

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Институт фундаментальной биологии и биотехнологии  
Кафедра биофизики

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_  
подпись инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

03.03.02 Физика

Динамика радиального прироста лиственницы Гмелина на разной высоте  
ствола (Центральная Эвенкия)

Научный руководитель \_\_\_\_\_ доцент, к.ф.-м.н. А.В. Шашкин  
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия  
Выпускник \_\_\_\_\_ Д.А. Окс  
подпись, дата инициалы, фамилия

Красноярск 2020

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Динамика радиального прироста лиственницы Гмелина на разной высоте ствола (Центральная Эвенкия)» содержит: 42 страницы текстового документа, 18 иллюстраций, 14 таблиц, 2 формулы, 24 литературных источника.

ДЕНДРОХРОНОЛОГИЯ, ЛИСТВЕННИЦА ГМЕЛИНА, РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ, МНОГОЛЕТНЯЯ МЕРЗЛОТА, ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА, ФУНКЦИИ ОТКЛИКА, СУХОВЕРШИННОСТЬ.

Цель работы: сравнить динамику роста по диаметру стволов здоровых и суховершинных деревьев лиственницы Гмелина и выявить разницу в отклике на погодные факторы на разной высоте ствола, для обоснования причин суховершинности.

Актуальность исследования обусловлена тем, что высокоширотные таежные экосистемы особенно быстро и заметно реагируют на текущие климатические изменения. Усыхание верхней части стволов деревьев возникает из проявлений климатических изменений на рост деревьев в условиях вечной мерзлоты. Установление физиологических причин суховершинности важно для прогнозирования состояния и продуктивности этих экосистем на ближайшие 30 - 50 лет.

Объектом исследования являются образцы древесины (спилы) деревьев лиственницы Гмелина, собранные в окрестностях п. Тура в Илимпейском районе Эвенкийского автономного округа в среднем течении р. Нижней Тунгуски, после измерения ширины годичных колец которых были построены абсолютные древесно-кольцевые хронологии, а также корреляционно-климатические функции отклика индексов радиального прироста на разной высоте ствола.

По результатам исследования видно, что на склонах северной экспозиции как у здоровых деревьев, так и суховершинных деревьев наблюдается тенденция на увеличение радиального прироста на всей высоте ствола,

вызванная увеличением среднемесячной температурой воздуха. Хотя климатические условия и стали более благоприятными для роста лиственницы Гмелина, но явление суховершинности стало встречаться все чаще. Результаты указывают, что здоровые деревья обладают наибольшей чувствительностью к воздействию температуры воздуха по сравнению с суховершинными. Из-за низкого отклика суховершинных деревьев на погодные условия можно предположить, что на явление суховершинности оказывают наибольшее влияние другие факторы. Это можно объяснить низкой температурой почвы, из-за которой корни плохо поглощают влагу и впоследствии мы можем наблюдать водный дисбаланс, в результате которого происходит усыхание верхней части дерева, из-за нехватки воды.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. Обзор литературы	6
1.1. Природно-климатические условия района исследования	6
1.2. Географические особенности и климат региона	7
1.3. Растительность	9
1.4. Причины образования суховершинности в регионах вечной мерзлоты	12
2. Материалы и методы	14
2.1. Сбор, предварительная датировка и измерение ширины годичных колец и перекрестная датировка	14
2.2. Построение индексированных древесно-кольцевых хронологий	16
2.3. Функции отклика индексов радиального прироста на воздействие климатических факторов	17
3. Результаты и обсуждение	19
3.1. Анализ динамики радиального роста деревьев лиственницы Гмелина на разной высоте стволов	19
3.1.1. Абсолютные древесно-кольцевые хронологии	19
3.1.2. Стандартизированные древесно-кольцевые хронологии	27
3.1.3. Корреляционные климатические функции отклика индексов радиального прироста на разной высоте ствола у деревьев лиственницы Гмелина	33
3.1.4. Скользящие корреляционные климатические функции отклика индексов радиального прироста	36
3.2. Обсуждение результатов	38
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	40
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	41

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования обусловлена тем, что высокоширотные таежные экосистемы особенно быстро и заметно реагируют на текущие климатические изменения. Усыхание верхней части стволов деревьев возникает из проявлений климатических изменений на рост деревьев в условиях вечной мерзлоты. Установление физиологических причин суховершинности важно для прогнозирования состояния и продуктивности этих экосистем на ближайшие 30 - 50 лет.

Суховершинность – это нередкое явление, с которым сталкиваются в северотаежных древостоях. Растительность может испытывать «физиологическую засуху» при избытке влаги во время оттаивания почвы. В самых неблагоприятных по достатку воды условиях находятся верхушки деревьев, которые обладают низким водным потенциалом, в отличие от остальных частей ствола. Дефицит влаги может привести к потере проводимости и как итог, суховершинности.

**Цель работы:** сравнить динамику роста по диаметру стволов здоровых и суховершинных деревьев лиственницы Гмелина и выявить разницу в отклике на погодные факторы на разной высоте ствола, для обоснования причин суховершинности.

### **Задачи работы:**

1. Построение абсолютных и индексированных древесно-кольцевых хронологий на разной высоте ствола от поверхности почвы;
2. Построение климатических корреляционных функций отклика ширины годовых колец разных высот ствола дерева (от корней к кроне) и проанализировать их на воздействие среднемесячных и скользящих температур воздуха и атмосферных осадков.

## 1. Обзор литературы

### 1.1. Природно-климатические условия района исследования

Область проведения исследования причисляется к Эвенкийской лесорастительной провинции и расположен близ плато Путорана, где главной лесообразующей породой является лиственница Гмелина (*L. gmelinii* (Rupr.) Rupr).

Исследуемая местность причисляется к Нижне-Тунгусскому округу лиственничных и лиственнично-темнохвойных северотаежных лесов Ангаро-Тунгусской таежной провинции Среднесибирской лесорастительной области. В бассейне реки Нижняя Тунгуска, в границах региона северо-таежных светлохвойных лесов размещена северная доля данной провинции. А в регионах рек Таймура и Нидым, находится восточная часть, размещенная в границах южной доли плато Сыверма.

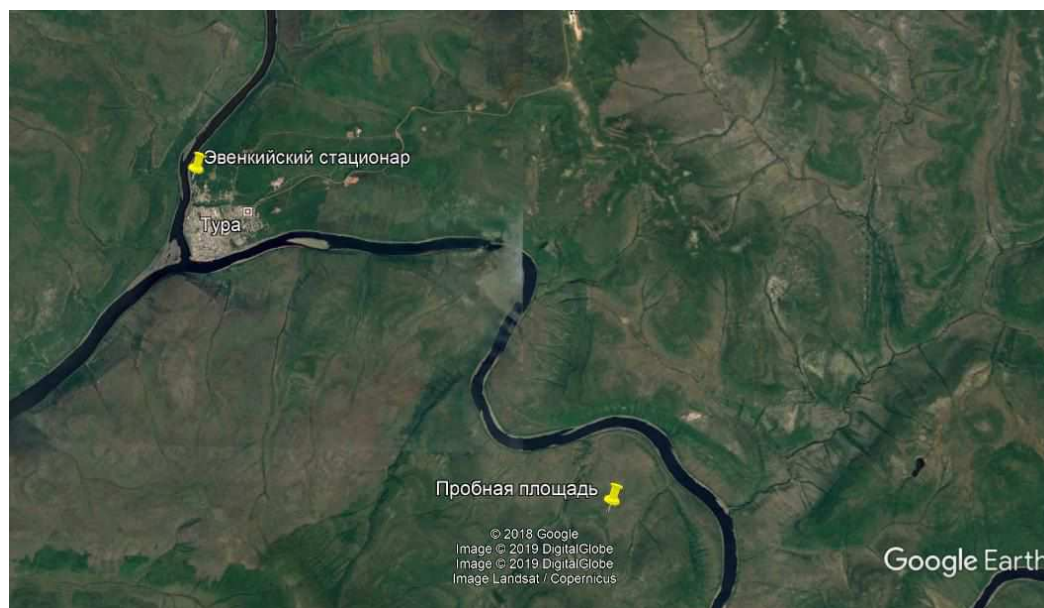


Рисунок 1.1 - Карта исследуемой местности

Исследуемая местность расположена в Илимпейском районе рядом с Эвенкийским опорным экспедиционным пунктом ИЛ СО РАН, неподалеку с поселком Тура (64°12' с.ш., 100°26' в.д., Рис. 1.1).

К Среднесибирской плоскогорной лесорастительной области, которая охватывает средний сибирский континентальный сектор и характеризуется

всевозможным рельефом, лесорастительными условиями, обладающими обширным диапазоном, и тотальной многолетней мерзлотой, причисляется регион Эвенкийского автономного округа [1].

## **1.2. Географические особенности и климат региона**

К мерзлотным сезонно-талым причисляются почвы, принадлежащие исследуемому региону. Сплошная мерзлота, является итогом процесса охлаждения, доминирующим в данных почвах. Невысокие положительные температуры, которые длятся не более четырех месяцев в году, и ничтожное оттаивание в верхних слоях (не более 1 метра) также наблюдаются у почв исследуемого района [2, 3, 4, 5].

Небольшое количество поступающего тепла на склоны северной экспозиции из-за мощного слоя подстилки, который обеспечивает теплоизоляцию, а также большое количество льдистой мерзлоты в нижних слоях подстилки и верхней части минеральных почв создают положительную температуру почв только в середине июля. Максимальные значения СТС (сезонно-талого слоя) на грядах в сентябре составляют <60 см. В отдельных же западинах при отсутствии склонового стока оттаивания почвы в течение всего безморозного периода не происходит и в среднем по площади составляет около 20 см. Период с температурой почвы >0°C (на буграх) составляет около 110 дней, а сумма положительных температур <470°. Продолжительность периода с температурами почвы >5°C на глубине 5 см составляет около 40 дней. При этом прогревание почвы до этой температуры в середине вегетационного периода (середина июля) ограничивается, как правило, глубиной 5 см (Рис. 1.2).

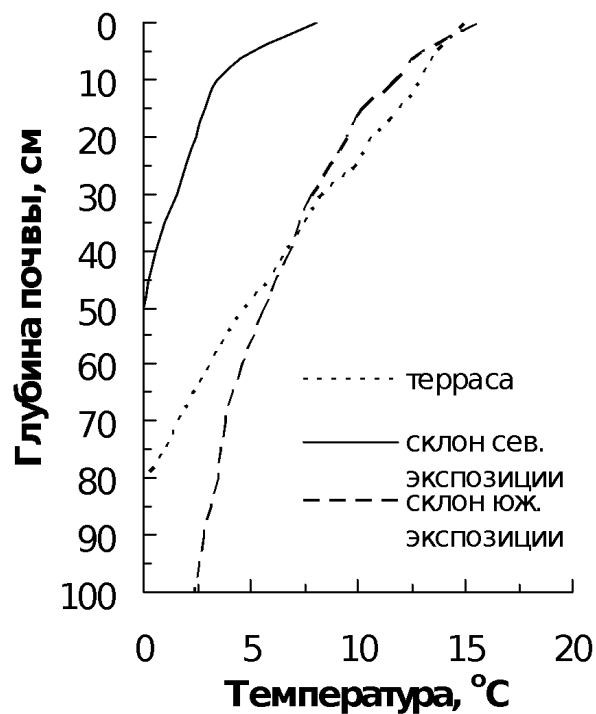


Рисунок 1.2 - Изменение температуры почвы в зависимости от её глубины

Влажность почв в условиях склона северной экспозиции существенно выше как следствие пониженной эвапотранспирации (Рис. 1.3). Вместе с тем также наблюдается ее убывание вниз по профилю и возрастание в нижних горизонтах. Последнее, наиболее вероятно, происходит за счет латерального склонового стока по надмерзлотному водоупору. Вследствие этого также почвы западин характеризуются переувлажнением (до 150%) во влажные периоды.



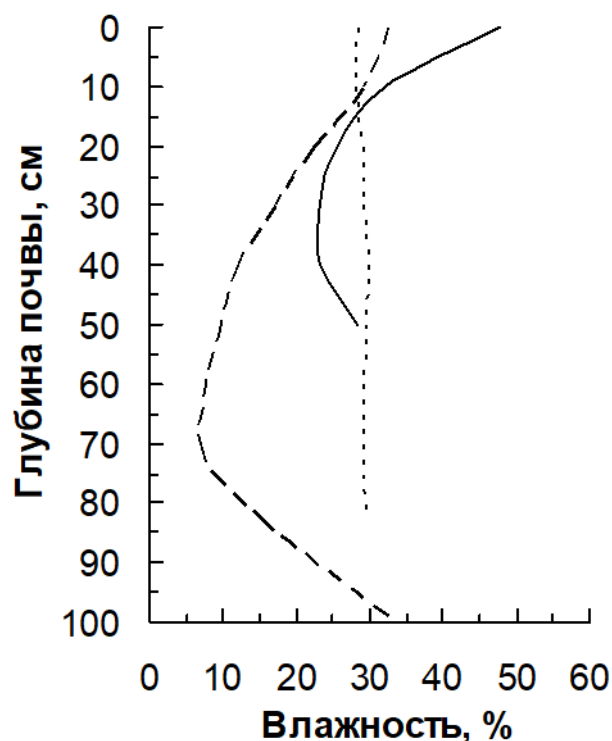


Рисунок 1.3 - Изменение влажности почвы в зависимости от её глубины

Географическое положение региона, который находится в срединной части Евразийского материка, приводит к усилению континентального климата. Данное усиление находит проявления в зоне распределения осадков, их суммарном годовом количестве, а также колебаниях, возникающих у сезонных температур. Также усиление приводит к умеренно теплomu лету, со средней температурой июля  $+16,3^{\circ}\text{C}$ , и суммарными осадками за год до 250-300 мм, наибольшая доля которых также приходится на лето. 69-80 дней составляет длительность вегетационного периода, а 60-64% от продолжительности года занимают отрицательные температуры [6].

### 1.3. Растительность

Растения исследуемого региона плохо изучены, есть лишь общая информация, которая содержится в научных работах Л.В. Шумиловой (1949, 1962), В.Б. Сочавы. (1956), Г.В. Крылова. (1960). Подробная характеристика отдельных лесных группировок содержится в работах Н.С. Водопьяновой

(1984) и Абаимова и др. (1997). Лишайниковая, кустарничково-моховая, сфагновая типы лесов являются наиболее распространенными в данной местности, а толокнянковая, зеленомошная и вейниковая группы встречаются не так часто [7].

На данный период, в изучаемом регионе Т.Н. Бугаенко (2002) выделены следующие наиболее распространенные фитоценозы: 1. Лиственничник багульниково-голубичный сфагновый с подлеском из *Betula* и различных видов *Salix*; 2. Лиственничная редина шикшево-толокнянковая; 3. Лиственничник бруснично-багульниковый зеленомошный; 4. Лиственничник багульниково-брусничный зеленомошный с подлеском из *Duschekia fruticosa*; 5. Лиственничник бруснично-голубичный зеленомошно-лишайниковый; 6. Лиственничник бруснично-шикшевый лишайниковый; 7. Лиственничник багульниково-брусничный лишайниково-зеленомошный (бассейн р. Кочечум); 8. Лиственничник бруснично-голубичный лишайниково-моховой; 9. Лиственничник бруснично-толокнянковый; 10. Лиственничник голубично-толокнянковый; 11. Лиственничник багульниковый лишайниково-зеленомошный; 12. Лиственничник багульниково-брусничный зеленомошный с подлеском из *Duschekia fruticosa*; 13. Лиственничник багульниково-брусничный лишайниково-зеленомошный (бассейн р. Нижняя Тунгуска); 14. Лиственничник багульниковый зеленомошный с подлеском из *Duschekia fruticosa*.

Часто встречающимися являются лиственничники багульниковые, имея при этом общую небольшую площадь. Их можно обнаружить в небольших местах, которые обладают достаточным количеством влаги, у подножий склонов и в плоских лощинах. На нередко щебнистых почвах, на дренированных склонах как северной, так и южной экспозиции и на перегнойно-подзолистых мерзлотно-таежных почвах размещены зеленомошные лиственничники. А в местах с продолжительным переувлажнением поверхностей высокой поймы предсклоновых прогибов располагаются лиственничники сфагновые. Также вогнутые зоны

надпойменных террас заняты лиственничниками бруснично-багульниковые с подлеском из *Duschekia fruticosa*, а сами склоны лиственничниками багульниковыми лишайниково-зеленомошные. Лиственничники шикшево-толокнянковые приурочены к выпуклым поверхностям надпойменных террас, данное расположение связано с большим залеганием мерзлоты, которое составляет не менее 1 метра, а также с составом подстилающих горных пород.

Древостои, которые обладают полнотой 0,3-0,5, V-Va бонитета в основном расположены на западе исследуемой территории в лишайниковых лиственничниках, а древостои, обладающие полнотой от 0,2 до 0,7, III-IVб бонитета, на юго-востоке. Главным лимитирующим фактором, определяющим продуктивность лесов Центральной Эвенкии, является сильно выраженная континентальность климата и в связи с этим специфичность гидротермического режима почв.

На коренных склонах западной экспозиции, обладающих разной крутизной (покатых, средней крутизны, крутых и очень крутых), преобладают лиственничники зеленомошной группы типов леса. Распространение склонов не зависит от условий обеспечения их теплом, оно устанавливается степенью дренированности местообитаний. Западные склоны находятся в условиях менее экстремальных чем восточные, потому как они получают большее количество тепла, и как итог сильнее прогреваются [8].

Лиственничники багульниково-брусничные зеленомошные с подлеском из *Duschekia fruticosa* охватывают верхнюю долю крутых коренных склонов. Преимущественно там располагаются сообщества среднетаежных растений, которые размещены на северном пределе своего распространения исключительно на склонах южной экспозиции, также данные сообщества являются особенно продуктивными в районе зоны исследования.

Не меньшее количество видов и сообществ растений, можно наблюдать на склонах восточной экспозиции, где большая часть покрова усеяна лишайниковозеленомошными и лишайниковыми группами типов леса. Это

является признаком того, что в этой зоне создаются довольно суровые условия жизни для растений.

#### **1.4. Причины образования суховершинности в регионах вечной мерзлоты**

Суховершинность широко встречается в растущих на многолетнемерзлых почвах северотаежных лиственничниках. Знаком сильного дефицита влаги, порожденного особыми гидротермическими обстоятельствами, является суховершинность. Температура почвы – это главное условие, оказывающее воздействие на образование древостоев в районе многолетней мерзлоты, хоть связь водного и термического режимов является явной [9, 10, 11, 12]. Температура верхних слоев почвы, в которых расположена большая часть корневой системы, сильнее всего оказывает влияние на рост лиственницы. Эти слои обладают низкими температурами на протяжении значительной части вегетационного периода, негативное воздействие которых на деревья хорошо изучено [13, 14]. Уменьшение скорости миграции воды, ухудшение способности корней к всасыванию, затормаживание процессов разложения органических веществ и усложнение усвоения азота и других микроэлементов – все эти процессы происходят, поскольку при уменьшении температуры почвы, увеличивается вязкость воды, содержащейся в ней [14, 15, 16].

Передвижение влаги от комля к верхней части ствола осуществляется, благодаря снижению водного потенциала по мере возрастания высоты ствола [17]. На различных уровнях ствола дерева отличный друг от друга водный потенциал принимает разные значения в зависимости от эффективности работы камбия. Сила градиента водного потенциала по высоте дерева зависит от погодных условий, с которыми тесно связано количество доступной влаги из почвы. Данная зависимость также находит подтверждение в том, как устроена ксилема [18]. Также по корреляционной связи с погодными условиями отличным может быть и радиальный прирост, который различается по высоте

ствола [19]. Как итог, индексом того, что дерево подвержено «физиологической засухе», является радиальный прирост на разной высоте ствола.

## **2. Материалы и методы**

### **2.1. Сбор, предварительная датировка и измерение ширины годовичных колец и перекрестная датировка**

Сбор образцов осуществлялся по известной в дендрохронологии методике [20]. На пробных площадях, заложенных на склоне северной экспозиции, были отобраны типичные здоровые и суховершинные деревья лиственницы Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr), не имевших механических и других повреждений и сформированные под влиянием низовых пожаров. С двенадцати здоровых и суховершинных отобранных деревьев, высотой 4-5 метров, были выпилены диски у шейки корня («комель»), 1, 2, 3 и 4 метра высоты над уровнем почвы. Итого было измерено 30 спилов. Предпочтение отдавалось спилам, так как на этапе измерения, выбрав нужное направление, можно избежать факторов, которые могли препятствовать нормальному росту деревьев [20, 21].

Путем первичной зачистки верхнего слоя спила, используя для этого шлифовальную машинку, а после дополнительной обработки скальпелем от коры к центру можно добиться того, чтобы границы годовичных колец и клеточная структура были хорошо видны при увеличении в 30-60 раз под биноклем. Также был использован зубной порошок с целью увеличения контрастности путем втирания его в образец.

Далее применялась предварительная датировка (при этом учитывались исключительно видимые кольца). Были установлены даты их образования, шагая от внешнего, год образования которого был известен, к более поздним.

Используя измерительный комплекс LINTAB v5.0, а также пакет программного обеспечения TSAP Win v4.68c с точностью до 0,01 мм, были получены абсолютные хронологии, путем замера ширины следующих друг за

другом колец, применяя увеличение в 40 раз. Из компьютерного блока, сохраняющего полученные данные, а также проводящего данные предварительную обработку и переводящего в нужный формат для работы, стереомикроскопа LEICA GZ6, механического блока, который выполняет подачу спилов по линии замеров (Рис. 2.1).



Рисунок 2.1 - Измерительный комплекс

Как конечная абсолютная датировка применялся метод перекрестной датировки с целью обнаружения ложных и выпавших колец и неточностей проведенных измерений. Деревья, которые растут в одной и той же местности, на смену климата и других факторов проявляют схожий отклик по ширине годичных колец, это явление лежит в основе перекрестного датирования. Следовательно, можно наблюдать синхронность изменения радиального прироста у большинства растений, растущих в пределах однородного климатического района. На обнаружении сходства в паттерне изменчивости

радиального прироста основывается перекрестное датирование [18, 21, 22]. Расположение узких колец переносится на один или более и синхронность изменения ширины годовых колец среди хронологий, которые сравниваются друг с другом, нарушается из-за присутствия ложных и выпавших колец. Решение о максимально вероятном местоположении пропущенных и ложных колец, а также их возможном количестве принимается путем смещения сравниваемых отрезков касательно друг друга на разное количество лет, а также корреляционной и глазомерной оценки. Год датировки выпавшего кольца в большинстве случаев соответствует времени, в которое образовалось узкое кольцо у другой хронологии, а обнаружение выпадающих колец на поперечных спилах происходит более простым способом, в котором необходимо осмотреть бдительно всю площадь диска, предварительно зачистив его [18, 21, 22]. Разработанная программа COFESHA самостоятельно устанавливает место и число ложных и выпавших колец исследуемых колец [23]. На перекрывающиеся сегменты разделяются ряды ширины годовых колец, которые датируются. Степень перекрытия обладает длиной 25 лет, а сегмента в среднем 50. Все сегменты шаг за шагом сопоставляются со средней хронологией, путем определения корреляционного коэффициента, когда первое значение датируемого образца равно первому значению средней хронологии, а далее второму и далее, все тоже продельвается и со вторым сегментом, и как итог был получен ряд значений межсерийных коэффициентов корреляции для всех сегментов. После изучения этих значений можно узнать примерное расположение возможных ложных колец, что упрощает работу.

## **2.2. Построение индексированных древесно-кольцевых хронологий**

Смена условий среды обитания отражается на годовых кольцах, т.е. они выступают в роли индикатора. На формирование годовых колец может влиять множество факторов: особенности почвенных условий, разнообразные катастрофы, конкурентные взаимоотношения, а также возрастные изменения.

Отклики и сигналы этих факторов проявляются в абсолютных хронологиях. Переводя абсолютные величины прироста в относительные и выделяя внешний сигнал, содержащий синхронность ответной реакции прироста у совокупности растений, используется специальный дендрохронологический метод, который посредством стандартизации исключает или весомерно уменьшает влияние факторов [22]. Путем нормировки абсолютных величин последовательных радиальных приростов относительно их временного тренда осуществляется стандартизация по формуле:

$$I_i = \frac{R_i}{G_i} \quad (2.1)$$

где  $I_i$  - нормированная ширина (индекс) годовичного кольца, образованного в  $i$ -й календарный год;  $R_i$  – абсолютное значение ширины годовичного кольца (мм);  $G_i$  – соответствующее значение на кривой временного тренда (мм).

Для стандартизации применялась программа ARSTAN, которая переводит в индексы радиального прироста абсолютные значения ширины колец, позволяющая избавиться от тренда, выбирая вид функции. В конкретно этом исследовании от тренда  $G_i$  избавлялись, применяя функцию отрицательной экспоненты и линейную функцию.

Так для всех пробных площадей были построены индексированные древесно-кольцевые хронологии путем усреднения рассчитанных значений индексов прироста индивидуальных деревьев в пределах одной пробной площади.

### **2.3. Функции отклика индексов радиального прироста на воздействие климатических факторов**

Рассчитывая и анализируя функции отклика индексов на влияние климатических факторов, т.е. применяя эмпирический подход, как привило оценивают уровень изменчивости ширины годовичных колец, определенную



климатическими факторами. Существует два подхода построения функций отклика [22, 24]:

- анализ парных корреляций между параметрами радиального роста (шириной или индексами ширины годичных колец) и климатическими переменными;
- уравнения множественной регрессии:

$$x = \sum_i \alpha_i y_i \quad (2.2)$$

где  $x$  – нормированная ширина годичного кольца,  $y_i$  – климатические переменные,  $\alpha_i$  – коэффициенты, характеризующие связь радиального роста дерева с изменением погодных условий. Корреляция индексов радиального прироста с суммарными месячными осадками и среднемесячными температурами, взятыми с сайта <http://aisori.meteo.ru/ClimateR>, вычислялись в этой работе в период с 1 апреля по 30 сентября, поскольку в регионе Сибири в это время проходит вегетационный сезон [6].

### 3. Результаты и обсуждение

#### 3.1. Анализ динамики радиального роста деревьев лиственницы Гмелина на разной высоте стволов

##### 3.1.1. Абсолютные древесно-кольцевые хронологии

Абсолютные древесно-кольцевые хронологии приведены на рисунках 3.1 и 3.2. Статистические характеристики для абсолютных древесно-кольцевых хронологий «комля» и для 1, 2, 3 и 4 метров высоты стволов для здоровых и суховершинных деревьев приведены в табл. 3.1-3.4. Синхронность абсолютных хронологий, полученных на разных уровнях высоты стволов, подтверждают достоверные коэффициенты корреляции.

Таблица 3.1 - Коэффициенты парных корреляций ( $P \geq 0.95$ ) между абсолютными древесно-кольцевыми хронологиями здоровых деревьев (1936-2013 г. для «комля», 1, 2, 3 и 4 метров высоты стволов над поверхностью почвы)

Пара высот, м	0-1	0-2	0-3	0-4
Коэффициент корреляции	0,82	0,81	0,82	0,78

Таблица 3.2 - Коэффициенты парных корреляций ( $P \geq 0.95$ ) между абсолютными древесно-кольцевыми хронологиями суховершинных деревьев (1936-2013 г. для «комля», 1, 2, 3 и 4 метров высоты стволов над поверхностью почвы)

Пара высот, м	0-1	0-2	0-3	0-4
Коэффициент корреляции	0,83	0,80	0,82	0,86

Из таблицы 3.1 и 3.2 следует, что радиальный рост стволовой древесины лиственницы Гмелина на пробной площади, отличается высокой синхронностью. Также наблюдается тенденция на снижение коэффициента корреляции верхней части дерева (4-й уровень) с нижними (нулевыми) у здоровых образцов.

Судя по коэффициентам чувствительности (табл. 3.3 и 3.4), «чувствительность» радиального прироста к изменению климатических факторов самая высокая на высоте комля и 4 метров. Также наблюдается явное снижение ШГК с высотой, относительно нулевого уровня (у комля).

Таблица 3.3 - Статистические данные здоровых деревьев по абсолютным хронологиям

Высота, м	комель	1	2	3	4
Возраст древостоя, лет	111	104	97	88	82
Средняя ширина годичных колец, мм	0,35	0,27	0,26	0,24	0,21
Коэффициент чувствительности	0,295	0,276	0,260	0,256	0,274

Таблица 3.4 - Статистические данные суховершинных деревьев по абсолютным хронологиям

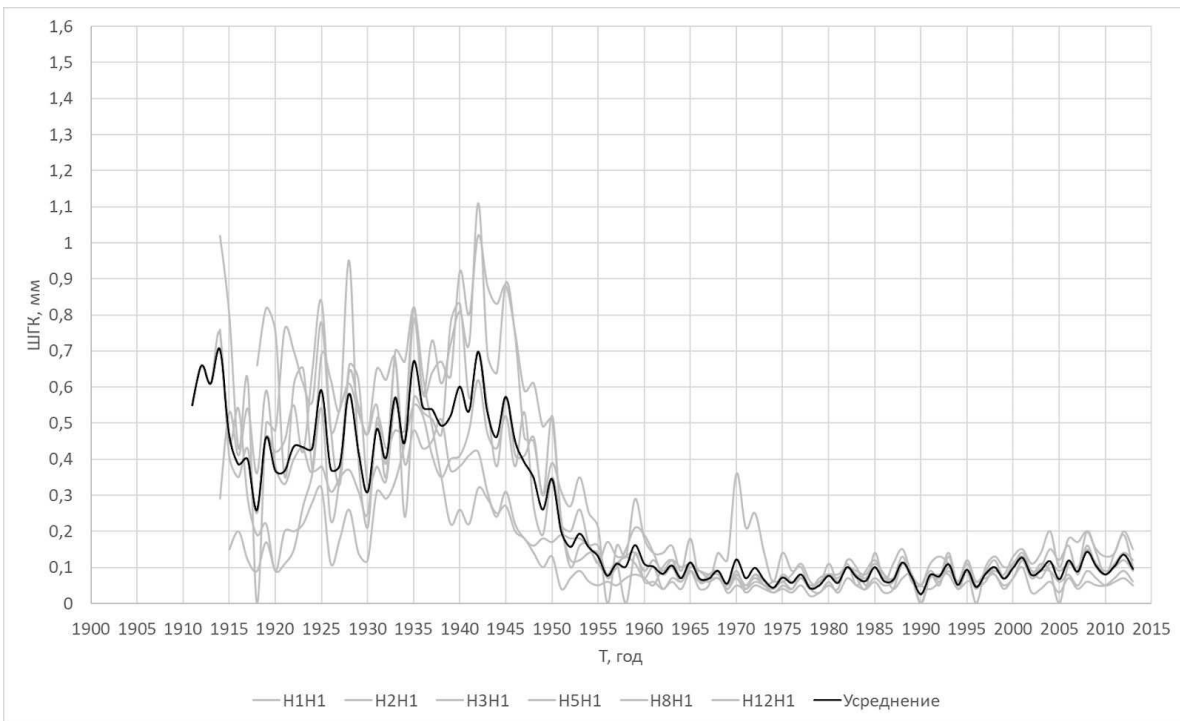
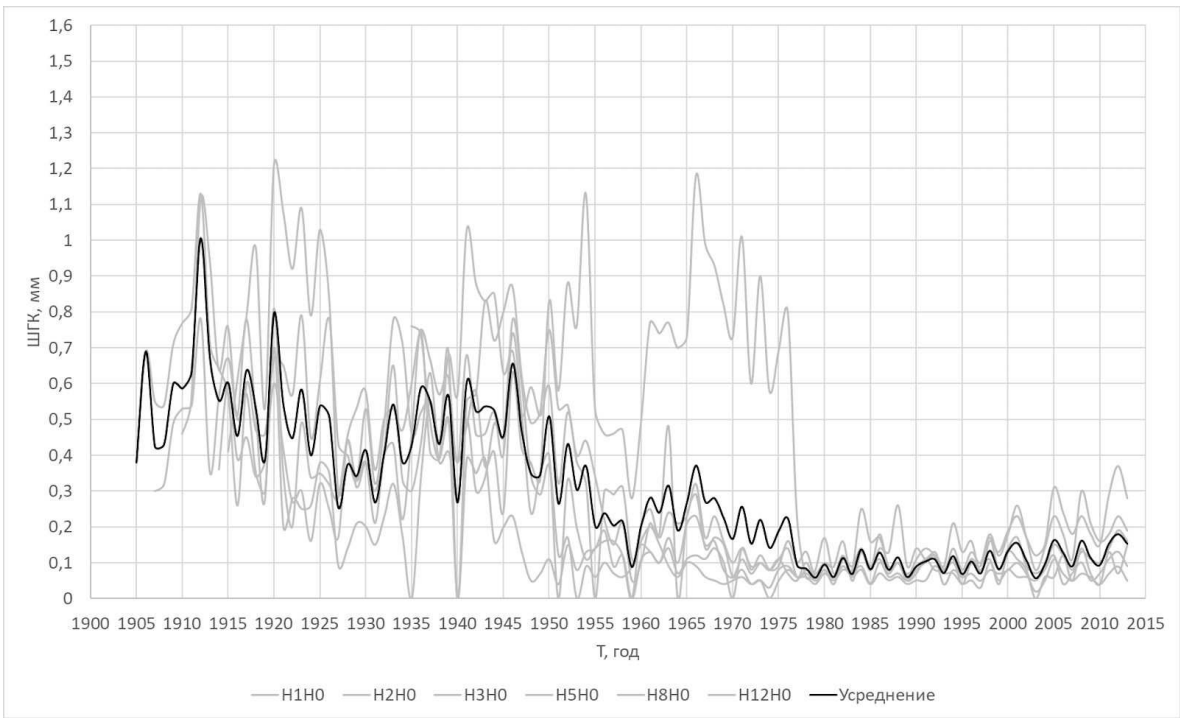
Высота, м	комель	1	2	3	4
Возраст древостоя, лет	109	103	93	81	71
Средняя ширина годичных колец, мм	0,31	0,24	0,26	0,26	0,13
Коэффициент чувствительности	0,350	0,298	0,335	0,293	0,352

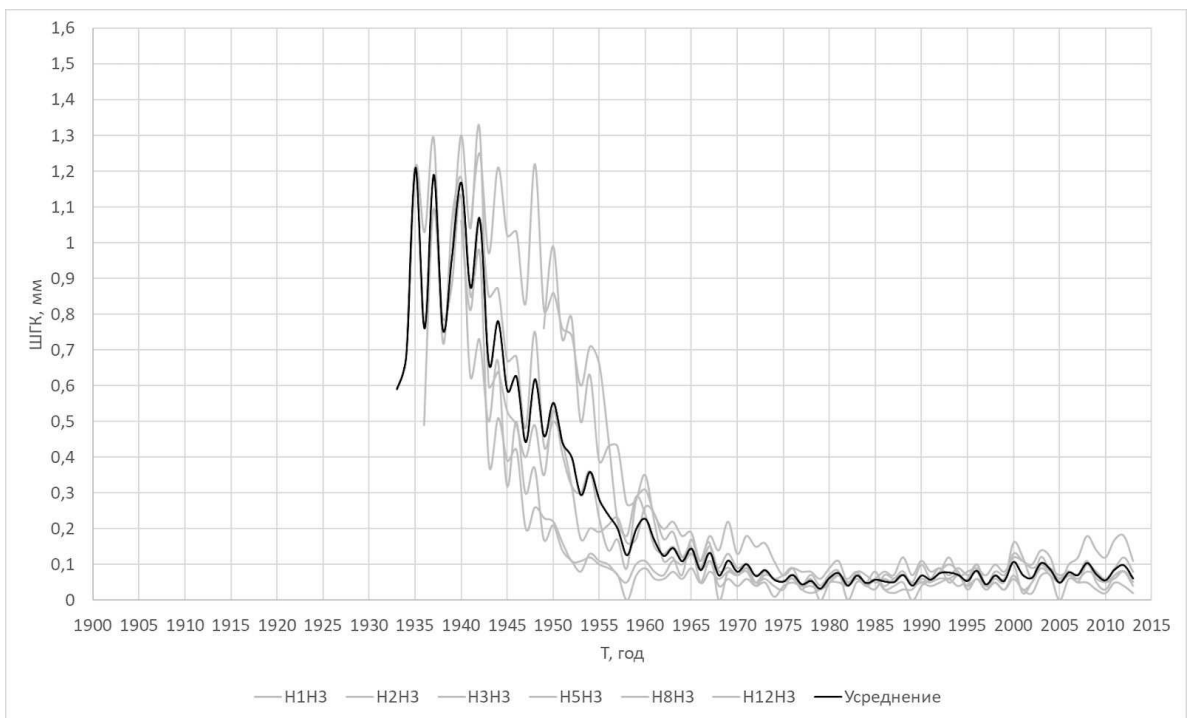
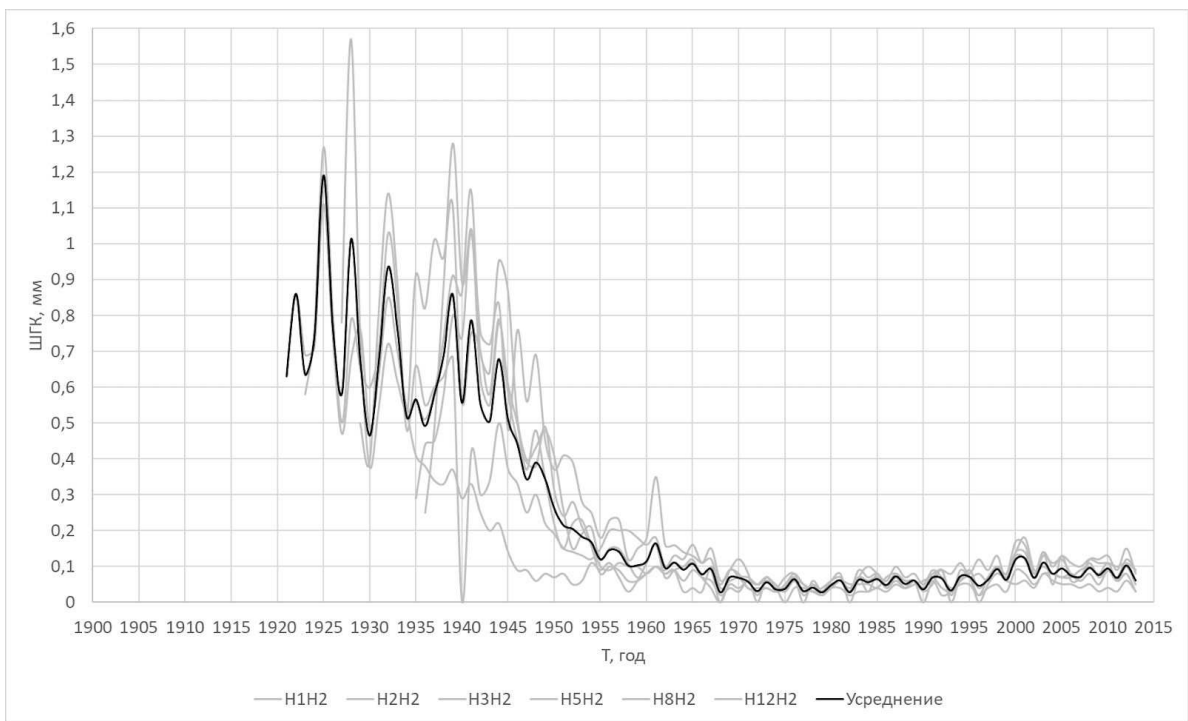
Таблица 3.5 - Данные средней ширины заболони, ствола и их отношение здоровых и суховершинных деревьев на уровне комля, 1, 2, 3 и 4 метров.

Высота ствола, м	0	1	2	3	4
Средний радиус заболони здоровых деревьев, мм	8,4	5,8	5,0	4,8	3,8
Средний радиус заболони суховершинных деревьев, мм	3,7	2,2	1,7	1,5	1,3
Средний радиус ствола здоровых деревьев, мм	38,8	27,8	25,7	21,4	17,4
Средний радиус ствола суховершинных деревьев, мм	33,4	24,9	24,2	20,7	13,3
Отношение радиуса заболони к радиусу ствола здоровых деревьев	0,22	0,21	0,19	0,22	0,22
Отношение радиуса заболони к радиусу ствола суховершинных деревьев	0,11	0,09	0,07	0,07	0,09

Из таблицы 3.5 видно, что ширина заболони и её отношение к общей ширине ствола суховершинных деревьев меньше, чем у здоровых. Также можно отметить одинаковое отношение на всех уровнях здоровых деревьев, что нельзя сказать о суховершинных, у которых его значение уменьшалось по мере высоты.

Графики стандартизированных древесно-кольцевых хронологий по высоте приведены на рисунках 3.1 и 3.2.





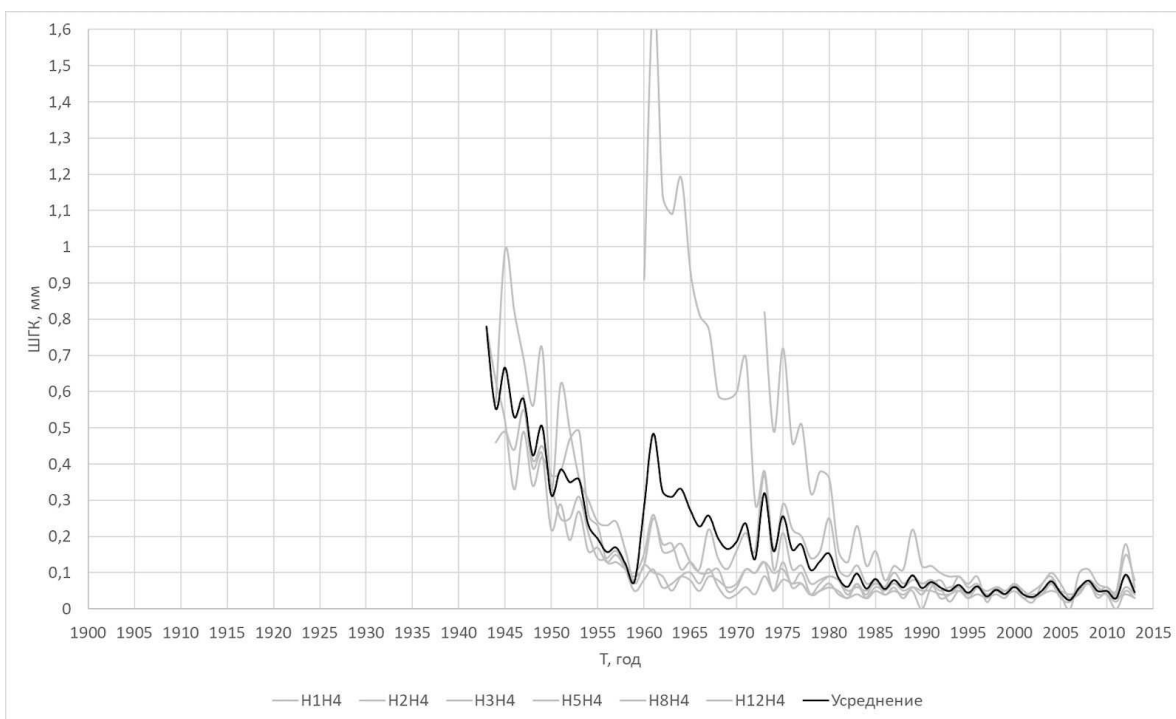
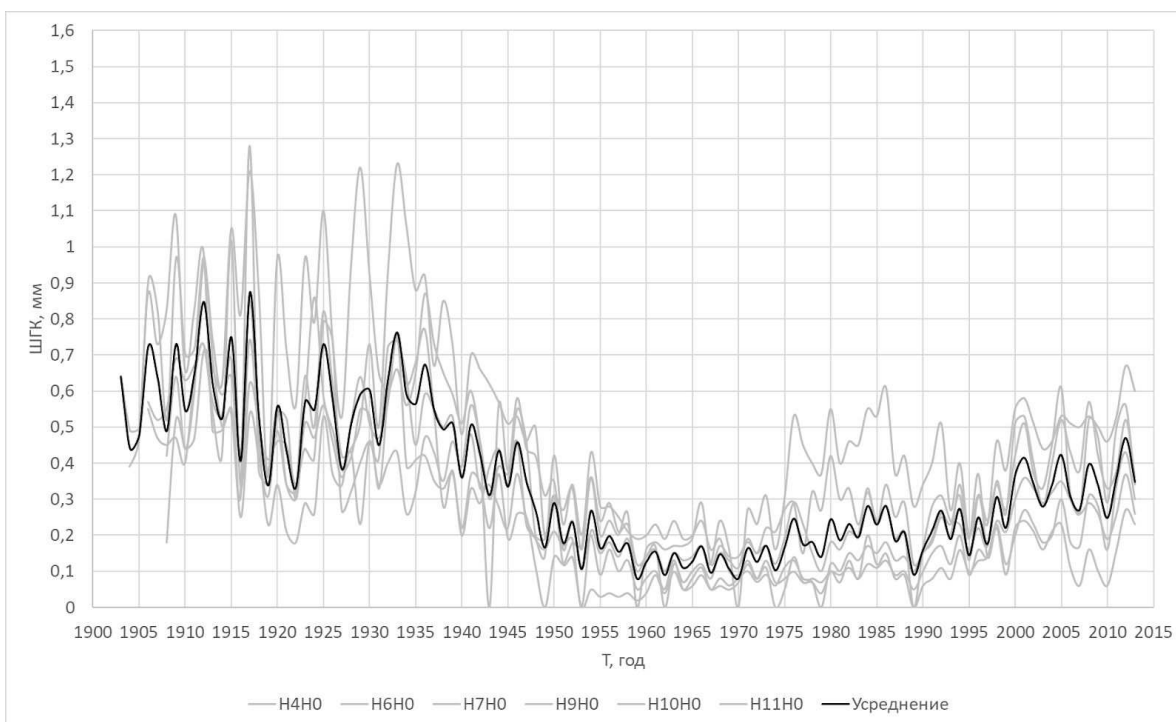
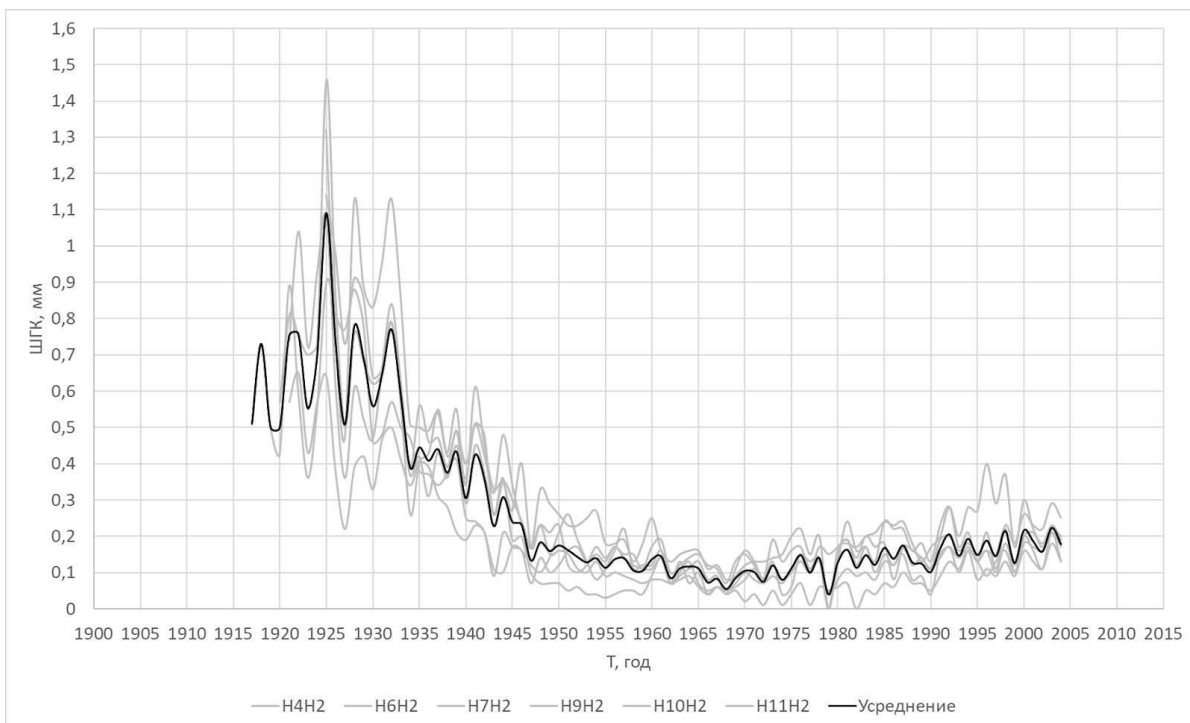
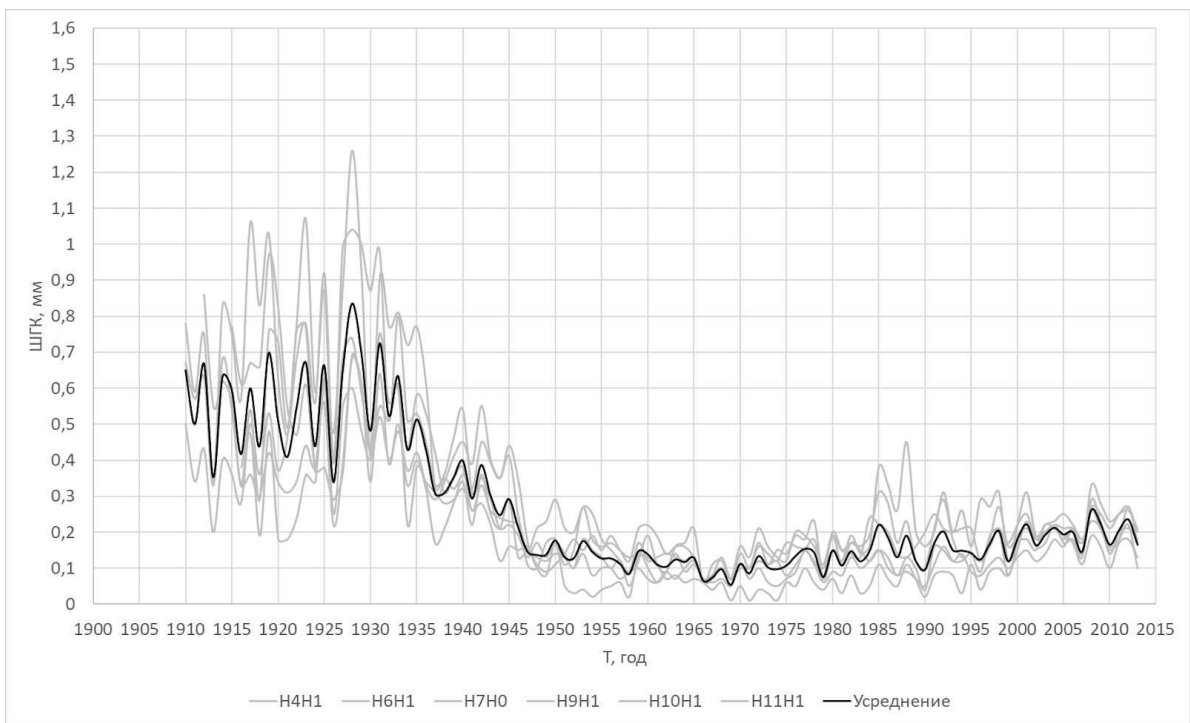


Рисунок 3.1 - Ширина годичных колец (ШГК) суховершинных деревьев на уроне комля, на 1, 2, 3 и 4 метра по высоте ствола у деревьев лиственницы Гмелина (черной линией обозначена средняя по деревьям древесно-кольцевая хронология, серыми линиями – хронологии для отдельных деревьев)







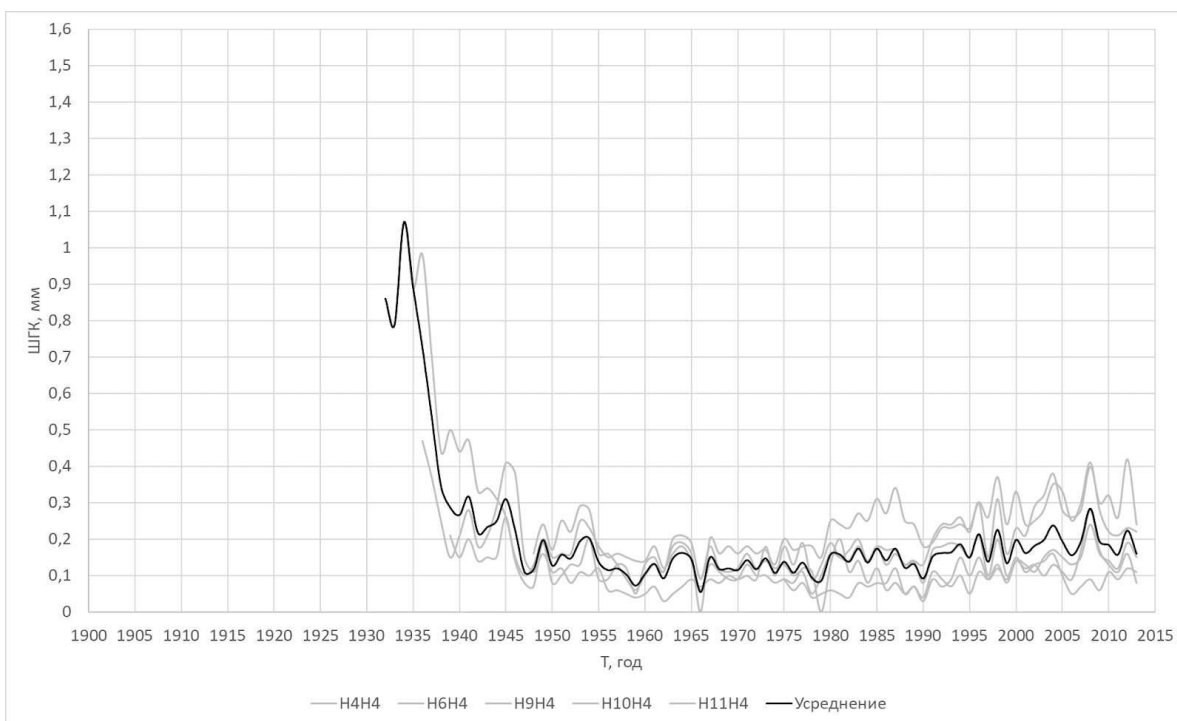
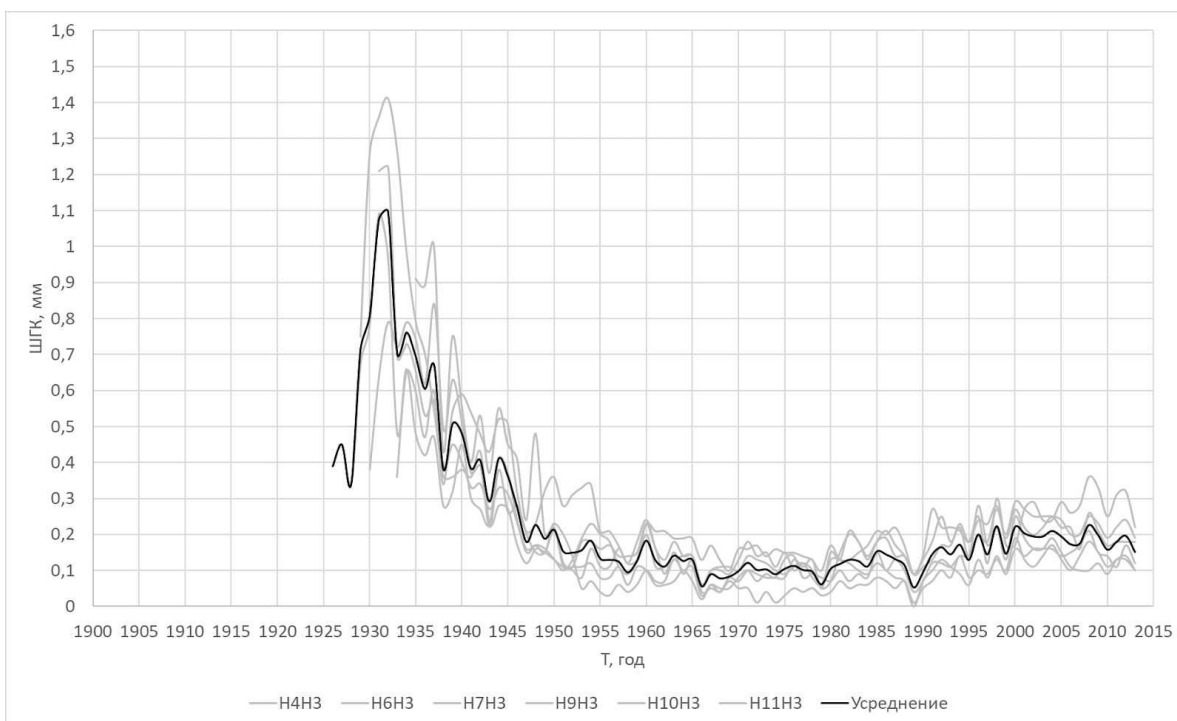
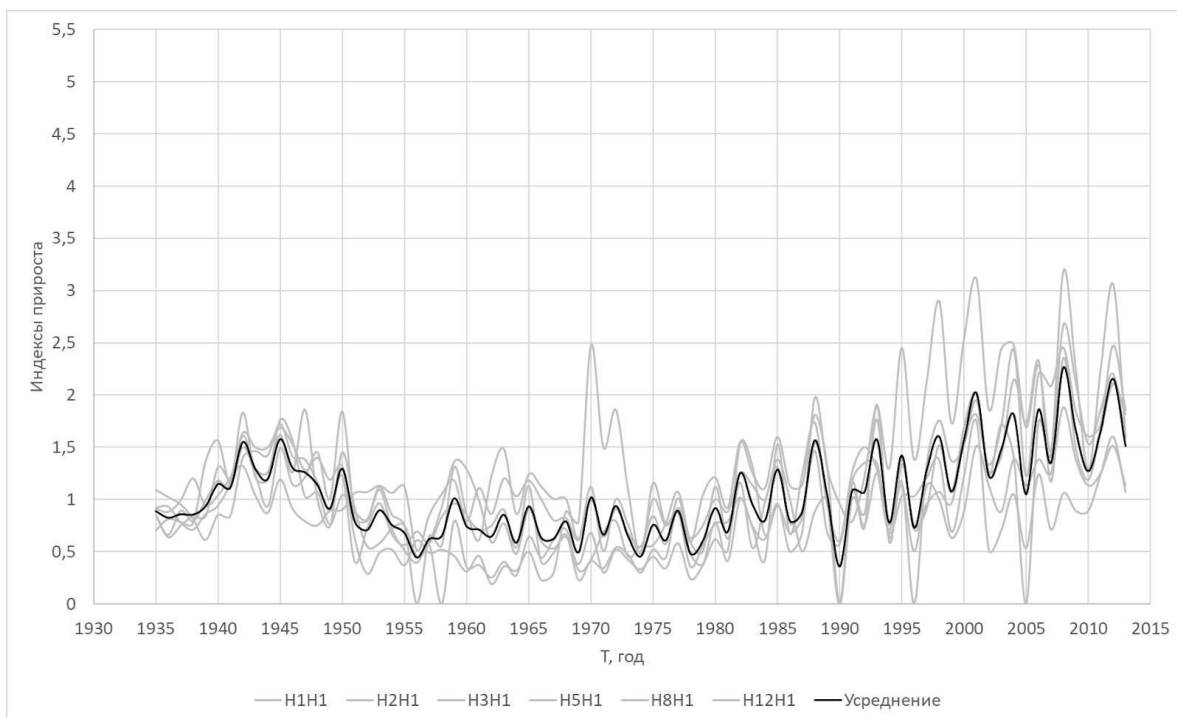
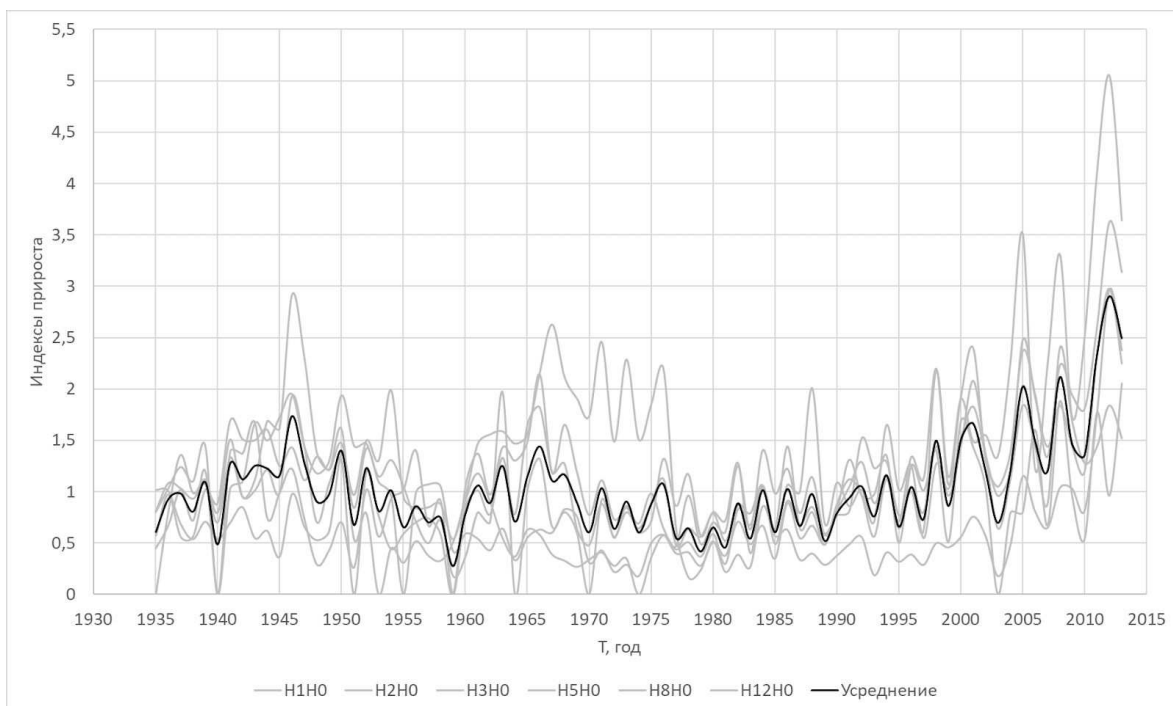
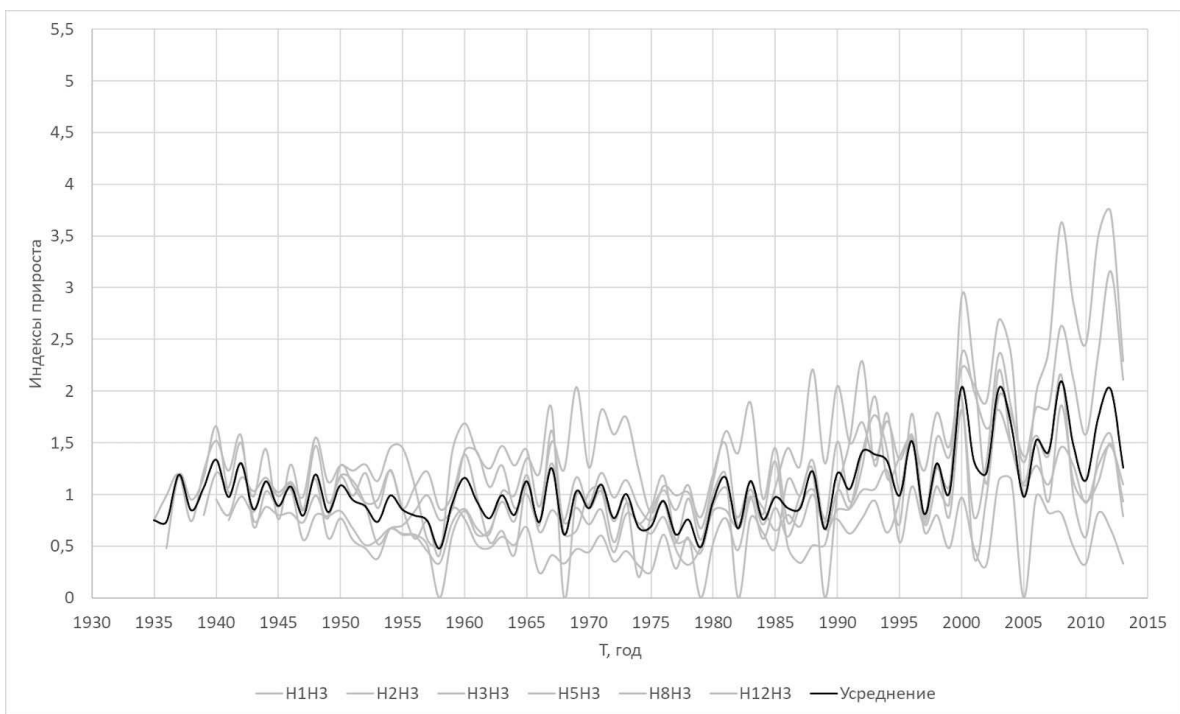
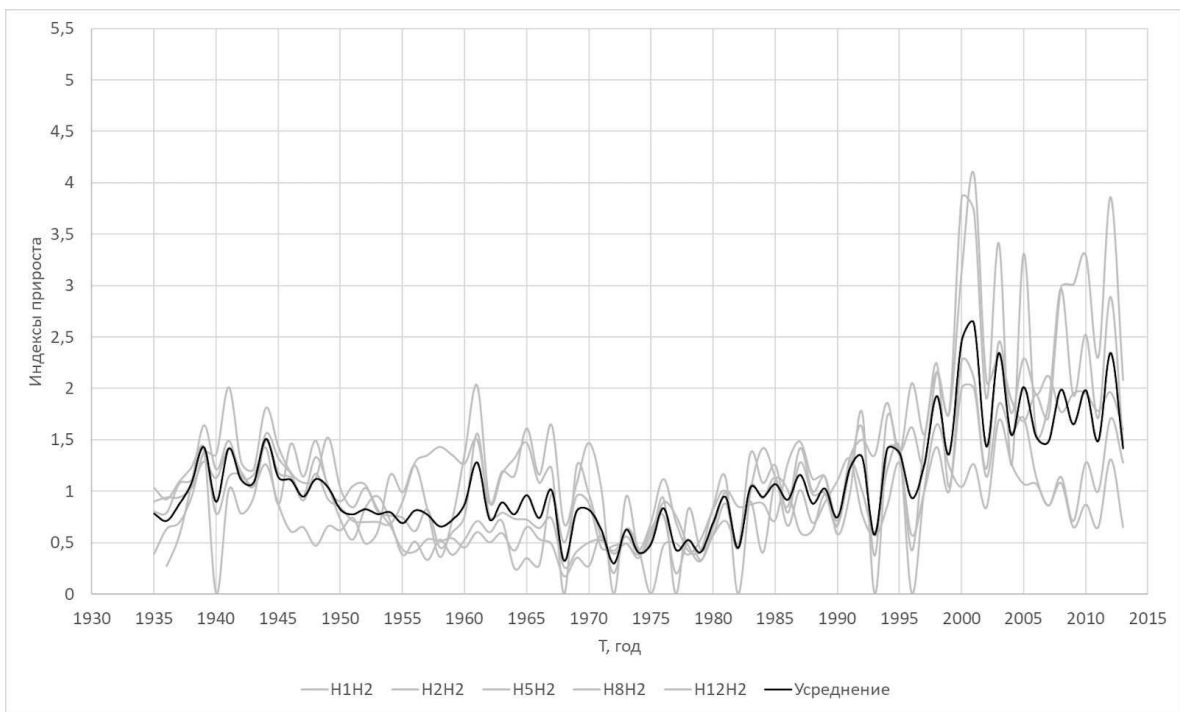


Рисунок 3.2 - Ширина годичных колец (ШГК) здоровых деревьев на уроне комля, на 1, 2, 3 и 4 метра по высоте ствола у деревьев лиственницы Гмелина (черной линией обозначена средняя по деревьям древесно-кольцевая хронология, серыми линиями – хронологии для отдельных деревьев)

### 3.1.2. Стандартизированные древесно-кольцевые хронологии

Графики стандартизированных древесно-кольцевых хронологий по высоте приведены на рисунках 3.3, 3.4, 3.3.1 и 3.4.1.





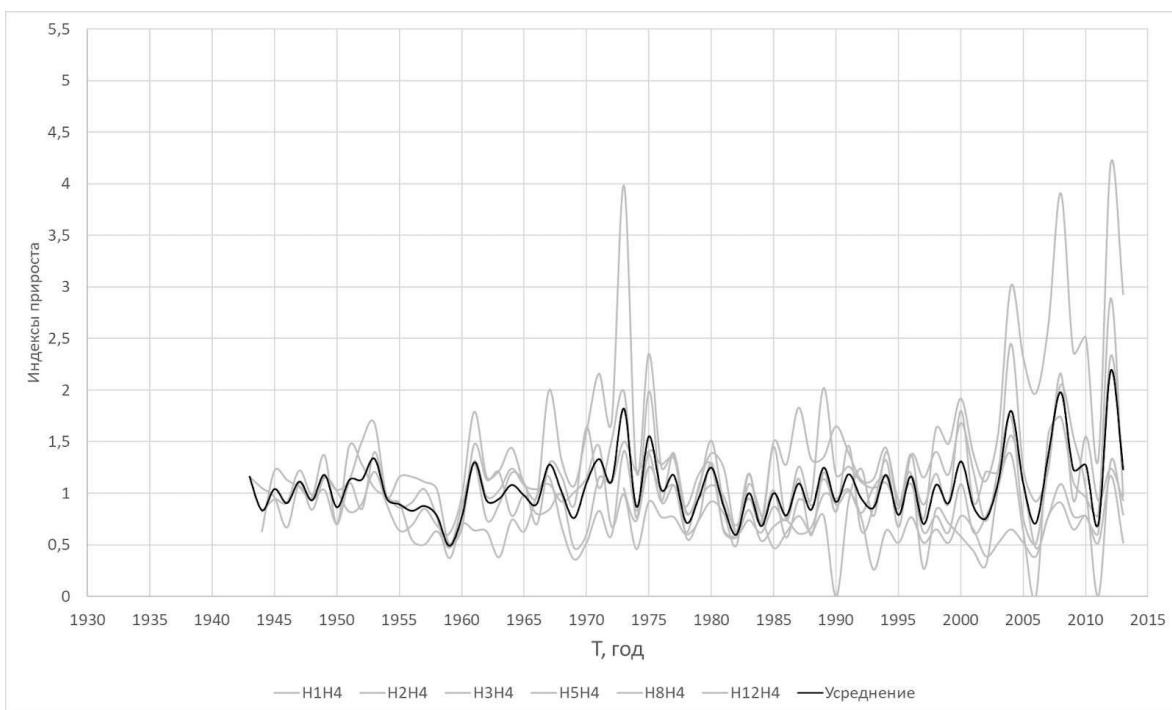


Рисунок 3.3 - Стандартизированные древесно-кольцевые хронологии у комля, на 1, 2, 3 и 4 метров высоты ствола суховершинных деревьев лиственницы Гмелина

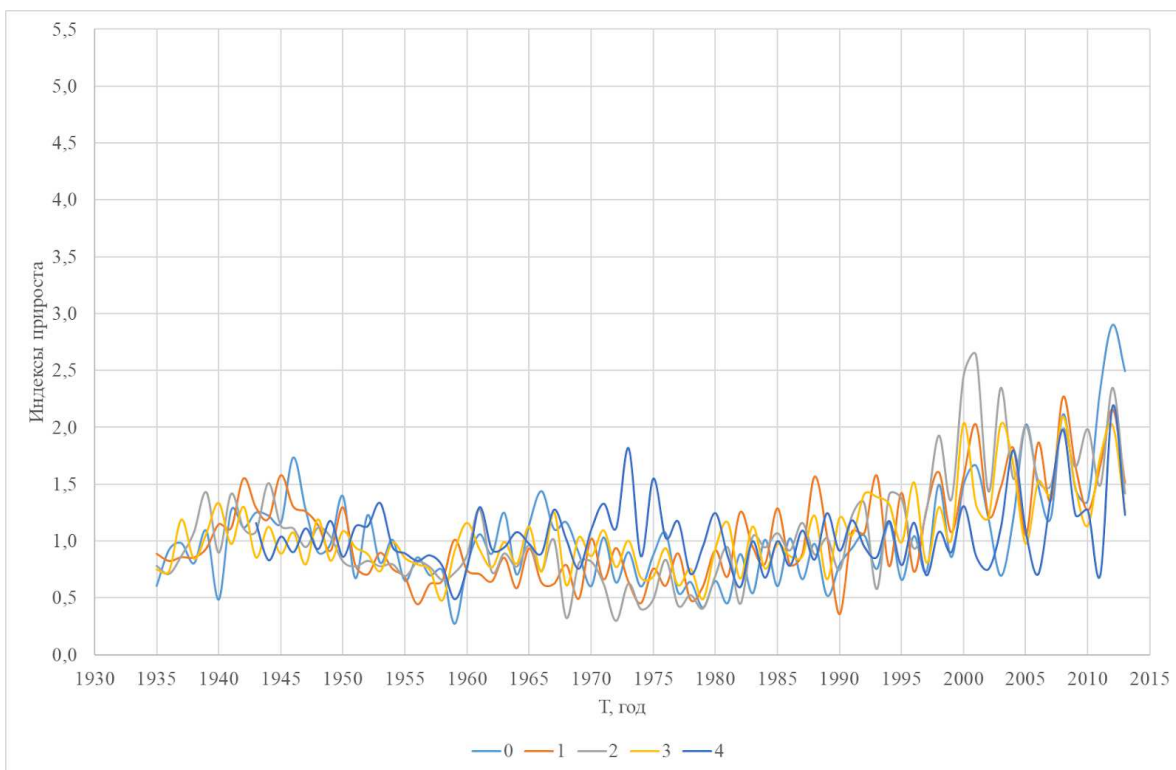
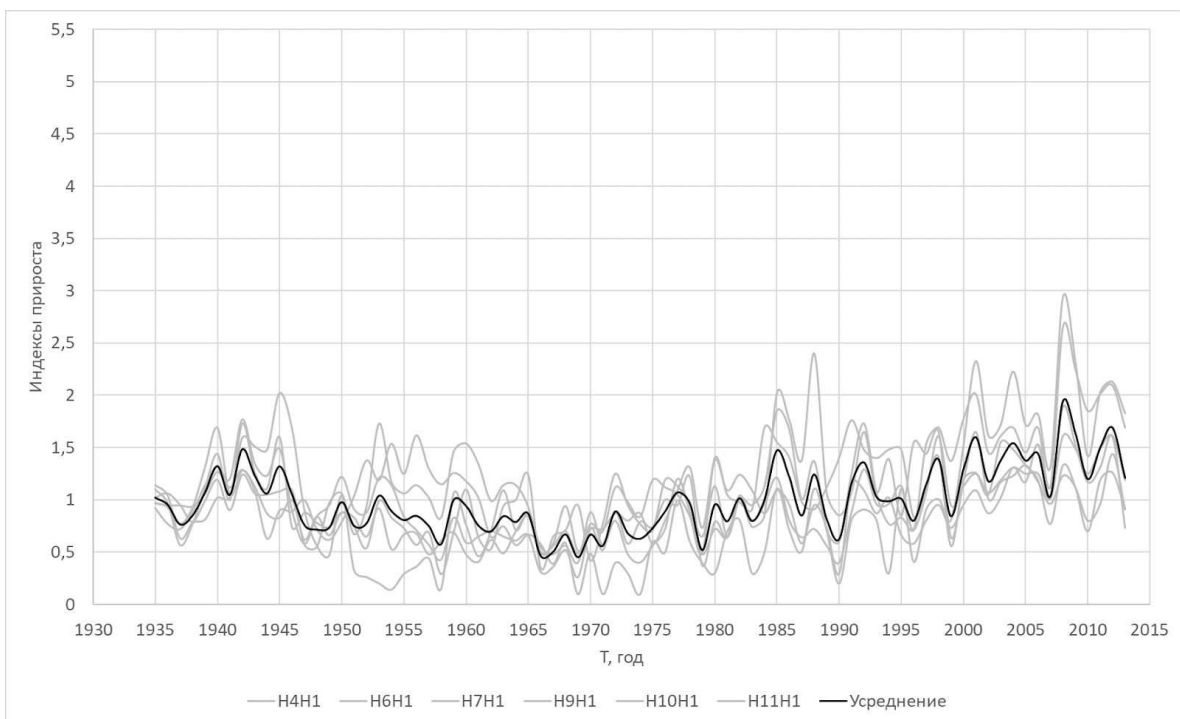
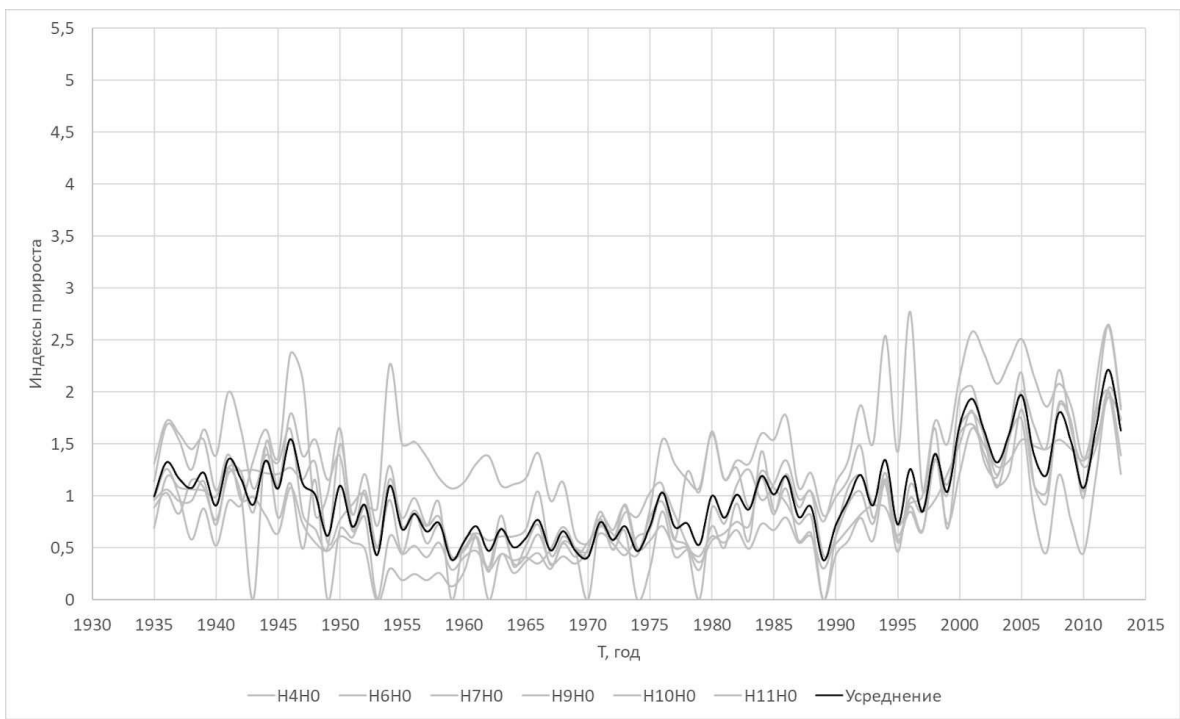
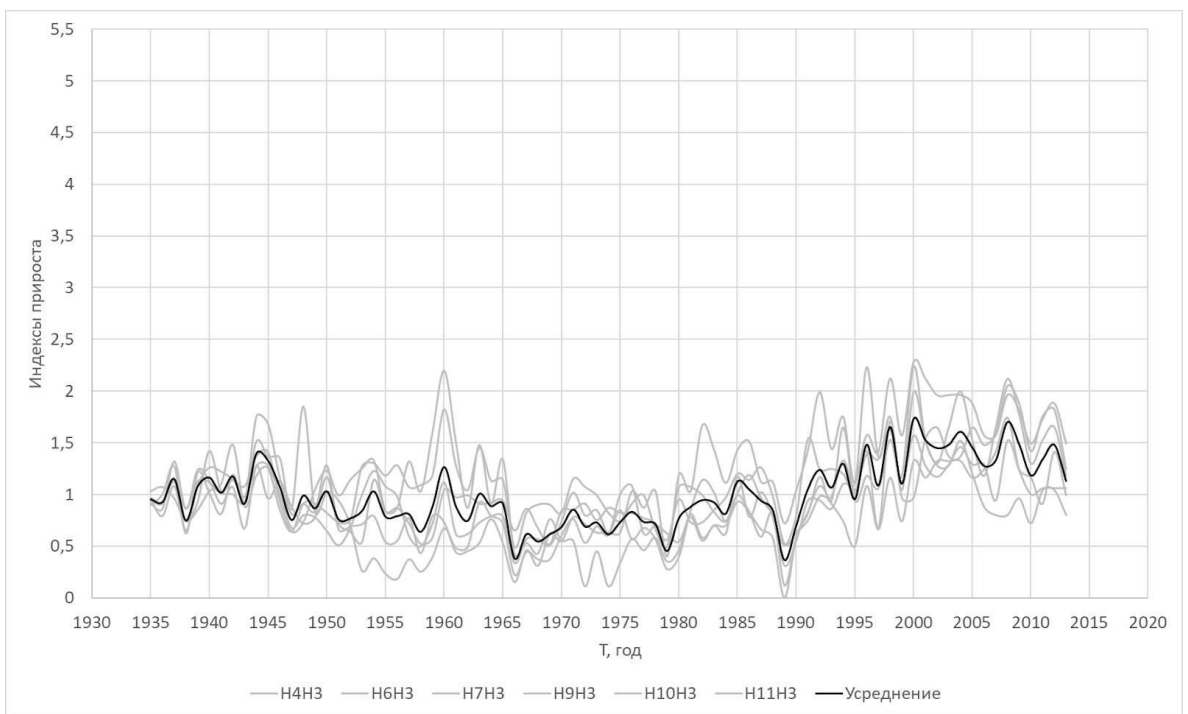
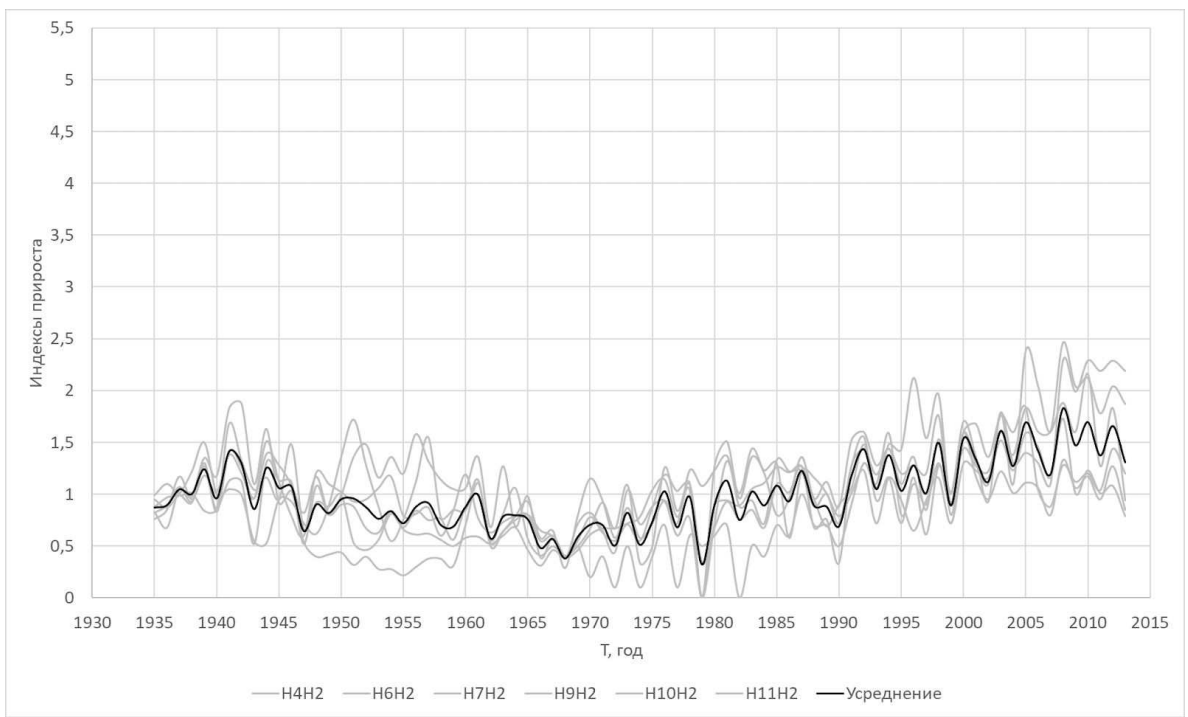


Рисунок 3.3.1 - Усредненные стандартизированные древесно-кольцевые хронологии у комля, на 1, 2, 3 и 4 метров высоты ствола суховершинных деревьев лиственницы Гмелина





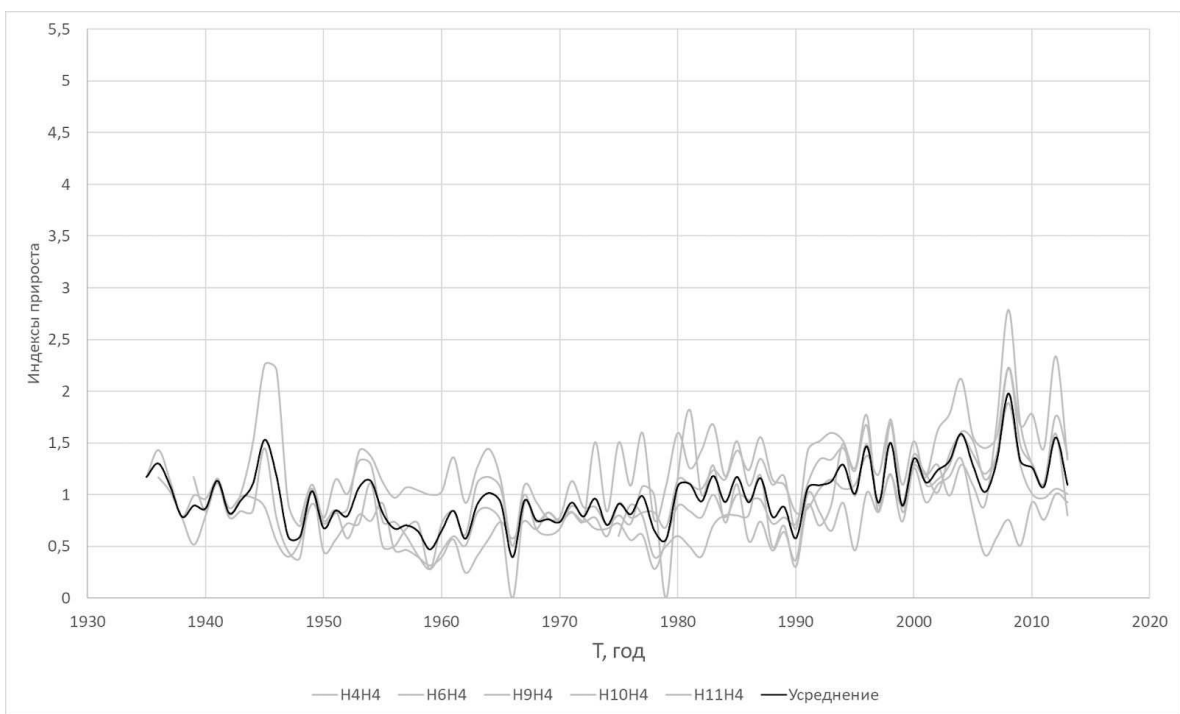


Рисунок 3.4 - Стандартизированные древесно-кольцевые хронологии у комля, на 1, 2, 3 и 4 метров высоты ствола здоровых деревьев лиственницы Гмелина

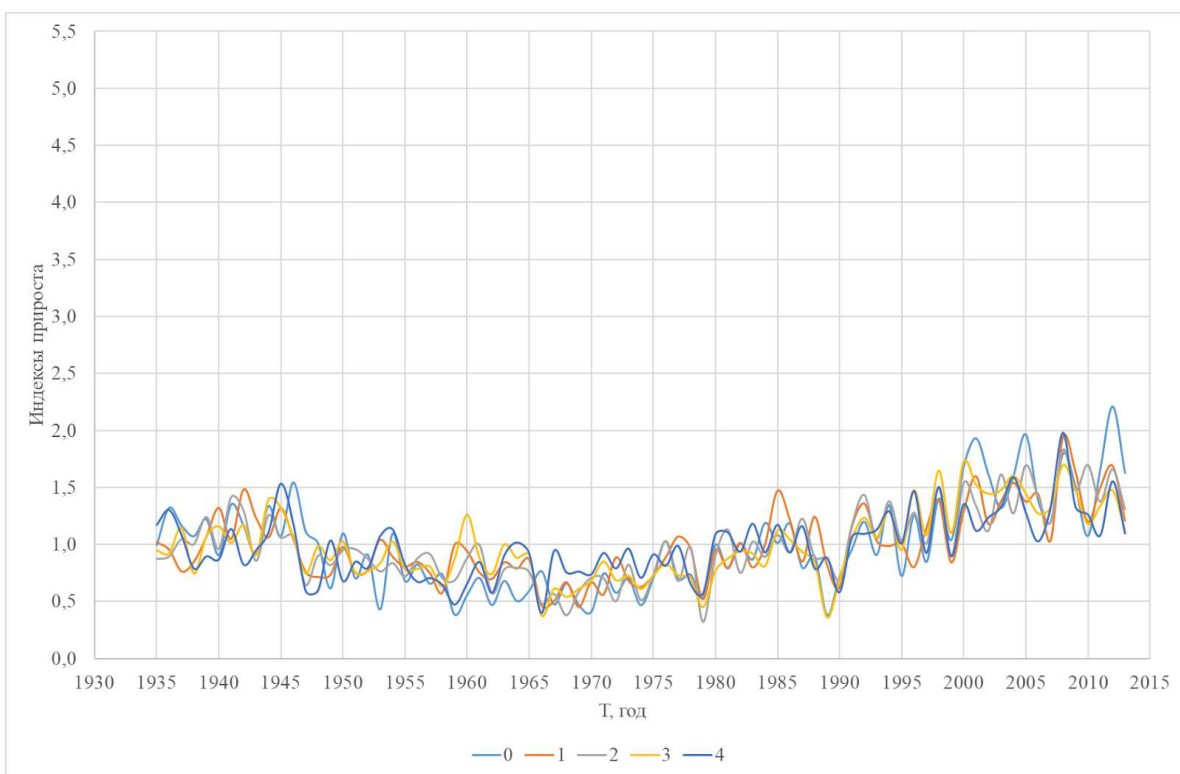


Рисунок 3.4.1 - Усредненные стандартизированные древесно-кольцевые хронологии у комля, на 1, 2, 3 и 4 метров высоты ствола здоровых деревьев лиственницы Гмелина

Таблица 3.6 - Коэффициенты парных корреляций ( $P \geq 0.95$ ) между стандартизированными древесно-кольцевыми хронологиями здоровых и суховершинных деревьев (1936-2013 г. для «комля», 1, 2, 3 и 4 метров высоты стволов над поверхностью почвы).

Высота ствола, м	0	1	2	3	4
Коэффициент корреляции	0,79	0,85	0,85	0,78	0,54

Из таблицы 3.6 следует, что радиальный прирост древесины лиственницы Гмелина на пробной площади между здоровыми и суховершинными деревьями отличается высокой синхронностью на всех уровнях ствола, за исключением самого верхнего (4 метров).

### 3.1.3. Корреляционные климатические функции отклика индексов радиального прироста на разной высоте ствола у деревьев лиственницы Гмелина

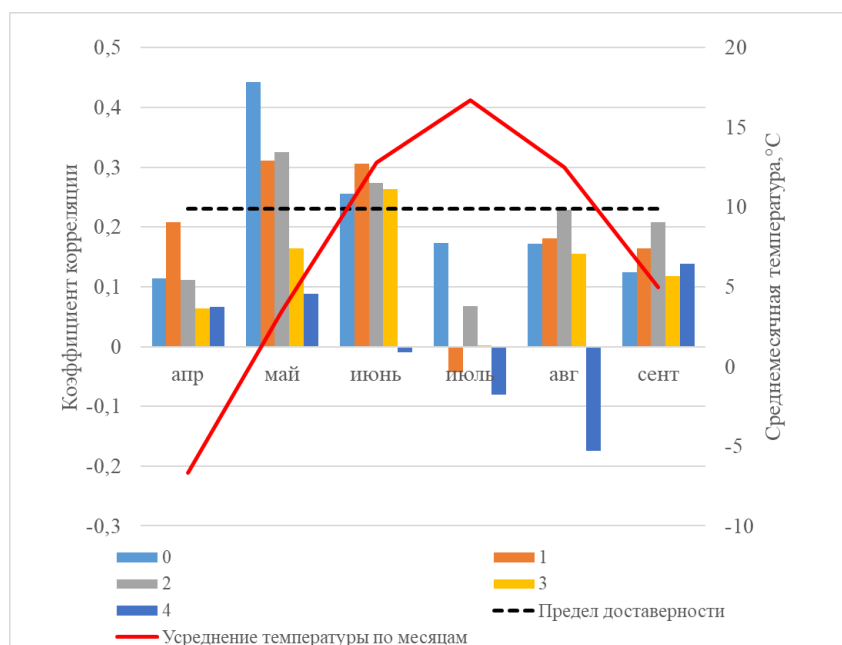




Рисунок 3.5 - Корреляционные климатические функции отклика индексов радиального прироста суховершинных деревьев на уровнях комель, 1, 2, 3 и 4 метра на температуру воздуха – среднемноголетние значения среднемесячной температуры

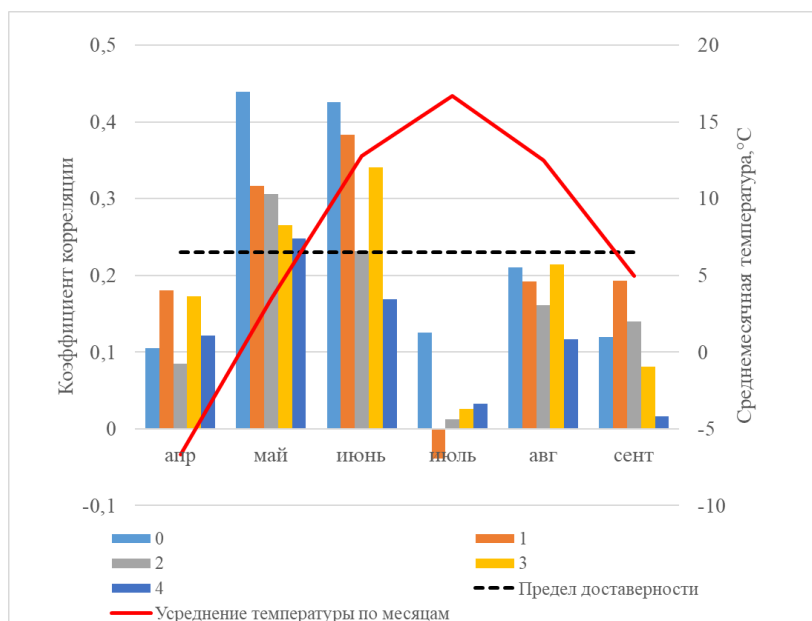


Рисунок 3.6 - Корреляционные климатические функции отклика индексов радиального прироста здоровых деревьев на уровнях комель, 1, 2, 3 и 4 метра на температуру воздуха – среднемноголетние значения среднемесячной температуры

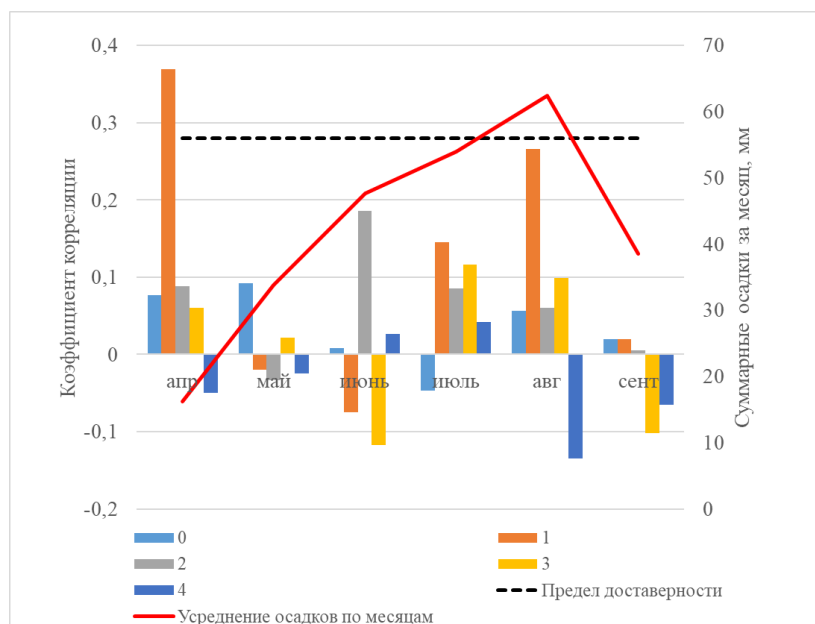


Рисунок 3.7 - Корреляционные климатические функции отклика индексов радиального прироста суховершинных деревьев на уровнях комель, 1, 2, 3 и 4 метра на количество осадков – среднемноголетние значения среднемесячных осадков

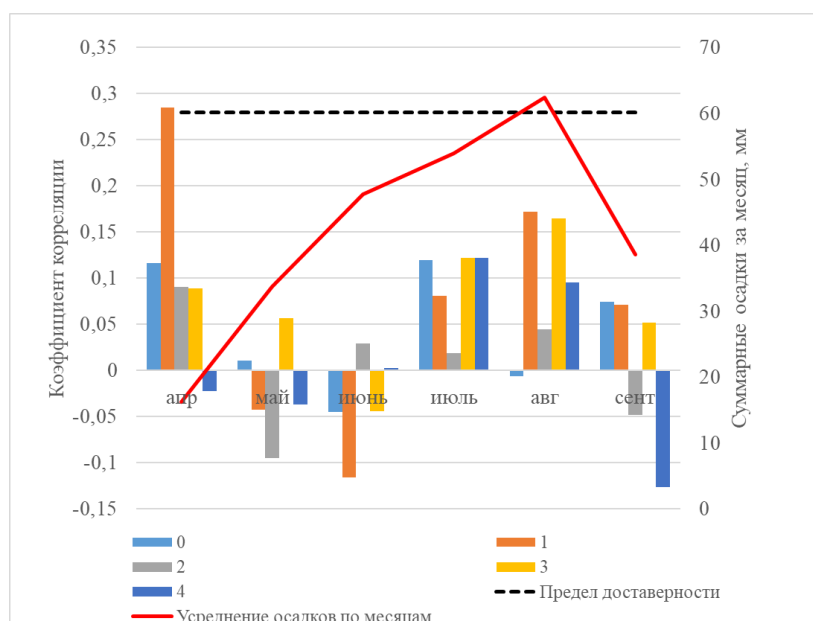


Рисунок 3.8 - Корреляционные климатические функции отклика индексов радиального прироста здоровых деревьев на уровнях комель, 1, 2, 3 и 4 метра на количество осадков – среднемноголетние значения среднемесячных осадков

В период мая среди обеих групп деревьев наибольший положительный отклик на температуру воздуха показывают высоты комель, 1 и 2 метра, все значения корреляции располагаются выше предела достоверности. Также в этот период положительную корреляцию дают высоты 3 и 4 метра у здоровых образцов.

В период июня все высоты за исключением 4 метров показывают положительные значения корреляции, расположенные выше предела достоверности или на грани.

Чувствительность к влиянию осадков на суховершинные и здоровые деревья удалось выявить только для 1 метра в период апреля, где значения корреляции располагаются выше предела достоверности или на грани.

По среднемесячным данным можно сказать, что наибольшую зависимость радиального прироста от погодных условий демонстрируют здоровые деревья, так как высоты данных образцов обладают большими положительными значениями корреляции радиального прироста от температуры, чем суховершинные.

### 3.1.4. Скользящие корреляционные климатические функции отклика индексов радиального прироста

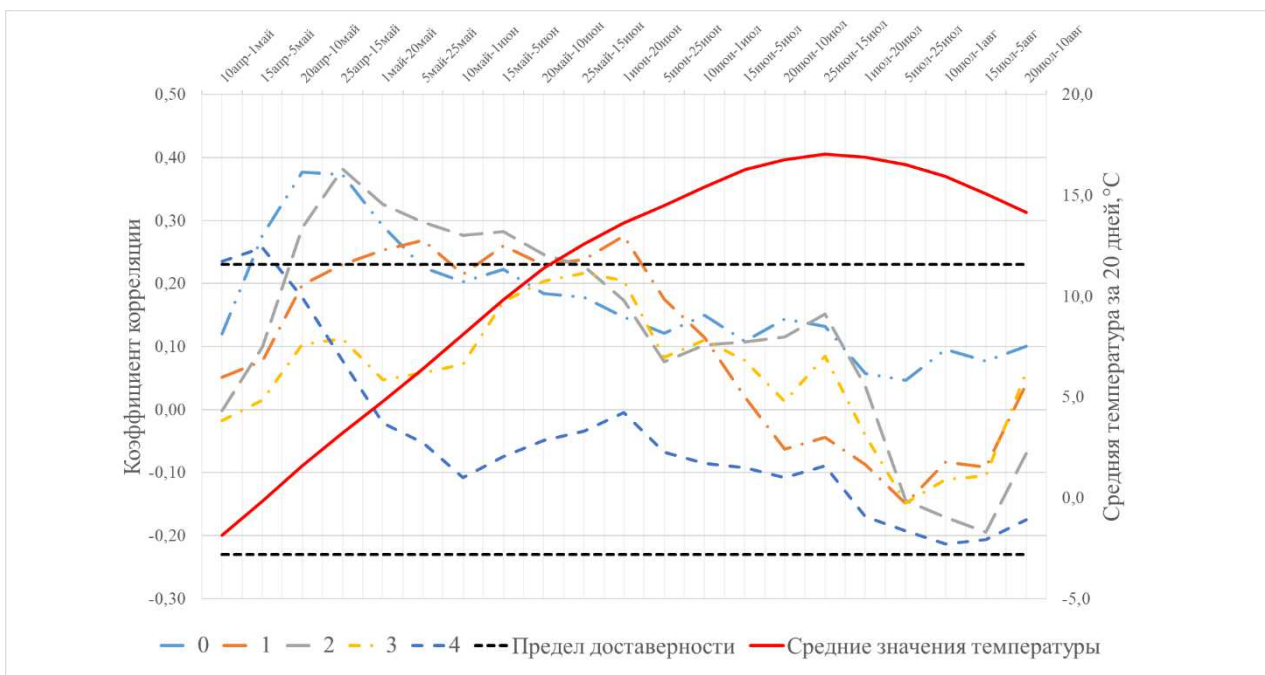


Рисунок 3.9 - Скользящие корреляционные функции отклика индексов радиального прироста на изменения температуры суховершинных деревьев

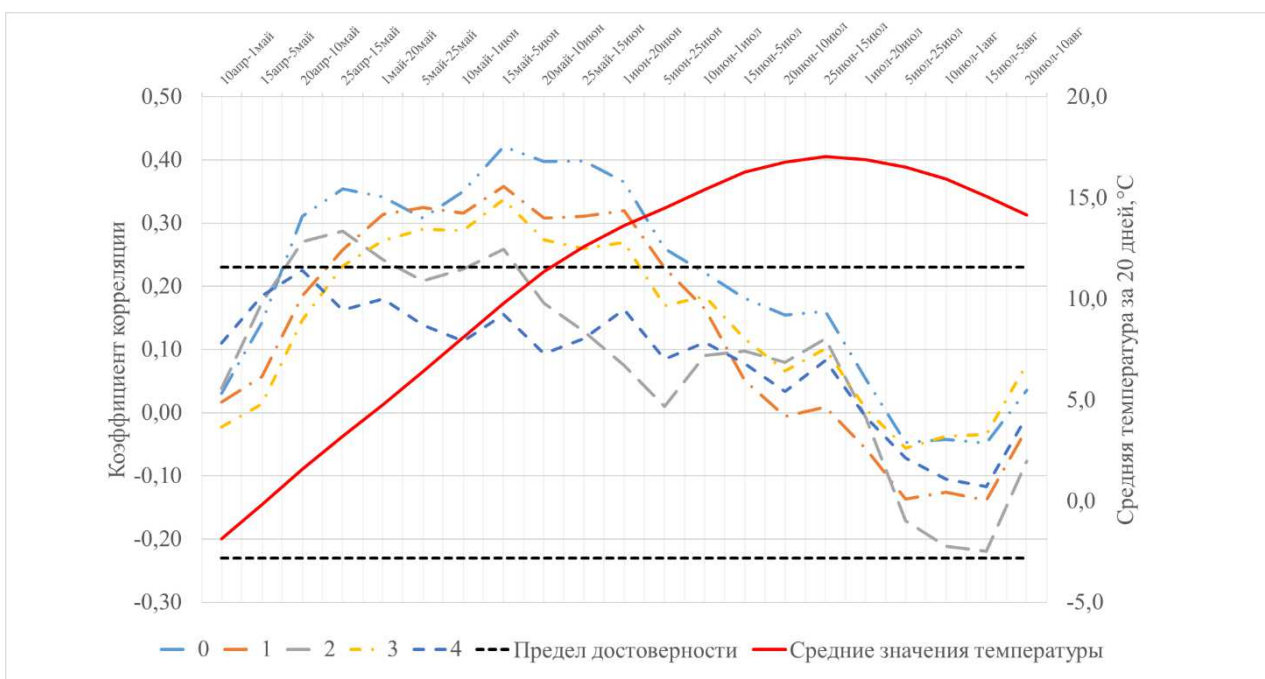


Рисунок 3.10 - Скользящие корреляционные функции отклика индексов радиального прироста на изменения температуры здоровых деревьев

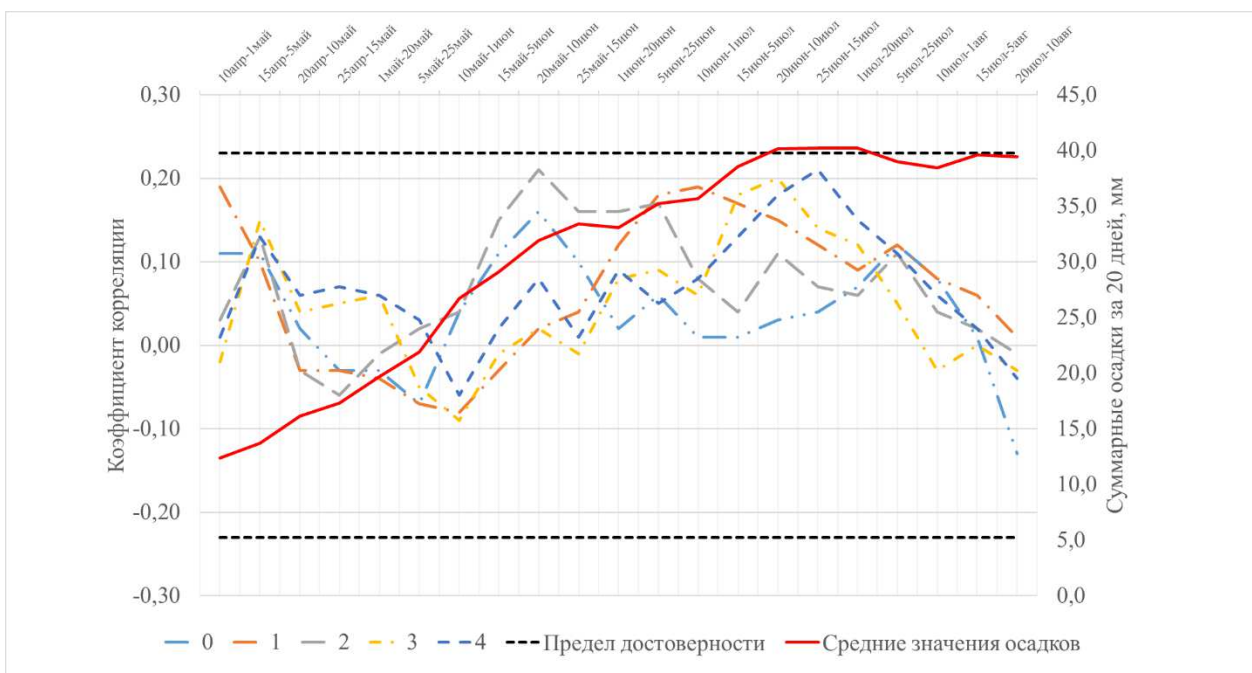


Рисунок 3.11 - Скользящие корреляционные функции отклика индексов радиального прироста на изменения суммы месячных осадков суховершинных деревьев

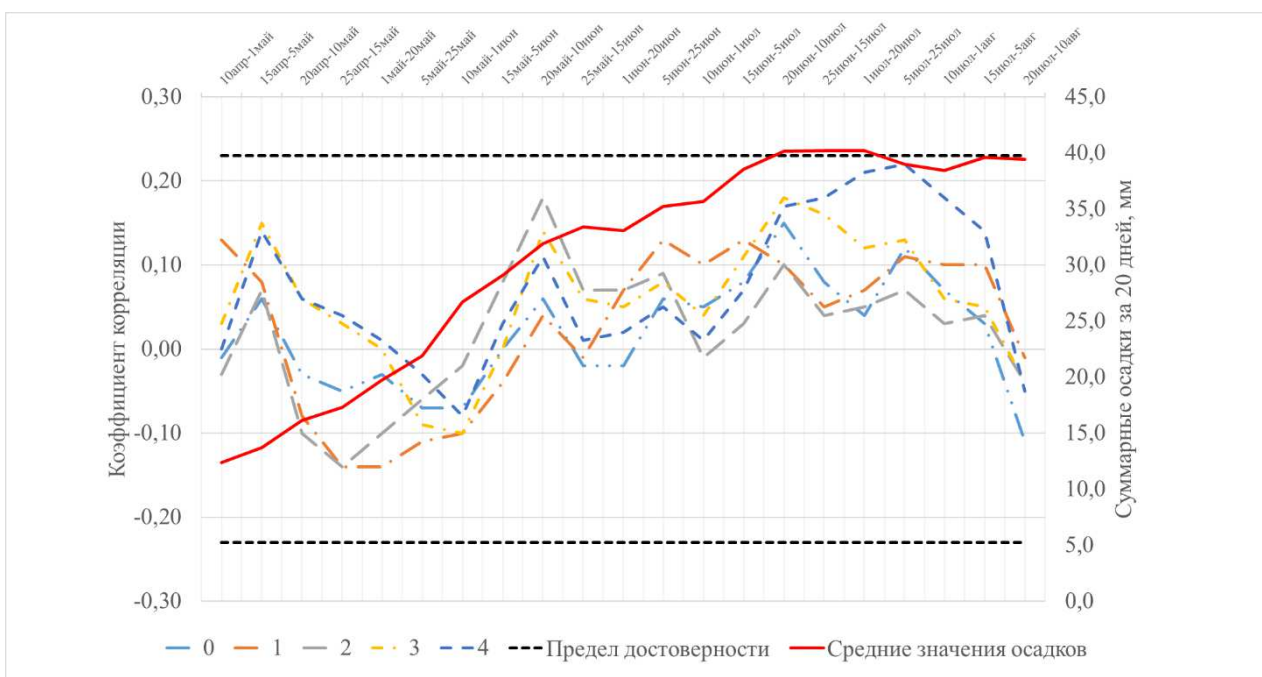


Рисунок 3.12 - Скользящие корреляционные функции отклика индексов радиального прироста на изменения суммы месячных осадков суховершинных деревьев

Для суховершинных деревьев на разных уровнях высоты выделяется несколько периодов положительной корреляции температуры с шириной годичных колец: для комля период длился с 15 апреля по 25 мая; для 1 метра с

25 апреля по 20 июня; для 2 метров с 20 апреля по 15 июня; для 4 метров с 10 апреля по 5 мая. На высоте 3 метров все значения корреляции находятся ниже предела достоверности.

Для здоровых деревьев также выделяются несколько периодов положительной корреляции температуры с радиальным приростом на разных высотах: для комля с 20 апреля по 25 июня; для 1 метра с 25 апреля по 25 июня; для 2 метров с 20 апреля с 5 июня; для 3 метров с 25 апреля по 20 июня. В период с 20 апреля по 10 мая самая верхняя часть ствола дерева (4 м) также коррелирует с температурой, но очень слабо, на пределе достоверности.

Начало сезона радиального роста лиственницы Гмелина в данном районе приходится на первые числа июня, а его конец на последние числа августа [14]. Полученные результаты для здоровых и суховершинных деревьев хорошо согласуются с этими данными, поэтому можно сказать, что ширина годичного кольца у обоих видов деревьев напрямую зависит от температуры воздуха в период с апреля по июнь.

### **3.2. Обсуждение результатов**

По абсолютным хронологиям видно, что, начиная с 1966 по 2013 годы, присутствует тренд на увеличение радиального прироста всех частей ствола, особенно сильно это выражено для комля, тенденция на увеличение среднемесячной температуры воздуха также наблюдается в этот период.

Во время интенсивного роста, в период с мая по июнь, чувствительность радиального прироста всего ствола здоровых деревьев к воздействию температуры воздуха показывает высокие значения. Наиболее высокой чувствительностью характеризуются высоты: комель, 1, 2 и 3 метра. Для суховершинных деревьев высокую чувствительность показали высоты комель, 1 и 2 метра.

Корреляционная связь с осадками радиального прироста всех частей ствола здоровых деревьев отсутствует, за исключением высоты 1 метра, где

значение корреляции располагается на грани предела достоверности. У суховершинных деревьев высокую чувствительность радиального прироста к осадкам также показала только высота 1 метр. Это может трактовать как то, что осадки не ограничивают их радиальный рост, либо среднемесячные данные по осадкам не могут достоверно отразить влияние этого фактора на прирост, так как это слишком грубое «усреднение» для короткого (двухмесячного) сезона роста в исследуемом районе.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нынешние изменение климата в мире также проявляется в регионах вечной мерзлоты. Так по результатам исследования видно, что на склонах северной экспозиции как у здоровых деревьев, так и суховершинных деревьев наблюдается тенденция на увеличение радиального прироста на всей высоте ствола, вызванная увеличением среднемесячной температурой воздуха. Хотя климатические условия и стали более благоприятными для роста лиственницы Гмелина, но явление суховершинности стало встречаться все чаще. Результаты указывают, что здоровые деревья обладают наибольшей чувствительностью к воздействию температуры воздуха по сравнению с суховершинными. Из-за низкого отклика суховершинных деревьев на погодные условия можно предположить, что на явление суховершинности оказывают наибольшее влияние другие факторы. Это можно объяснить низкой температурой почвы, из-за которой корни плохо поглощают влагу и впоследствии мы можем наблюдать водный дисбаланс, в результате которого происходит усыхание верхней части дерева, из-за нехватки воды.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Коротков И.А. Лесорастительное районирование предтундровых лесов Сибири. Эколого-географические проблемы сохранения и восстановления лесов Севера: Тез. Докл. Всесоюз. Науч. конф.. Архангельск, 1991. С.303-307.
2. Димо В.Н. Тепловой режим почв СССР. М.: Колос, 1972. 359 с.
3. Ершов Ю.И. Закономерности почвообразования в пределах Средне-Сибирского плоскогорья // Почвоведение. 1995. N7. С. 805-810.
4. Ершов Ю.И. Почвенно-географическое районирование Красноярского края // География и природные ресурсы. 1998. № 2. С.110-118.
5. Abaimov A.P., Prokushin S.G., Matsuura Y., Osawa A., Takenaka A., Kajimoto T. Wildfire and Cutting Effect on Larch Ecosystem Permafrost dynamics in Central Siberia // Proc. of the 7th Symposium on the Joint Siberian Permafrost Studies between Japan and Russia in 1998. Eds. M. Shibuya, K. Takahashi, G. Inoue. – Sapporo, Japan, 1999. P. 48-58.
6. Буторина Т.Н. Биоклиматическое районирование Красноярского края. Новосибирск: Наука, 1979. 68 с.
7. Назимова Д.И., Речан С.П., Савин Е.Н., Жуков А.Б., Коротков И.А., Кутафьев В.П., Чередникова Ю.С. Леса Красноярского края // Леса СССР. М.: Изд-во “Наука”, 1969., Т. 4. С. 249-320.
8. Zyryanova O.A., Shitova S.A. Spatial distribution regularities of Central Evenkian larch forests: a cartographic model // Proc. of the 4th symposium on the joint Siberian permafrost studies between Japan and Russia in 1995. Ed. M. Fukuda. – Sapporo, Japan, 1999. P. 65-69.
9. Поздняков Л. К. Даурская лиственница. М.: Наука, 1975. 312 с.
10. Поздняков Л.К. Мерзлотное лесоведение. Новосибирск: Наука, 1986. – 192 с.



11. Абаимов А.П., Прокушин С.Г., Зырянова О.А., Каверзина Л.Н. Особенности формирования и функционирования лиственничных лесов на мерзлотных почвах // Лесоведение. 1997, N5. С 13-15.
12. Hartmann H. Will a 385 million year-struggle for light become a struggle for water and for carbon? – How trees may cope with more frequent climate changetype drought events // Global Change Biol. 2011. V. 17. Iss. 1. P. 642–655.
13. Романовский Н. Н. Основы криогенеза литосферы: учеб. пособ. М.: Изд-во Московск. ун-та, 1993. 336 с.
14. Yasue K., Kujansuu J., Kajimoto T., Nakai Y., Koike T., Abaimov A. P., Matsuura Y. Seasonal changes in stem radial growth of *Larix gmelinii* in Central Siberia in relation to its climatic responses // Permafrost Ecosystems. Siberian Larch Forests / A. Osawa, O. A. Zyryanova, Y. Matsuura, T. Kajimoto, R. W. Wein (Eds.). Ecol. Stud. Ser. V. 209. Springer Netherlands, 2010. P. 331–345.
15. Prokushkin A. S., Kajimoto T., Prokushkin S. G., McDowell W. H., Abaimov A. P., Matsuura Y. Climatic factors influencing fluxes of dissolved organic carbon from the forest floor in a continuous-permafrost Siberian watershed // Can. J. For. Res. 2005. V. 35. N. 9. P. 2130–2140.
16. Прокушкин С. Г., Абаимов А. П., Прокушкин А. С. Структурно-функциональные особенности лиственницы Гмелина в криолитозоне Центральной Эвенкии. Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2008. 161 с.
17. Kramer P. J., Boyer J. S. Water relations of plants and soils. – Academic press, 1995.
18. Schweingruber, F.H. Tree Rings and Environment. Dendroecology / F.H. Schweingruber. – Birmensdorf; WSL/FNP: Bern, Stuttgart, Vienna Haupt Publ., 1996. – 609 pp.
19. Chhin S., Hogg (Ted) E. H., Lieffers V. J., Huang S. Growthclimate relationships vary with height along the stem in lodgepole pine // Tree Physiol. 2010. V. 30. Iss. 3. P. 335–345.

20. Шиятов, С.Г. Методы дендрохронологии. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации: учеб.-метод. пособие. Ч. I. / С.Г. Шиятов. – Красноярск: КрасГУ, 2000. – 80 с.
21. Шиятов, С.Г. Дендрохронология, ее принципы и методы / С.Г. Шиятов. // Записки Свердловского отделения Всесоюзного ботанического общества. – 1973. – Вып.6. – С.53-81.
22. Fritts, H.C. Tree-rings and climate / H.C. Fritts. – London; New York; San Francisco: Acad. Press, 1976. – 576 pp.
23. Holmes, R.L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement / R.L. Holmes // Tree-Ring Bulletin. – 1983. – Vol. 44. – P. 69-75.
24. Cook, E. Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences / Eds. E.R. Cook, L.A. Kairiukstis. – IASA. Dordrecht; Boston; London: Kluwer Acad. Pub., 1990. – 394 pp.

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Институт фундаментальной биологии и биотехнологии  
Кафедра биофизики

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

*В.А.КРАТАСЮК*

подпись инициалы, фамилия

«*22*» *июня* 2020 г.

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

03.03.02 Физика

Динамика радиального прироста лиственницы Гмелина на разной высоте  
ствола (Центральная Эвенкия)

Научный руководитель 20.06.20, *Ш* - доцент, к.ф.-м.н. А.В. Шашкин  
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускник

15.06.20, *ОК*  
подпись, дата

Д.А. Окс  
инициалы, фамилия

Красноярск 2020