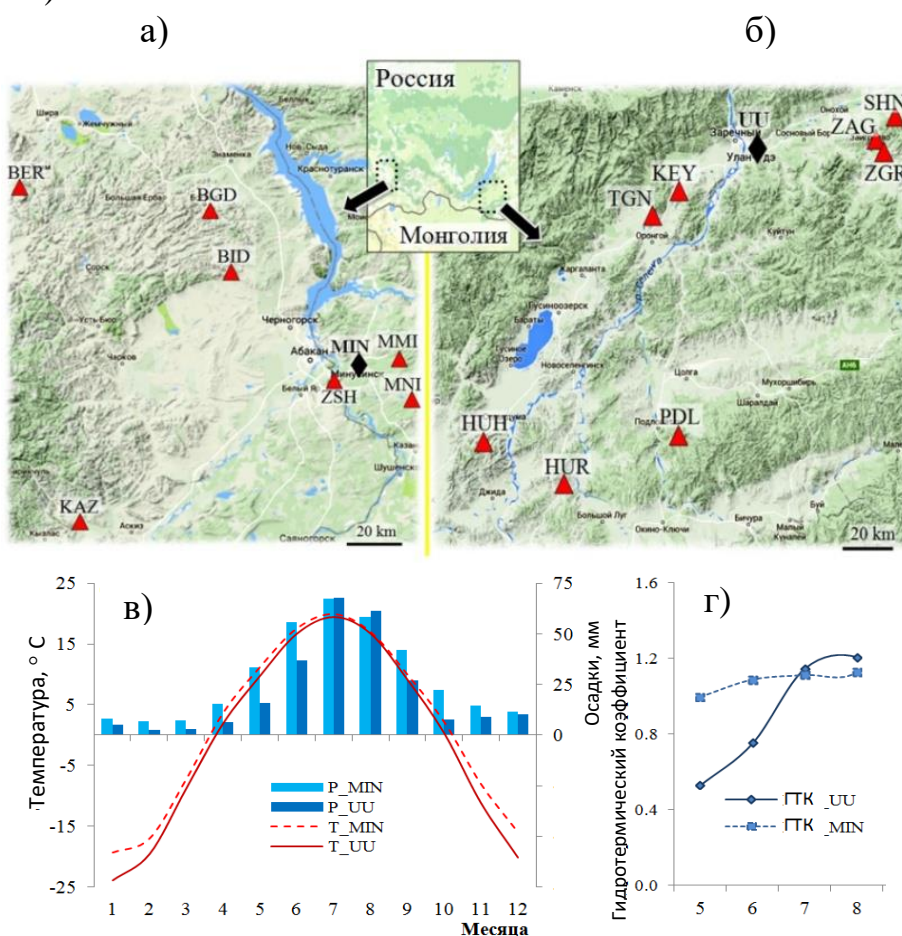


Рисунок 1 – Район исследования (а) Хакасско-Минусинская котловина, (б) южная Бурятия, (в) климатограммы метеостанций Минусинск и Улан-Удэ. (г) гидротермический коэффициент Селянинова. Ромбами отмечены метеостанции, треугольниками – дендрохронологические станции

В долинах исследуемых районов наблюдается значительный дефицит влаги, так как большая часть осадков, приносимых извне, выпадает в окрестных горах. Их расположение в глубине внутренней зоны Азии обуславливает высокую континентальность климата, т. е. большие суточные и годовые колебания



температуры с морозной зимой и довольно жарким летом, малое количество осадков, неравномерно распределенных в течение года (Алисов, 1956; Rivas-Martínez et.al, 2011). Расстояние между исследуемыми районами около 1000 км.

В исследуемых регионах сосна является одним из основных лесообразующих видов засушливых местообитаний. В сравнении с конкурирующими хвойными и лиственными видами она обладает исключительной способностью образовывать леса на бедных почвах, устойчивостью к атмосферному и почвенному дефициту увлажнения. В лесной зоне на супесях и легких суглинках сосна образует высокопродуктивные древостои (Сукачев, 1938). Рассматриваемые местообитания расположены вблизи от нижней/южной границы ареала произрастания вида, где его рост лимитируется в первую очередь доступным увлажнением.

Для оценки влияния климата на динамику прироста деревьев использованы ежемесячные ряды температур (Т) и осадков (Р) метеостанций Минусинск (#29866, 53°419' с.ш., 91°409' в.д., 250 м н.у.м.) и Улан-Удэ (#30823, 51.49' с.ш., 107.35' в.д., 510 м н.у.м.) за период 1936-2015 гг., Среднегодовая температура воздуха +1.2 °С и -0.7 °С по данным метеостанций Минусинск и Улан-Удэ соответственно. Годовые осадки составляют 340 мм в Хакасии и 250 мм в Бурятии. Температура достигает максимума в июле 19.9 °С и 19.5 °С и минимума в январе -19.3 °С и -23.9 °С в Хакасии и Бурятии соответственно, т.е. более суровые зимы в бассейне Селенги (Рисунок 1 в, г).

Анализировался линейный тренд среднемесячных значений температуры воздуха и осадков за теплый и холодный период. На станции Минусинск слабые положительные тенденции в количестве осадков наблюдаются как для теплого (май-сентябрь), так и для холодного сезона (октябрь-апрель), в Улан-Удэ осадки практически стабильны. При сравнении трендов температур сделан вывод, что на фоне медленного поднятия средней температуры теплого сезона выделяется более быстрый рост средней температуры холодного сезона в обоих регионах.

Сбор дендрохронологического материала сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в Хакасско-Минусинской котловине проведен на семи участках в лесостепях предгорий и ленточном бору в степной зоне котловины (2012-2018 гг.), между 53.4° и 54.3° с.ш., 89.7° и 92.1° в.д.: Беренжак (BER), Боград (BGD), Биджа (BID), Зеленый Шум (ZSH), Малая Минуса (MMIN), Малая Ничка (MNIC), Казановка (KAZ). Сбор образцов на юге Бурятии (2015 г.) проводился на пяти участках: Заиграево (ZGR), Ключи (KEY), Подлопатки (PDL), Хухэй (HUN), Хурай (HUR), расположенных вблизи от мест сбора материала в 1998-1999 гг. Андреевым С.Г. Также были использованы без продления еще три хронологии, предоставленные для исследования Андреевым С.Г.: Тугнуй (TGN), Шинестуй (SHN), Заганский (ZAG) (Рисунок 1, Таблица 1).

Сбор образцов, измерение ШГК на установке LINTAB 5 в программе TSAPwin (Rinntech, 2011) и перекрестная датировка в программе COFESHA (Holmes, 1998) были проведены стандартными методами дендрохронологии (Methods of Dendrochronology..., 1990). Далее применялась процедура стандартизации (индексации) с помощью программы ARSTAN (Cook, Krusic, 2005), были получены стандартные (std) и остаточные (res) хронологии.

Индивидуальные ряды измерений радиального прироста для образцов Хакасии и Бурятии были стандартизированы кубическим сглаживающим сплайном с 50%-ным откликом частотной характеристики, что необходимо для удаления длительных возрастных трендов в приросте. Индивидуальные хронологии в пределах каждого участка усреднялись с помощью взвешенной средней для получения обобщенной (Шиятов, 1986) локальной хронологии. Локальные хронологии каждого региона были усреднены в региональную хронологию.

Таблица 1 – Участки сбора материала

Участок	Широта	Долгота	Высота, м н.у.м.	Склон
Бурятия				
ZGR	51.8°N	108.3°E	600	зап.
KEY	51.7°N	107.2°E	700	зап.
PDL	51.0°N	107.1°E	600	сев.
HUH	50.9°N	106.1°E	700	сев.
HUR	50.7°N	106.5°E	850	зап.
SHN	52.1°N	108.9°E	571	сев.
TGN	51.5°N	106.9°E	747	сев.
ZAG	51.9°N	108.2°E	675	вос.
Хакасия				
BER	54.3°N	89.7°E	700	южн.
BGD	54.2°N	90.9°E	650	ю-зап.
BID	54.0°N	91.0°E	660	южн.
ZSH	53.7°N	91.6°E	310	-
MMIN	53.8°N	91.9°E	310	сев.
MNIC	53.6°N	92.1°E	370	сев.
KAZ	53.4°N	90.1°E	600	южн.

Для оценки изменчивости индексов прироста, установления связей между хронологиями и при оценке общего сигнала использовались следующие статистические характеристики: стандартное отклонение (*stdev*), коэффициент чувствительности (*sens*), межсерийные коэффициенты корреляции (*r-bar*), коэффициент автокорреляции первого порядка (*ar-1*) (Fritts, 1976), выраженный сигнал популяции (*EPS*) (Cook, 1985; Methods of Dendrochronology..., 1990).

При анализе взаимосвязей параметров годичного кольца между собой и с климатическими факторами использовали корреляционный анализ (парные коэффициенты корреляции Пирсона), линейные и нелинейные регрессионные функции.

При проведении реконструкции годовых сумм осадков по древесно-кольцевым хронологиям для разделения высоко- и низкочастотной компонент инструментальных и реконструированных временных рядов климатических переменных использовали 9-летний биномиально взвешенный фильтр, т.е. сглаживание взвешенной скользящей средней, разность исходного ряда и низкочастотной компоненты (Schweingruber, 1988, p. 86; Yuan et al., 2013; Zhang et al., 2014).

Исследования анатомической структуры годичных колец проводили на микрофотографиях препаратов окрашенных тонких срезов древесины,

полученных на санном микротоме. По микрофотографиям срезов в программе Lineyka (Силкин, 2010) были произведены измерения анатомических параметров древесины сосны, произрастающей на участке Подлопатки PDL (Бурятия) за период 1952-2014 гг. и участке Боград BGD (Хакасия) за период 1739-2018 гг. Для каждого кольца по нормированным усредненным трахеидограммам были рассчитаны максимальное ( $D_{max}$ ) и среднее ( $D_{mean}$ ) значения радиального размера клеток, максимальное ( $CWT_{max}$ ) и среднее ( $CWT_{mean}$ ) значения толщины клеточной стенки.

Математические расчеты и статистический анализ проводились в программах Microsoft Excel и STATISTICA (<http://statsoft.ru/>).

### **3 Статистический анализ временных рядов характеристик годовых колец**

Была проанализирована возрастная динамика ширины годовых колец. Для выявления возрастного тренда усреднили прирост по индивидуальным хронологиям в зависимости от абсолютного возраста модельных деревьев. Была получена динамика средних значений ширины годовых колец для всех участков сбора. Возрастные изменения прироста значительны – у молодых деревьев ширина годовых колец варьирует от 1.5 до 10.4 мм, постепенно снижаясь к 200-250-летнему возрасту, где она становится стабильной в пределах 0.5-1.0 мм. В целом по исследуемым регионам средняя ширина годовых колец составляет 1.6 мм. Максимальные значения прироста по индивидуальным хронологиям достигают высоких значений – до 13.4 мм в Минусинской котловине.

Статистические характеристики обобщенных индексированных стандартных ( $std$ ) и остаточных ( $res$ ) хронологий приведены в таблице 2. Для древесно-кольцевых хронологий Бурятии и Хакасии, как стандартных, так и остаточных, значения межсерийных коэффициентов корреляции и коэффициента чувствительности свидетельствуют о наличии в изменчивости радиального прироста деревьев существенного общего внешнего сигнала.

Изначально при продлении длительности хронологий Бурятии путем сбора дополнительных образцов для каждого участка, были построены локальные хронологии радиального прироста сосны отдельно для сборов 1999 и 2015 гг. Коэффициенты корреляции между локальными хронологиями Бурятии территориально близких выборок разных лет составляют 0.63-0.95, что позволило построить на их основе более обобщенные локальные хронологии для каждого участка по общей выборке 1999 и 2015 гг.

Таблица 2 – Статистические характеристики индексированных древесно-кольцевых хронологий

Характеристика	Бурятия								Хакасия						
	ZGR	KEY	PDL	HUH	HUR	TGN	SHN	ZAG	BER	BID	ZSH	MMIN	MNIC	BGD	KAZ
Общие характеристики															
Длительность, годы	370	209	255	248	265	153	281	192	257	164	133	167	142	172	247
Период, годы	1645-2014	1808-2015	1760-2014	1768-2015	1751-2015	1847-1999	1718-1998	1807-1998	1752-2008	1849-2012	1881-2013	1847-2013	1872-2013	1847-2018	1767-2013
Количество деревьев	42	47	51	73	48	22	14	9	14	15	95	74	29	80	67
Общее количество годовичных колец	6573	6110	6956	13250	8130	2948	2613	1497	1218	1407	9040	6313	2831	8140	9559
Характеристики индексированных хронологий*															
Средний межсерийный коэффициент корреляции ( $r\text{-bar}$ )	<u>0.58</u> 0.49	<u>0.38</u> 0.53	<u>0.58</u> 0.56	<u>0.60</u> 0.64	<u>0.56</u> 0.61	<u>0.66</u> 0.70	<u>0.58</u> 0.60	<u>0.54</u> 0.56	<u>0.53</u> 0.53	<u>0.55</u> 0.64	<u>0.60</u> 0.59	<u>0.47</u> 0.49	<u>0.45</u> 0.41	<u>0.48</u> 0.44	<u>0.55</u> 0.57
Выраженный сигнал популяции (EPS)	<u>0.89</u> 0.88	<u>0.97</u> 0.97	<u>0.96</u> 0.97	<u>0.99</u> 0.99	<u>0.98</u> 0.98	<u>0.95</u> 0.96	<u>0.97</u> 0.98	<u>0.96</u> 0.95	<u>0.91</u> 0.93	<u>0.95</u> 0.95	<u>0.99</u> 0.99	<u>0.94</u> 0.96	<u>0.93</u> 0.94	<u>0.95</u> 0.97	<u>0.96</u> 0.94
Стандартное отклонение (stdev)	<u>0.34</u> 0.27	<u>0.33</u> 0.27	<u>0.42</u> 0.34	<u>0.35</u> 0.34	<u>0.39</u> 0.32	<u>0.36</u> 0.32	<u>0.34</u> 0.29	<u>0.44</u> 0.39	<u>0.29</u> 0.25	<u>0.35</u> 0.30	<u>0.35</u> 0.28	<u>0.23</u> 0.19	<u>0.26</u> 0.20	<u>0.31</u> 0.26	<u>0.37</u> 0.31
Коэффициент чувствительности (sens)	<u>0.28</u> 0.32	<u>0.28</u> 0.37	<u>0.37</u> 0.42	<u>0.37</u> 0.43	<u>0.35</u> 0.40	<u>0.34</u> 0.39	<u>0.31</u> 0.35	<u>0.36</u> 0.40	<u>0.25</u> 0.30	<u>0.33</u> 0.37	<u>0.30</u> 0.33	<u>0.18</u> 0.23	<u>0.18</u> 0.24	<u>0.27</u> 0.31	<u>0.35</u> 0.39
Коэффициент автокорреляции первого порядка ( $ar-1$ )	<u>0.57</u> -0.06	<u>0.50</u> 0.001	<u>0.55</u> 0.01	<u>0.28</u> -0.11	<u>0.47</u> -0.08	<u>0.39</u> -0.086	<u>0.49</u> -0.039	<u>0.32</u> -0.009	<u>0.47</u> -0.11	<u>0.44</u> -0.07	<u>0.51</u> -0.03	<u>0.54</u> -0.05	<u>0.61</u> -0.10	<u>0.41</u> -0.007	<u>0.45</u> -0.03
Коэффициенты корреляции между стандартными хронологиями (std) и остаточными (res).	0.66	0.79	0.80	0.91	0.86	0.89	0.83	0.92	0.88	0.88	0.85	0.82	0.77	0.89	0.85

\*В числителе показаны коэффициенты для стандартных хронологий (std), в знаменателе – для остаточных (res).

По Хакасско-Минусинской котловине было построено 7 хронологий. Хронологии, полученные для отдельных участков, как в Бурятии, так и в Хакасии значительно коррелируют между собой ( $r = 0.33 \dots 0.86$ ), а также хорошо перекрестно датируются, что обосновало объединение всех древесно-кольцевых хронологий для каждого региона и возможность построения единых региональных хронологий BUR, КНА (Рисунок 2).

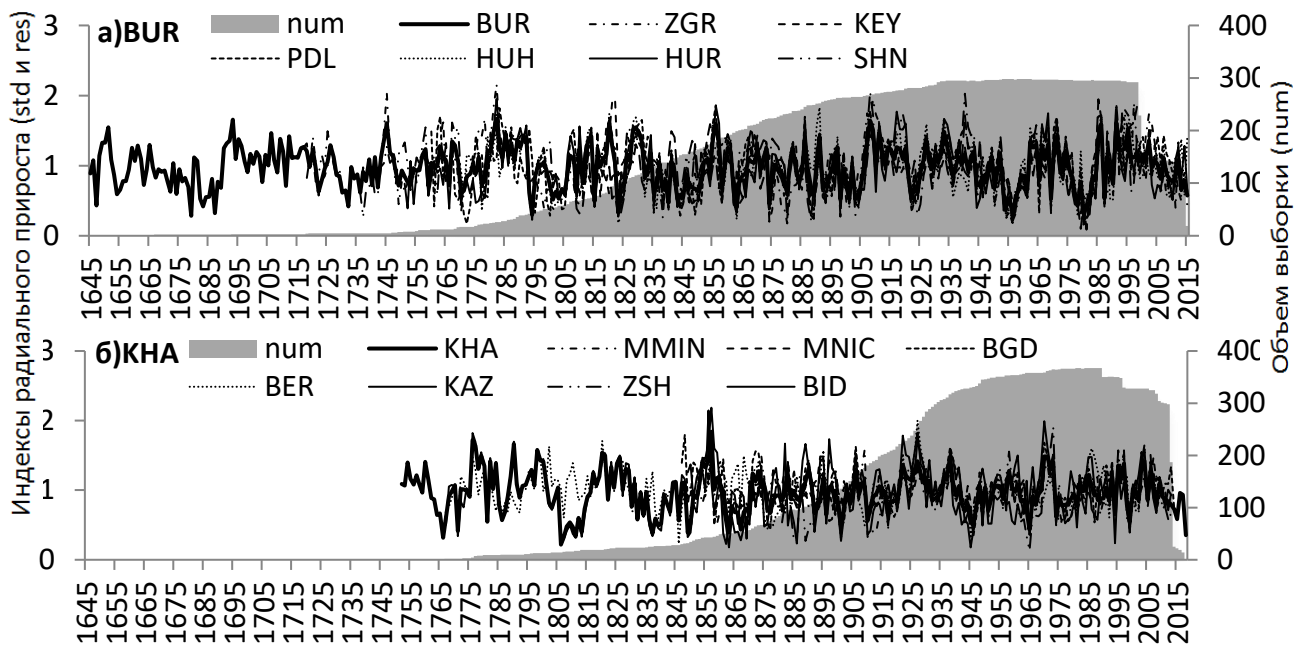


Рисунок 2 – Динамика радиального прироста сосны: региональные стандартные хронологии с указанием объема выборки для каждого года: а) Бурятия, BUR (сбор 1999 и 2015 г.); б) Хакасия, КНА (сбор 2012- 2018 г.).

#### 4 Дендроклиматический анализ хронологий ШГК сосны обыкновенной и реконструкция засух за последние 260 лет в Хакасии и Бурятии

Оценка климатического отклика древесно-кольцевых хронологий на климат была основана на рядах наблюдений по станциям Улан-Удэ и Минусинск, как наиболее однородных и наиболее длительных для исследуемых регионов. Коэффициенты корреляции между индексированными значениями радиального прироста и климатическими факторами (температурой, осадками и гидротермическим коэффициентом Селянинова ГТК) приведены на Рисунке 3.

Корреляционный дендроклиматический анализ показал, что в обоих регионах наблюдается слабое отрицательное влияние на радиальный прирост сосны температур вегетационного сезона. В первой половине сезона в Хакасии (май-июль) колебания температуры отражаются в текущем годичном кольце, а во второй (август-сентябрь) – в кольце следующего года. Зимние температуры в регионах на прирост значимо не влияют, только в Бурятии отмечается некоторое влияние температуры февраля текущего года. Реакция на осадки в обоих регионах положительна и более выражена, чем на температуры. В Бурятии наиболее сильно в радиальном приросте проявляется влияние осадков августа-сентября предыдущего вегетационного сезона. Наоборот, в Хакасии отклик

радиального прироста на осадки больше проявляется за период с мая по июнь текущего сезона, и слабее – за август и ноябрь предыдущего года.

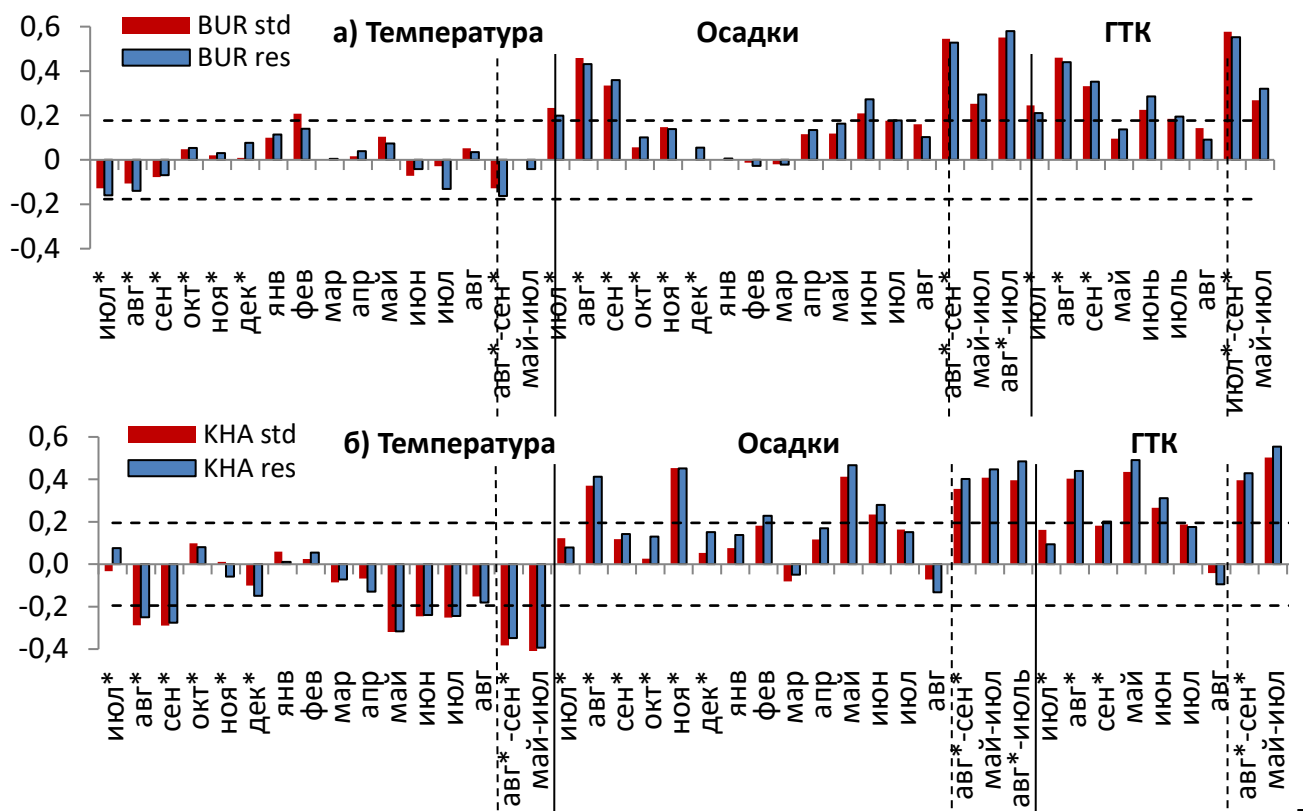


Рисунок 3 – Коэффициенты корреляции индексированных региональных хронологий с климатическими факторами: а) BUR; б) КНА.

Влияние осадков в июле-августе текущего сезона менее значимо в обоих регионах, тем не менее, отклик более выражен в остаточных хронологиях. В зимний период осадки незначительны, и их положительное влияние на радиальный прирост сосны практически не значим. Интегрально можно утверждать, что годовое количество осадков максимально отражается в радиальном приросте для периода с августа предыдущего года по июль текущего года.

Поскольку в отдельные месяцы температуры и осадки в районах исследования значимо коррелируют между собой, для оценки дендроклиматического отклика использовали парные и частные корреляции хронологий с осадками и температурой соответственно, рассчитанные в программе Seascorr (Meko et al., 2011).

При обобщении климатических переменных за более длительные интервалы максимальные корреляции наблюдаются для годовых осадков (Рисунок 4,а) с августа по июль (0.708 и 0.642 для хронологий КНА и BUR соответственно), и с июля по июнь (0.725 и 0.619). Для уточнения календарных сроков т.н. биологического года, соответствующего влиянию климатических факторов на формирование годичного прироста (кольца) сосны, были рассчитаны по суточным данным скользящие годовые суммы осадков с шагом 1

день, и получены их корреляции с локальными и региональными остаточными хронологиями (Рисунок 4,б).

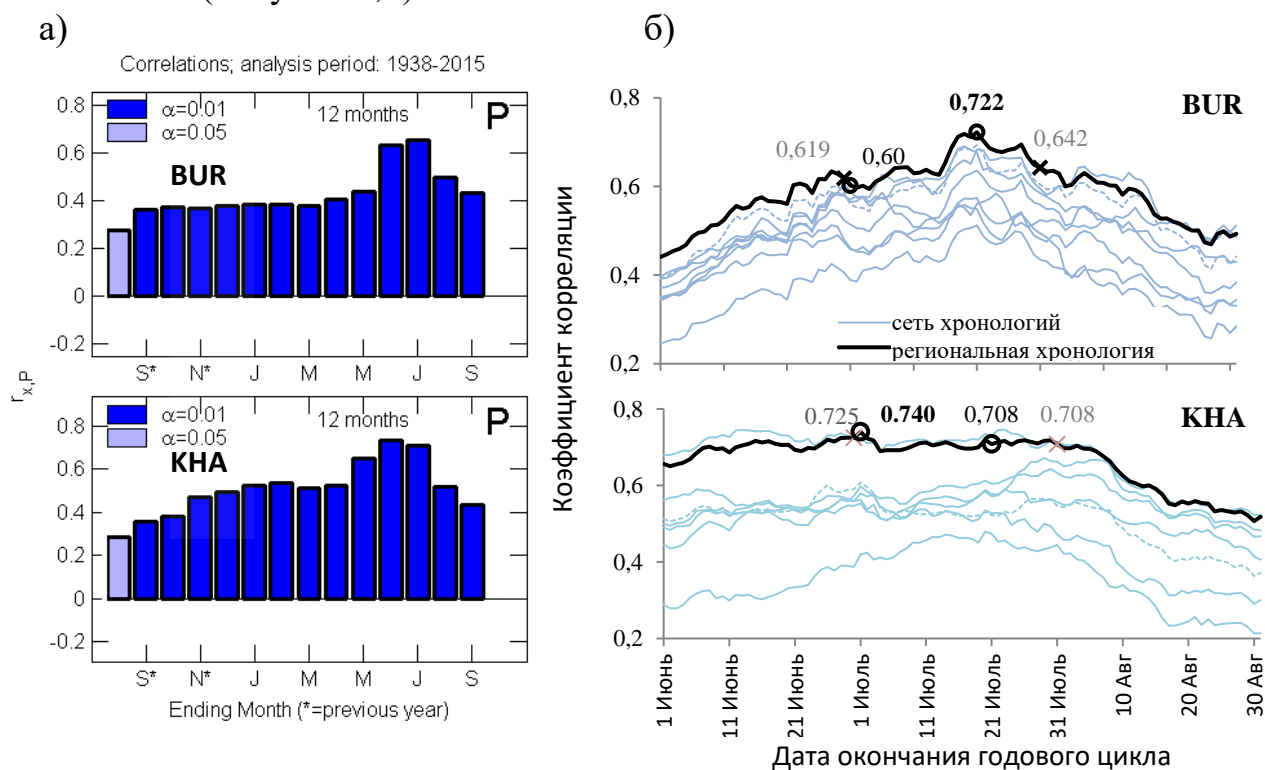


Рисунок 4 – Отклик остаточных хронологий ШПК сосны на годовые осадки по данным станций Улан-Удэ и Мнусинск (1936-2015 гг.): (а) корреляции региональных хронологий BUR и КНА с суммой осадков за 12 календарных месяцев, рассчитанной в программе Seascorr (Meko et al., 2011); (б) корреляции региональных и локальных хронологий ШПК со скользящей годовой суммой осадков, рассчитанной с шагом в 1 день.

В зависимости от участка, максимальные корреляции наблюдаются для годовых интервалов, заканчивающихся преимущественно во второй половине июля. Максимум корреляций с осадками в конце июня – начале июля наблюдается для некоторых участков Минусинской котловины, в бассейне Селенги он выражен слабее. Региональный отклик (коэффициент корреляции) на осадки достигает максимума 0.740 для региональной хронологии КНА за интервал со 2 июля предыдущего по 1 июля текущего сезона, и 0.722 для хронологии BUR за интервал с 22 июля предыдущего года по 21 июля текущего года (Рисунок 4б). Такие границы биологического года связаны с интервалом, когда камбиальная активность (деление клеток) замедляется, и дальнейшие климатические колебания начинают отражаться больше в поддержании жизненного состояния дерева и накоплении ассимилятов для кольца следующего года, чем в формировании ширины текущего кольца. В целях унификации для реконструкции годовой суммы осадков выбран биологический год с 22 июля предшествующего по 21 июля текущего года, для которого осадки имеют высокие корреляции с обеими региональными хронологиями – 0.722 и 0.708.

Следующим этапом исследования для выбранного биологического года были построены модели реконструкции годовых сумм осадков на основе



линейной регрессионной модели. Для оценки соответствия регрессионной модели инструментальным данным использовали скорректированный коэффициент детерминации ( $R^2_{adj}$ ). Для проверки стабильности модель реконструкции была разделена на два периода. Перекрестное моделирование подтверждает стабильность тесноты связи между древесно-кольцевой хронологией и зависимой переменной (осадками) для обоих районов исследования (Рисунок 5).

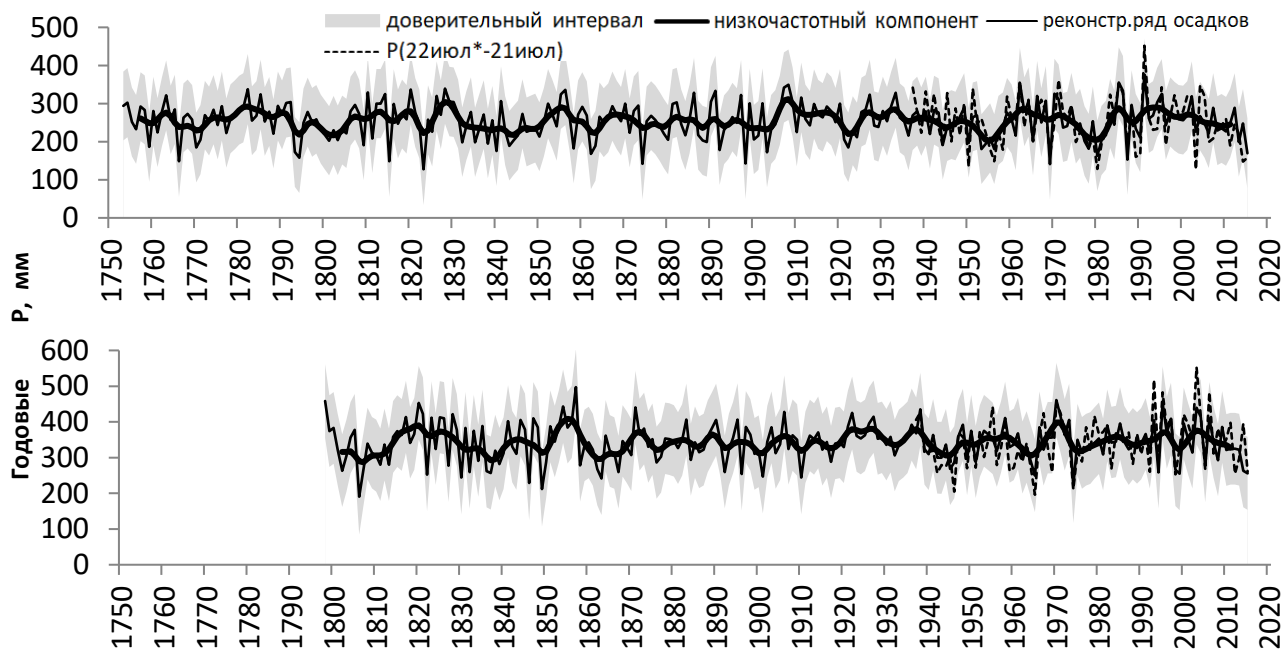


Рисунок 5 – Модели реконструкции годового количества осадков (22 июля \* –21 июля) на основе региональных остаточных хронологий BUR и КНА, соответственно. Графики содержат реконструированный ряд осадков на основе ШГК (тонкая сплошная линия), его низкочастотный компонент (жирная линия), 95% доверительный интервал (серая область) и фактический ряд осадков (пунктирная линия).

## 5 Сравнительный анализ динамики засух и влажных лет в Хакасии и Бурятии

В моделях реконструкции годовых осадков были выявлены наиболее сухие и влажные годы за общий для обеих моделей период 1798-2015 гг. Календарные годы указаны для дат окончания соответствующих биологических лет. В бассейне Селенги умеренно влажные годы наблюдаются чаще. В Минусинской впадине очень влажные годы, наоборот, наблюдаются реже, чем другие экстремумы (Таблица 3).

Спектральный и кросс-спектральный анализ показал, что в моделях реконструкции осадков наиболее выражены 11, 26, 29 и 44-летние циклы в бассейне Селенги, циклы длительностью около 11, 17, 31 и 36 лет в Минусинской котловине, кросс-спектральный анализ показал наличие общих для обоих регионов 11, 27, 36 и 44-летних циклов. После сглаживания моделированных осадков 9-летним фильтром близкие к нему по длительности 11-летние циклы уменьшили амплитуду, высокие амплитуды наблюдаются в бассейне Селенги



для цикличностей в 25 и 36 лет, в Минусинской котловине – для 16, 30 и 35 лет. Кросс-спектральная плотность сглаженных рядов между собой имеет пики на периодах 11 и 35 лет (Рисунок 6).

Таблица 3 – Самые засушливые и влажные годы на исследуемых территориях по моделям реконструкции за их общий период 1798-2015 гг.

Годы с экстремальным годовым количеством P в моделях		Модель реконструкции осадков	
Характеристики	Степень крайности	P=f(BUR)	P=f(КНА)
количество экстремальных лет и диапазон годовых осадков (мм)	Очень влажный ( $P > \text{mean} + 1.5 \text{ SD}$ )	17 ( $P > 324$ )	13 ( $P > 421$ )
	Умеренно влажный ( $\text{mean} + \text{SD} < P < \text{mean} + 1.5 \text{ SD}$ )	17 (P=302-324)	22 (P=396-421)
	Обычный ( $\text{mean} - \text{SD} < P < \text{mean} + \text{SD}$ )	145 (P=209-301)	141 (P=290-395)
	Умеренно засушливый ( $\text{mean} - 1.5 \text{ SD} < P < \text{mean} - \text{SD}$ )	22 (P=186-208)	21 (P=264-289)
	Очень засушливый ( $P < \text{mean} - 1.5 \text{ SD}$ )	17 ( $P < 186$ )	21 ( $P < 264$ )
экстремальные годы *	Очень влажные	1991 <u>1985</u> 1962 19081907 <u>1828</u> <u>1820</u> <u>1856</u> 1891 1986 1810 1933 1886 <u>1970</u> <u>1995</u> 1814 1855	1857 <u>1970</u> 1798 <u>1820</u> <u>1995</u> 1854 1871 20031938 1906 <u>1922</u> 1821 <u>1828</u>
	Очень засушливые	1823 1969 1874 18981815 1987 1980 <u>1862</u> <u>2015</u> 19031840 <u>1892</u> 1953 1956 1978 1858 <u>1922</u>	1806 1849 1974 18461863 1910 1830 19011965 1822 1896 1999 <u>2015</u> 1837 <u>1994</u> 18321867 <u>1892</u> 1836 20141802

\* Отмеченные годы: XXXX, экстремальные годы того же знака и степени тяжести; XXXX – экстремальные годы одного знака, но разной степени тяжести; XXXX – экстремальные годы той же степени тяжести, но другого знака (очень влажно / очень сухо); XXXX – экстремальные годы разного знака и степени тяжести.

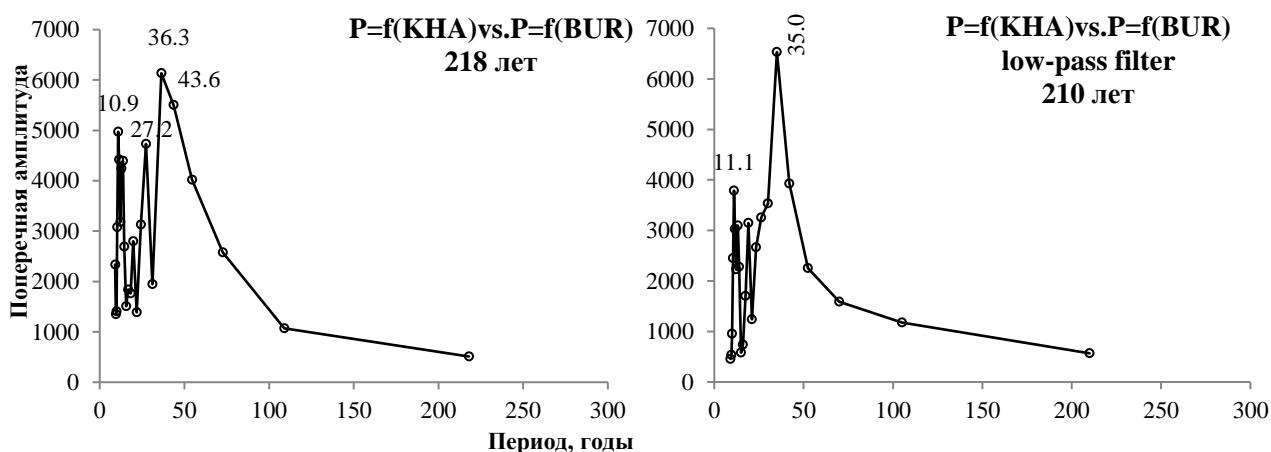


Рисунок 6 – Кросс-спектральный Фурье-анализ реконструированных осадков на исследуемых территориях, кросс-амплитуды показаны только для периодов более 9 лет. Слева – сравнение рядов «как есть», справа – сравнение низкочастотных компонент.

Сравнение полученных реконструкций с динамикой атмосферного давления в центральном регионе континентальной Азии, включающем оба

исследуемых региона (Siberian High), не выявило линейных взаимосвязей при длительностях интервалов обобщения атмосферного давления от месяца до года. Однако одна из ближайших к ним крупная океаническая осцилляция – Декадная Тихоокеанская осцилляция (PDO), вносит свой вклад в режим увлажнения как по результатам кросс-корреляций (особенно в области низкочастотных колебаний), так и по результатам кросс-спектрального анализа. Кросс-корреляционный анализ реконструированных осадков с ежемесячными и усредненными за сезоны различной длительности индексами PDO показал, что осадки с 22 июля предыдущего года по 21 июля текущего года в бассейне Селенги значимо положительно связаны с PDO с запаздыванием на два года, в то время как для Минусинской котловины значимых корреляций с этим климатическим индикатором нет. После сглаживания в PDO наиболее выражен 54-летний цикл, а общие колебания с моделированными осадками наблюдаются для периодов 21, 27, 54 года для хронологии BUR, 27 и 54 года для хронологии КНА. Похоже, что телеконнекция с PDO обеспечивает часть длительных колебаний (27-29 лет) количества осадков на юге Сибири, но с существенным временным запаздыванием (Рисунок 7). Однако, более быстрые 11-12-летние циклы, равно как и высокочастотные колебания осадков, явно с PDO не связаны. т.е. обусловлены другими причинами. Наиболее вероятной причиной для этой компоненты является наблюдаемая во многих регионах связь климатических колебаний с циклами солнечной активности.

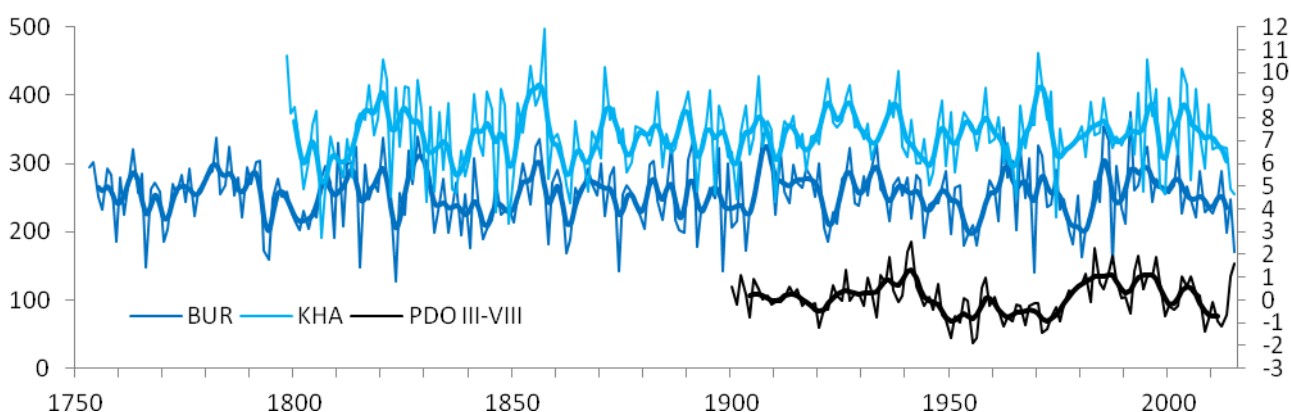


Рисунок 7 – Многолетняя динамика реконструированных годовых осадков и индекса PDO за март-август. Ряды сглажены с помощью 9-летнего фильтра.

## **6 Анатомические характеристики как источник информации о ключевых интервалах в сезоне по влиянию климатических факторов на клеточную структуру годичных колец**

Более детальное исследование анатомической структуры сосны включало анализ зависимости ширины годичных колец от продукции клеток, построение на основе трахеидограмм изменчивости радиальных размеров и толщины клеточной стенки массива длительных «клеточных» хронологий, анализ их взаимосвязей между собой и с климатическими факторами в течение сезона.

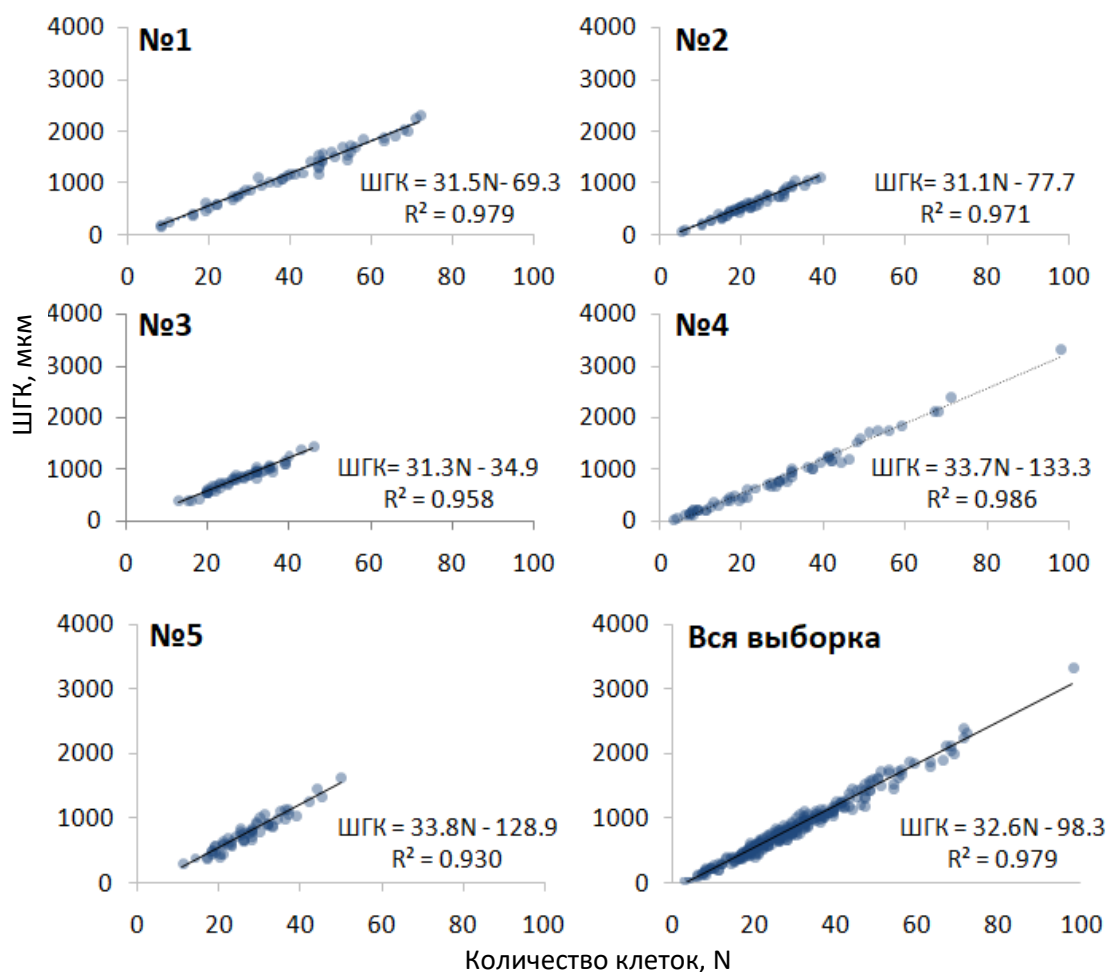


Рисунок 8 – Зависимость ширины годичного кольца ШГК от количества клеток N для индивидуальных деревьев и всей локальной выборки на примере участка на юге Бурятии.

Зависимость ШГК от числа клеток в кольце N близка к прямо пропорциональной. Близкий к единице для всех деревьев коэффициент детерминации этой линейной регрессии (0.93-0.99) указывает на высокую достоверность полученных моделей и близость наблюдаемой взаимосвязи к строго линейной функциональной зависимости. Числовой коэффициент при N, являющийся оценкой среднего значения радиального размера клеток, варьирует для отдельных деревьев в Бурятии в пределах 31.1-33.8 мкм, и находится в пределах наблюдаемого в Хакасии диапазона 30.3-35.6 мкм. (Рисунок 8).

Поскольку в предшествующих работах была выявлена четкая связь ШГК и числа клеток в кольце с двумя основными анатомическими характеристиками трахеид, то для того, чтобы получить более четкий отклик анатомических характеристик использовалась процедура их индексации (Babushkina et al., 2019,2021). Зависимости клеточных характеристик от количества клеток N хорошо описываются отрицательной экспоненциальной функцией. Быстрое увеличение D (диаметр) и утолщение CWT (клеточной стенки) с ростом числа клеток, наблюдающееся в узких кольцах, постепенно переходит в стабильные значения в широких кольцах, т.е. при больших N (Рисунок 9). Попутно

проверялась гипотеза, что в южной Бурятии меньший размер клеток и более толстые клеточные стенки являются приспособлением к вероятности более интенсивных засух, так как в этом регионе распределение осадков по вегетационному сезону неравномерно, и май-июнь гораздо суше по сравнению с Хакасией (Рисунок 1).

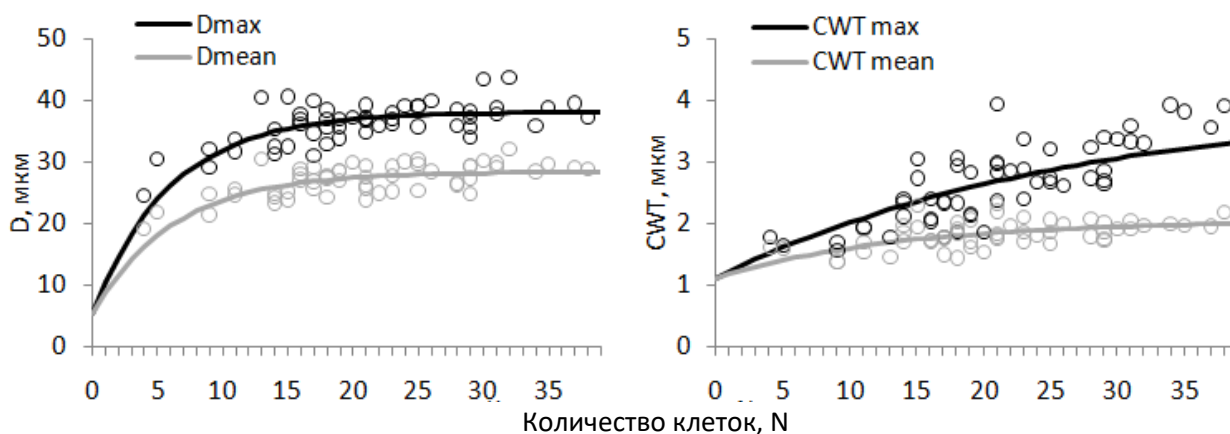


Рисунок 9 – Схема получения средних  $D_{mean}$ ,  $CWT_{mean}$  и максимальных  $D_{max}$ ,  $CWT_{max}$  значений радиального размера клетки  $D$  и толщины клеточной стенки  $CWT$  (на примере усредненных трахеидограмм  $D$  и  $CWT$  годовичного кольца 1960 г., дерево №5 участка на юге Бурятии).

Климатический анализ проводился для мая–сентября (вегетационный сезон) за период 1959-2014 гг. (Рисунок 10). Согласно полученным данным, принципиальная картина климатического отклика сходна для обоих засушливых регионов, основные различия отмечаются в интенсивности и в сдвиге сезонности отклика на более поздние даты у деревьев сосны юга Бурятии. ШГК здесь положительно коррелирует с осадками с конца мая до конца июля, в Хакасии отклик проявляется преимущественно на осадки в течение мая и первой половины июня. Отрицательный отклик на температуру, в отличие от лесостепи Хакасии, в Бурятии не выражен, но положительная корреляция с температурой отмечена в августе. Радиальные размеры клеток в годовичных кольцах сосны в Бурятии значимо зависят от более влажных и прохладных условий в середине июня (отклик запаздывает почти на месяц по сравнению с таковым в условиях Хакасии). Толщина клеточной стенки в годовичных кольцах сосны в Бурятии зависит от количества осадков середины июля, а отрицательная зависимость от температуры воздуха конца вегетационного сезона, сильнее выраженная у максимальных значений толщины клеточной стенки, наибольших значений достигает в начале сентября (отставание от Хакасии на 2-3 недели).

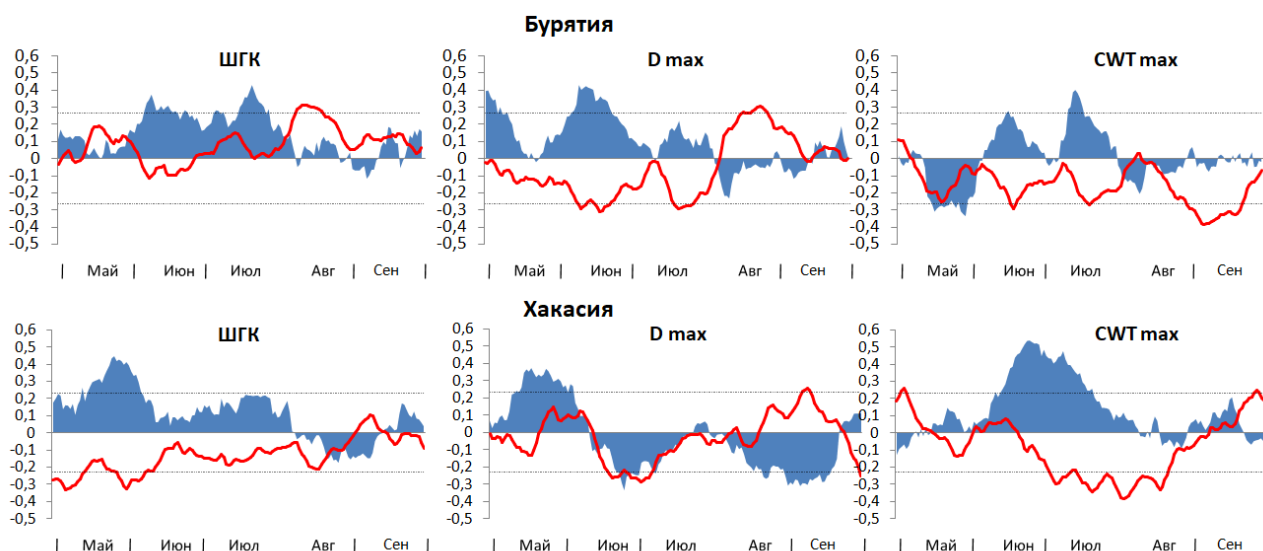


Рисунок 10 – Климатический отклик характеристик годичного кольца: корреляции индексированных древесно-кольцевых хронологий со скользящими рядами температуры (линии) и осадков (области), рассчитанными из суточных данных с окном 21 день и шагом 1 день. Горизонтальными штриховыми линиями показан уровень значимости коэффициентов корреляции  $p=0.05$ .

В течение вегетационного сезона комбинация косвенного воздействия температуры как иссушающего фактора и прямого воздействия осадков как источника увлажнения регулируют доступность почвенной влаги и соответственно интенсивность транспирации и фотосинтеза, поэтому комбинация положительных корреляций с осадками и отрицательных с температурой характерны для семиаридных лесных экосистем, в том числе континентальной Азии (Liu et al., 2013; Shestakova et al., 2016; Gradel et al., 2017). Менее жаркое лето и концентрация дефицита увлажнения в течение более прохладного начала сезона, похоже, ослабляет реакцию сосны на температуру в Бурятии по сравнению с Хакассией (Belokopytova et al., 2018; Demina et al., 2022). Различия между хронологиями индексированных анатомических параметров и радиального прироста по сезонности и интенсивности наблюдаемых корреляций с климатическими факторами подтверждают эффективность использованного подхода для разделения климатического отклика.

### ВЫВОДЫ:

1. В пределах каждого региона локальные древесно-кольцевые хронологии сосны статистически значимо коррелируют между собой ( $r = 0.33...0.86$ ), что позволило получить генерализированные хронологии для Бурятии и Хакасии. В их изменчивости содержится сильный региональный климатический сигнал на увлажнение, для годовых осадков достигающий  $r = 0.71-0.72$ .
2. Дефицит увлажнения является общим лимитирующим фактором для прироста сосны в засушливых зонах Бурятии и Хакасии. Региональный отклик на осадки в Хакасии достигает максимума для интервала со 2 июля предыдущего

года по 1 июля текущего, в Бурятии для интервала с 22 июля предыдущего года по 21 июля текущего года.

3. В моделях реконструкции годовых осадков выявлены наиболее сухие и влажные годы за общий период 1798-2015 гг. Оценены декадные циклические составляющие в динамике режима увлажнения, различающиеся по длительности и фазе между регионами, что обуславливает существенную асинхронность в наступлении засух.

4. Дендроклиматический анализ клеточных хронологий позволил более детально оценить сроки влияния увлажнения и температуры на ход сезонного роста и дифференцировку ксилемы в годичных кольцах сосны. Показано, что климатический отклик анатомических характеристик древесины сосны в Бурятии запаздывает относительно Хакасии на 2-3 недели. Такой механизм показывает адаптацию в росте сосны к климато-экологическим особенностям регионов, а также обуславливает устойчивость данного вида к постоянному дефициту увлажнения.

5. В Бурятии растяжение самых крупных клеток ранней древесины сосны происходит в первые три недели июня, а отложение клеточной стенки клеток поздней древесины – в течение первых трех недель сентября. Это может быть исходной информацией для реконструкции внутрисезонной климатической динамики с высоким временным разрешением по трахеидограммам годичных колец.

#### **Список публикаций по теме исследования в журналах, рекомендованных ВАК России:**

1. Демина, А. В. Зависимость ширины годичных колец сосны обыкновенной от температур воздуха и почвы в лесостепной зоне Юга Сибири. / **А. В. Демина**, Л.В. Белокопытова, Г.Н. Шибаева // В мире научных открытий. – Красноярск, 2014. – №6 (54). – С. 22-30.

2. Демина, А. В. Детализация климатического отклика анатомических параметров древесины и фенологии ксилогенеза сосны обыкновенной в лесостепях юга Сибири. / **А. В. Демина**, Д. Ф. Жирнова, Л. В. Белокопытова, К. К. Упадхай, Е. А. Бабушкина // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. – Красноярск, 2022. – Том 15. – Вып. 2. – с.183-201.

#### **В изданиях, индексируемых в базах данных SCOPUS и Web of Science:**

3. Демина, А. В. Динамика радиального прироста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) как индикатор гидротермического режима лесостепи Западного Забайкалья. / **А. В. Демина**, Л. В. Белокопытова, С. Г. Андреев, Т. В. Костякова, Е. А. Бабушкина // Сибирский экологический журнал. – 2017. – № 5. – С. 553-566.

4. Demina, A. V. Degree of connectivity in reconstructed precipitation dynamics and extremes for semiarid regions across South Siberia. / **A. V. Demina**, L. V. Belokopytova, D. F. Zhirnova, N. Mehrotra, S. K. Shah, E. A. Babushkina, E. A. Vaganov // *Dendrochronologia*. –2019. – Vol. 71 – 125903.

### **В прочих изданиях:**

5. *Демина, А. В.* Дендроклиматический анализ радиального прироста сосны обыкновенной в хакасском музее-заповеднике «Казановка». / **А. В. Демина, Т. В. Костякова** // Экология Южной Сибири и сопредельных территорий. – Абакан. – 2014. – Выпуск 18. – Том I. – С. 26-27.

6. *Демина, А. В.* Различия влияния температуры воздуха и почвы на ширину годовых колец разных видов хвойных, произрастающих в лесостепной зоне юга Сибири. / **А. В. Демина, Т. В. Костякова, Ю. А. Кропачева** // Инновационная наука: Международный научный журнал. – Уфа. – 2016. – № 3. – С. 43–46.

7. *Демина, А. В.* Радиальный прирост сосны как индикатор изменчивости температуры в лесостепной зоне Бурятии. / **А. В. Демина, А. О. Шин, А. Ю. Суренкова** // Экология Южной Сибири и сопредельных территорий. – Абакан. – 2016. – Выпуск 20. – Том I. – С. 17-18.

8. *Демина, А. В.* Дендроклиматический анализ радиального прироста ели обыкновенной в национальном парке «Шушенский бор». / **А. В. Демина, А. Е. Барабанцева, Ю. А. Кропачева** // Экология Южной Сибири и сопредельных территорий. – Абакан. – 2016. – Выпуск 20. – Том I. – С. 82-83.

9. *Демина, А. В.* Динамика изменения климатических факторов на юге Сибири. / **А. В. Демина, И. А. Самарайский, М. А. Дорошенко** // Проблемы и перспективы развития науки в России и мире: Международная научно-практическая конференция. – Екатеринбург. – 2017. – Часть 4. – С.33-36.

10. *Демина, А. В.* Радиальный прирост сосны как индикатор изменчивости климатических факторов в Бурятии. / **А. В. Демина, Е. А. Бабушкина, Т. В. Костякова, А. Е. Барабанцева** // Байкал 2018: Международная научно-практическая конференция. – Иркутск. – 2018. – С. 163-167.

11. *Демина, А. В.* Анализ климатического влияния на древесно-кольцевые хронологии сосны обыкновенной на юге Сибири. / **А. В. Демина, Е. А. Бабушкина** // Сохранение растений в связи с изменениями климата и биологическими инвазиями: Международная научная конференция на базе Государственного дендропарка «Александрия» НАН Украины. – Белая Церковь. – 2020. – С. 43-46.

Отпечатано в ООО «Типография Хакасии»  
655017, Республика Хакасия, г. Абакан, ул. Щетинкина, 32  
Тел.: 8 (3902) 222-447, Заказ \_\_\_\_\_ Тираж 100 экз.