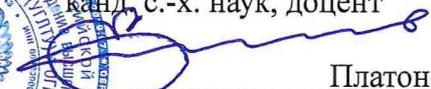


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(УГЛТУ)

УДК 630.182:630.111  
Рег. № НИОКТР 123041100013-0  
Рег. № ИКРБС



УТВЕРЖДАЮ  
Ректор УГЛТУ  
канд. с.-х. наук, доцент

  
Платонов Е.П.  
30 » декабря 2025 г.

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

«Естественно-научные и технологические аспекты рационального использования, прогнозирования и управления лесными ресурсами на основе генетического подхода к классификации типов леса в условиях современного изменения климата и антропогенных воздействий»

по теме:

ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА И РЕАКЦИЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ: АНАЛИЗ  
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ И РАЗРАБОТКА  
АДАПТАЦИОННЫХ МЕР  
(промежуточный, этап 3)

№ FEUG-2023-0002

Начальник УНИД,  
канд. с.-х. наук, доцент

 29.12.2025

А.Г. Магасумова

подпись, дата

Научный руководитель  
д-р. биол. наук, доцент



29.12.2025

В.В. Фомин

подпись, дата

Екатеринбург 2025

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель НИР, проректор по научной  
работе и инновационной деятельности  
д-р биол. наук, доцент

  
29.12.2025

В.В. Фомин  
(введение;  
заклучение; раздел 1,  
раздел 2, раздел 3)

подпись, дата

### Исполнители темы:

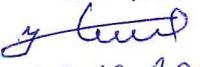
Заведующий кафедрой лесоводства,  
д-р с.-х. наук, проф.

  
29.12.2025

С.В. Залесов  
(введение, раздел 2,  
раздел 3)

подпись, дата

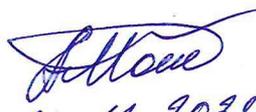
Директор института леса и природопользо-  
вания, д-р с.-х. наук, проф.

  
29.12.2025

З.Я. Нагимов  
(раздел 2, раздел 3,  
заклучение)

подпись, дата

Заведующий лабораторией  
геоинформацион-ных технологий  
Института экологии расте-ний и животных  
УрО РАН, д-р биол. наук

  
29.12.2025

П.А. Моисеев  
(раздел 3)

подпись, дата

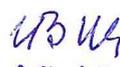
Заведующий лабораторией биотехнологии и  
популяционной генетики Ботанического  
сада УрО РАН, канд. биол. наук

  
29.12.2025

О.Е. Черепанова  
(раздел 1, раздел 3)

подпись, дата

Исполняющий обязанности заведующего  
кафедрой лесной таксации и  
лесоустройства, канд. с.-х. наук, доцент

  
29.12.2025

И.В. Шевелина  
(раздел 3)

подпись, дата

Доцент кафедры лесоводства,  
канд. с.-х. наук, доцент

  
29.12.25

А.Г. Магасумова  
(раздел 2, раздел 3)

подпись, дата

Доцент кафедры лесоводства,  
канд. с.-х. наук, доцент

  
29.12.25

Н.П. Бунькова  
(раздел 2)

подпись, дата

Доцент кафедры лесоводства,  
канд. с.-х. наук, доцент

  
29.12.25

Г.А. Годовалов  
(раздел 2)

подпись, дата

Доцент кафедры лесоводства,  
канд. с.-х. наук, доцент



29.12.2025

И.А. Панин  
(раздел 2)

подпись, дата

Доцент кафедры лесоводства,  
канд. с.-х. наук



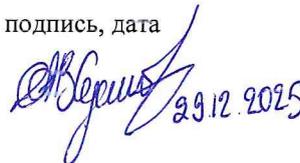
29.12.2025 (раздел 2, раздел 3)

К.А. Башегуров

(раздел 2, раздел 3)

подпись, дата

Доцент кафедры лесной таксации и  
лесоустройства, канд. с.-х. наук, доцент



29.12.2025

А.В. Суслов  
(раздел 3)

подпись, дата

Доцент кафедры лесной таксации и  
лесоустройства, канд. с.-х. наук

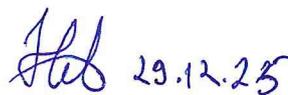


29.12.2025

А.А. Бартыш  
(раздел 3)

подпись, дата

Ассистент кафедры лесной таксации и  
лесоустройства



29.12.25

Д.А. Невзоров  
(раздел 3)

подпись, дата

Старший преподаватель кафедры экологии  
и природопользования

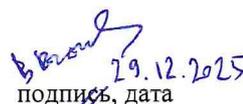


29.12.2025

Е.М. Агапитов  
(раздел 1, раздел 2,  
раздел 3)

подпись, дата

Старший преподаватель кафедры экологии  
и природопользования

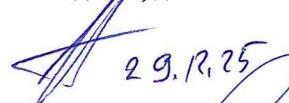


29.12.2025

В.Е. Рогачев  
(раздел 1, раздел 2,  
раздел 3)

подпись, дата

Преподаватель Уральского  
лесотехнического колледжа



29.12.25

Д.Д. Стратонов  
(раздел 1, раздел 2,  
раздел 3)

подпись, дата

Старший научный сотрудник лаборатории  
геоинформационных технологий Института  
экологии растений и животных УрО РАН,  
канд. с.-х. наук



29.12.2025

А.А. Григорьев  
(раздел 3)

подпись, дата

Научный сотрудник НОЦ "Лестехпроект",  
канд. биол. наук



29.12.2025

А.П. Михайлович  
(раздел 1, раздел 3)

подпись, дата

Научный сотрудник лаборатории экологии  
древесных растений Ботанического сада  
УрО РАН, канд. с.-х. наук

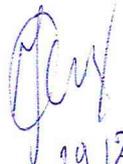


29.12.2025

Д.Ю. Голиков  
(раздел 1, раздел 3)

подпись, дата

Научный сотрудник лаборатории  
биотехнологии и популяционной генетики  
Ботанического сада УрО РАН

  
29.12.2025  
подпись, дата

С.О. Медведева  
(раздел 1, раздел 3)

Младший научный сотрудник лаборатории  
геоинформационных технологий Института  
экологии растений и животных УрО РАН,  
канд. с.-х. наук

  
29.12.2025  
подпись, дата

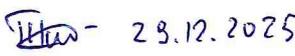
С.О. Вьюхин  
(раздел 3)

Младший научный сотрудник лаборатории  
геоинформационных технологий Института  
экологии растений и животных УрО РАН

  
29.12.2025  
подпись, дата

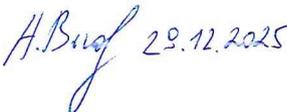
Д.С. Балакин  
(раздел 3)

Инженер--исследователь лаборатории  
геоинформационных технологий Института  
экологии растений и животных УрО РАН

  
29.12.2025  
подпись, дата

А.С. Тимофеев  
(раздел 3)

Инженер-исследователь лаб.  
дендрохронологии Института экологии  
растений и животных УрО РАН

  
29.12.2025  
подпись, дата

А.А. Вьюхина  
(раздел 3)

Инженер--исследователь

  
29.12.2025  
подпись, дата

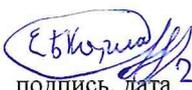
Р.О. Золотарев  
(раздел 1, раздел 3)

Инженер-исследователь

  
29.12.2025  
подпись, дата

Е.А. Костоусова  
(раздел 1, раздел 3)

Лаборант -исследователь

  
29.12.2025  
подпись, дата

Е.Б. Коритняк  
(раздел 1, раздел 3)

Лаборант-исследователь

  
29.12.2025  
подпись, дата

А.П. Михайлов  
(раздел 3)

Нормоконтроль

  
29.12.2025  
подпись, дата

С.А. Медведев

## РЕФЕРАТ

Отчет 97 с., 1 книга, 25 рис., 18 табл., 103 источника, 3 прил.

### ЛЕСНЫЕ И ЛЕСОТУНДРОВЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА, ПОЖАРЫ, УРАЛ И ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ

На территории Уральского федерального округа наблюдается устойчивый тренд к повышению температуры воздуха и увеличению количества атмосферных осадков. Для температуры выявлена устойчивая тенденция увеличения положительных аномалий, усиливающаяся с 1970-х годов, с прогнозом дальнейшего роста. Тренд динамики атмосферных осадков имеет более сложную, колебательную природу. Качественный анализ данных реанализа и климатической модели с помощью метода ядерной оценки плотности вероятности показывает, что потепление сопровождается ростом климатической неустойчивости (увеличением дисперсии температур), свидетельствующей о повышении потенциальных рисков экстремальных погодных явлений, а кластерное зонирование территории позволяет эффективно выявлять зоны с однородной климатической динамикой, что является важной основой для оценки влияния климата на лесные экосистемы и разработки дифференцированных адаптационных мер в различных отраслях экономики и природопользования региона.

В ходе проведенных исследований получены результаты по адаптации лесопользования и озеленения к меняющемуся климату. В работе сделан акцент на совершенствовании охраны лесов от пожаров, так как рост температур и изменение режима осадков ведут к увеличению продолжительности и интенсивности пожароопасных сезонов. На основе анализа данных горимости лесов и классов пожарной опасности для Свердловской области разработана и предложена к внедрению региональная двухсезонная шкала классов, использующая комплексный показатель ПВ-1. По результатам проведенных исследований предложена технология прокладки минерализованных полос с помощью детонирующего шнура ДШН-80 и меры по снижению риска торфяных пожаров (пескование, ветрозащитные экраны). В части лесопользования обоснована необходимость снижения возраста технической спелости еловых насаждений, что позволит повысить их продуктивность, снизить риски ветровалов, пожаров и вспышек короеда-типографа. Исследованы вопросы лесовосстановления в контрастных условиях: засушливых (лесостепь, степь) и экстремальных (Ямало-ненецкий автономный округ). Показаны преимущества сеянцев с открытой корневой системой в степной зоне и необходимость

специальной подготовки почвы на склонах. Для рекультивации нарушенных земель на Севере предложено лесохозяйственное направление с использованием торфо-песчаных смесей и посадкой ивы или сосны. Третье направление посвящено расширению биоразнообразия в озеленении через интродукцию. По авторской методике оценены перспективность и декоративность 67 видов и форм древесных растений для Среднего Урала, выделены наиболее устойчивые и декоративные сорта для создания объектов озеленения в условиях ограниченного пространства. Для Ямало-Ненецкого автономного округа разработаны практические рекомендации по созданию и содержанию зеленых насаждений.

Проведены исследования климатогенной динамики древесной растительности сблизи верхнего предела ее произрастания по Южном (горный массив Ирмель) и Полярном (горный массив Рай-Из) Урале. В районе исследований на Южном Урале выполнен анализ возрастной структуры, динамики таксационных показателей и накопления фитомассы в еловых насаждениях на постоянных высотных профилях, заложенных в 2002 году. Массовое появление ели на нижних уровнях началось с конца XIX века, на средних – с начала XX века, а на верхних, в горной тундре – только с середины XX века. Интенсивная экспансия ели в высокогорья, особенно с конца XX века, напрямую связывается с потеплением климата. В экстремальных условиях формируются ступенчато-разновозрастные древостои, где появление и выживание подроста возможны лишь в исключительно благоприятные периоды после семенных лет.

Установлено резкое снижение накопленной надземной фитомассы с высотой: от 227 т/га на нижнем до 3,5 т/га на верхнем уровнях. При этом за период с 2012 по 2025 гг. прирост фитомассы был максимальным для всех уровней. На основе объединенных данных, полученных в 2002 и 2025 годах, разработаны модели и таблицы возрастной динамики диаметра ствола на высоте 1,3 м и высоты дерева, которые могут применяться для мониторинга и оценки продуктивности высокогорных еловых древостоев.

Результаты исследований, проведенных на Полярном Урале на 16 пробных площадях, позволили установить тенденцию увеличения густоты древостоев и сомкнутость крон. Рассчитан текущий периодический прирост фитомассы лиственницы (0,04–5,73 т/га/год) и определены запасы фитомассы живого напочвенного покрова (0,52–2,79 т/га). Установлено, что в разреженных сообществах вклад живого напочвенного покрова в общую продуктивность часто превышает вклад древесного яруса.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	9
1. Анализ закономерностей изменения климатических параметров на территории Уральского федерального округа за период с 1950 по 2025 годы	10
1.1 Методика исследований изменения основных климатических параметров	10
1.1.1 Методика расчета и представления аномалий температуры и осадков	10
1.1.2 Анализ изменения температуры воздуха на территории Уральского федерального округа с использованием метода ядерной оценки плотности вероятности распределения	12
1.1.3 Анализ изменения климатических параметров в пределах однородных зон	16
1.2 Основные закономерности изменения температуры и осадков Уральского федерального округа за период с 1950 по 2025 годы и прогноз до 2049 года	19
2. Совершенствование лесопользования и озеленения в регионах с неблагоприятными лесорастительными условиями при меняющемся климате	28
2.1. Совершенствование охраны лесов от пожаров	28
2.2. Совершенствование лесопользования в условиях меняющегося климата	32
2.3. Создание объектов озеленения и расширение биологического разнообразия в условиях меняющегося климата	39
3. Особенности формирования древостоев в экотоне верхней границы древесной растительности на Южном и Полярном Урале	49
3.1 Объекты и методика исследований в районе исследования на Южном Урале	49
3.2 Особенности формирования древостоев в экотоне верхней границы древесной растительности на Южном Урале	53
3.3 Особенности формирования надземной фитомассы древостоев ели на Южном Урале	57
3.4 Возрастная динамика таксационных показателей древостоев ели на Южном Урале	61
3.5 Объекты и методика исследований в районе исследования на Полярном Урале	68
3.6 Особенности формирования надземной фитомассы древостоев лиственницы и живого напочвенного покрова на Полярном Урале	72
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	76
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	80
ПРИЛОЖЕНИЯ	89

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- КПО – класс пожарной опасности  
ОКС – открытая корневая система  
ЗКС – закрытая корневая система  
ГИС – географическая информационная система  
ЭВГДР – экотон верхней границы древесной растительности  
ПП – пробная площадь  
ЖНП – живой напочвенный покров  
ЛС – лесничестве  
РЛ – редколесье  
РД – редина  
ТД – тундра с отдельно стоящими деревьями

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы обусловлена необходимостью изучения регионального изменения климата, углубления понимания процессов климатогенной динамики лесных экосистем и научном обосновании адаптации рациональной системы ведения лесного хозяйства к климатическим изменениям. Работа направлена на изучение трансформации лесных экосистем в меняющихся условиях и разработку на этой основе рекомендаций для оптимизации лесопользования. Применение междисциплинарного подхода в рамках проекта обеспечило связь фундаментальных аспектов исследования лесообразовательного процесса – ключевого элемента, лежащего в основе генетического подхода к классификации типов леса, с прикладными решениями, обеспечивающими устойчивое и неистощимое использование лесных ресурсов.

Данный подход, позволяет учитывать естественные процессы лесообразования при планировании хозяйственных мероприятий, создавать и внедрять природоподобные технологии, направленные на создание устойчивых и высокопродуктивных насаждений, наиболее полно использующих потенциал почвенно-климатических условий. Проект организован по модульному принципу и включает фундаментальные аспекты и прикладные разработки, что обеспечивает связь теории и практики.

В рамках третьего (промежуточного) этапа проекта были полностью выполнены запланированные следующие задачи:

1. Анализ трендов и пространственно-временных закономерностей в изменении климата Урала и Западной Сибири (относится к задаче 1 из блока задач II).
2. Количественная оценка объема депонирования углерода древесной растительностью вблизи верхнего предела ее произрастания на Южном и Полярном Урале (относится к задаче 3 из блока задач I заявки).
3. Анализ данных горимости лесов Свердловской области и разработка технологий предотвращения природных пожаров (относится к задаче 1 из блока задач III).
4. Разработка природоподобных технологий в области устойчивого лесопользования и лесовосстановления (относится к задаче 2 из блока задач III).
5. Обоснование ассортимента древесно-кустарниковых видов для лесовосстановления и лесоразведения с учетом региональных природных условий (относится к задаче 3 из блока задач III).

# **1. Анализ закономерностей изменения климатических параметров на территории Уральского федерального округа за период с 1950 по 2025 годы**

## **1.1 Методика исследований изменения основных климатических параметров**

В соответствии с программой работ на 2025 год проведены исследования основных климатических параметров Уральского региона. В качестве формальных границ исследуемой территории выбраны границы Уральского федерального округа (УрФО), а в качестве источника информации о климате использовали данные реанализов *ERA5* Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды – European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) [1] и данные модели общей циркуляции атмосферы *BCC-CSM1-I-M* (Beijing Climate Center Climate System Model) за период 1950–2049 гг. [2] Пекинского климатического центра (BCC) [3].

Модель *BCC-CSM1-I-M* является частью международного проекта сравнения сопряженных моделей CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5) и широко применяется для ретроспективного анализа и сценарного прогнозирования изменений климата. Выбор модели *BCC-CSM1-I-M* (версия Moderate resolution) обусловлен ее достаточно высоким пространственным разрешением T106 (примерно 110 км в средних широтах), что превосходит стандартную детализацию большинства моделей поколения CMIP5. Такая дискретизация важна для исследуемой территории (Уральский федеральный округ), характеризующейся сложной орографией и значительной широтной протяженностью. Независимые исследования по валидации моделей, подтверждают, что именно данная версия модели демонстрирует наименьшие систематические ошибки при воспроизведении исторических рядов температуры воздуха и режимов увлажнения в средних широтах Северной Евразии [4–6].

### **1.1.1 Методика расчета и представления аномалий температуры и осадков**

Протяженность УрФО в широтном направлении составляет 2750, а в меридиональном – 1433 км. Для учета неоднородности изменения температуры и осадков в разных частях исследуемой территории разработаны несколько вариантов обработки данных и представления результатов анализа.

В качестве исходных переменных для анализа использовали ежемесячные растровые данные (сеточные данные – gridded data) по двум ключевым метеорологическим параметрам: приземной температуре воздуха на высоте 2 м и месячным суммам

атмосферных осадков. Для анализа долгосрочных трендов использовали пятилетние интервалы (пятилетия), начиная с 1950 года. В качестве базового был выбран интервал с 1950 по 1954 год включительно. При обработке исходного массива ежемесячных данных учитывали неоднородность календарных периодов, связанную с разным количеством дней в месяцах. Оценку температурного режима проводили по средней взвешенной приземной температуре воздуха. Отказ от простого арифметического среднего обусловлен различной продолжительностью календарных месяцев (от 28 до 31 дня), что при стандартном расчете вносит систематическую погрешность. В алгоритме весовым коэффициентом выступало фактическое количество дней в месяце.

Расчет средней температуры за пятилетие ( $T_{5y}$ ) выполняли по формуле:

$$T_{5y} = \frac{\sum_{i=1}^{60} (T_i \cdot w_i)}{\sum_{i=1}^{60} w_i} \quad (1.1)$$

где:

$T_i$  – среднемесячная температура в  $i$ -м месяце;

$w_i$  – весовой коэффициент, равный количеству дней в  $i$ -м месяце;

60 – количество месяцев в пятилетии.

Для анализа пространственно-временной динамики использовали сумму осадков за календарный год с последующим расчетом среднегодового значения за пятилетие ( $R_{annual\_avg}$ ) по формуле :

$$R_{annual\_avg} = \frac{\sum_{i=1}^{60} R_i}{5} \quad (1.2)$$

где:

$R_i$  – сумма осадков в  $i$ -м месяце.

Приведение данных к формату среднегодовых значений климатического показателя обеспечивает их прямую сопоставимость с общепринятыми климатическими нормами. Это позволяет корректно оценивать не только краткосрочные сезонные флуктуации его значений, но и интегральную влагообеспеченность исследуемой территории в рамках пятилетних интервалов. Формирование такого унифицированного массива абсолютных показателей является необходимым условием для перехода к следующему этапу анализа – выявлению долгосрочных трендов путем расчета климатических аномалий.

После агрегации данных в пятилетние ряды проводили расчет климатических аномалий. Под аномалией в исследовании понимается отклонение климатического показателя в конкретный рассматриваемый период от его значений в базовый (референтный) период наблюдений.

Для оценки кумулятивного эффекта изменений использовался подход с фиксированной базой. В качестве референтного периода принято первое пятилетие

временного ряда (1950–1954 гг.). Это позволяет оценить, как общую тенденцию изменений климатического показателя, так и масштаб климатических сдвигов относительно середины XX века.

Математически расчет аномалии ( $\Delta V_i$ ) для каждого пикселя расчетной сетки (растра) производили по формуле:

$$\Delta V_i(x, y) = V_i(x, y) - V_{base}(x, y) \quad (1.3)$$

где:

$V_i$  – абсолютное значение показателя (температуры или осадков) в текущее  $i$ -е пятилетие;

$V_{base}$  – значение показателя в базовый период (1950–1954 гг.).

Программная реализация описанных алгоритмов выполнена с использованием языка программирования R в одноименной среде с привлечением функционала библиотек «terra» (алгебра растров) и «tidyverse» (обработка данных и визуализация).

Одним из условий корректной интерпретации пространственно-временной динамики является сопоставимость карт со значениями климатических параметров по пятилетиям. Для этого была выполнена глобальная нормировка цветовой шкалы. Перед визуализацией картосхем со значениями климатических параметров вычисляли диапазон предельных отклонений (глобальные минимум и максимум) за весь исследуемый период с 1950 по 2025 (данные реанализов) и с 2026 по 2049 год (прогнозные значения).

Для графического отображения картосхем использовали цветовые схемы библиотеки R «ggplot2». Для визуализации температурного режима применена красно-синяя градиентная шкала, где синяя часть спектра маркирует области отрицательных отклонений ( $\Delta < 0$ , похолодание относительно базового периода), а красная – положительных ( $\Delta > 0$ , потепление). Для визуализации картосхем осадков использовали палитру «BrBG» (коричнево-зеленая), которая дифференцирует зоны дефицита осадков (коричневый градиент) и области с их избытком (зеленый градиент).

### **1.1.2 Анализ изменения температуры воздуха на территории Уральского федерального округа с использованием метода ядерной оценки плотности вероятности распределения**

Кроме пространственного картографирования аномалий, описанного выше, для анализа изменений температуры использован подход, основанный на статистическом анализе функции плотности вероятности распределения при помощи метода ядерной оценки плотности (*Kernel Density Estimation – KDE*).

Расчет плотности вероятности распределения анализируемого параметра по полному массиву пикселей раstra исследуемого района является вычислительно затратным, поэтому на подготовительном этапе к исходному набору данных применили процедуру рандомизированной случайной выборки, реализованной средствами библиотеки R «terra» (функция «spatSample»). Для каждого пятилетнего временного интервала из генеральной совокупности извлекалась репрезентативная выборка объемом в  $N = 10000$  точек, количество которых является достаточным для корректного восстановления функции плотности вероятности температурного поля всего исследуемого региона.

Для перехода от дискретного набора выборочных значений к непрерывной кривой распределения использовался метод ядерной оценки плотности (*Kernel Density Estimation – KDE*). Фундаментальные основы метода, изложенные в классической работе Б. Сильвермана [7], позволяют получить гладкую аппроксимацию функции плотности вероятности  $\hat{f}_h(x)$ , избегая дискретности, свойственной традиционным гистограммам. Математически оценка плотности в точке  $x$  рассчитывается как сумма взвешенных ядерных функций:

$$\hat{f}_h(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (1.4)$$

где:

$K$  – ядерная функция (в исследовании применялось гауссово ядро),

$h$  – параметр сглаживания (*bandwidth*),

$n$  – объем выборки.

Графически этот процесс можно представить следующим образом: каждое отдельное наблюдение заменяется не жестким элементом гистограммы (столбцом), а плавным симметричным «куполom» (ядром). Итоговая кривая плотности распределения формируется путем суперпозиции (сложения) высот всех этих элементарных куполов.

Для климатических данных такой подход является наиболее физически обоснованным. Температура воздуха – величина непрерывная и ее изменения не носят ступенчатый характер. Использование традиционных гистограмм неизбежно вносит искусственные границы («ступеньки»), зависящие от произвольно выбранной ширины столбца (бина). Метод *KDE* устраняет эти артефакты, позволяя восстановить предполагаемую непрерывную форму распределения вероятностей  $f(x)$  (рисунок 1.1).

Визуализация полученных распределений выполнена методом «Ridgeline Plots» («График гребней»), предложенным К. Уилке для сравнительного анализа временных рядов [8]. Построение было выполнено с использованием библиотеки R «ggridges», где кривые плотности вероятности располагаются последовательно вдоль оси времени с частичным перекрытием. Такой способ представления данных позволяет не только отслеживать общие

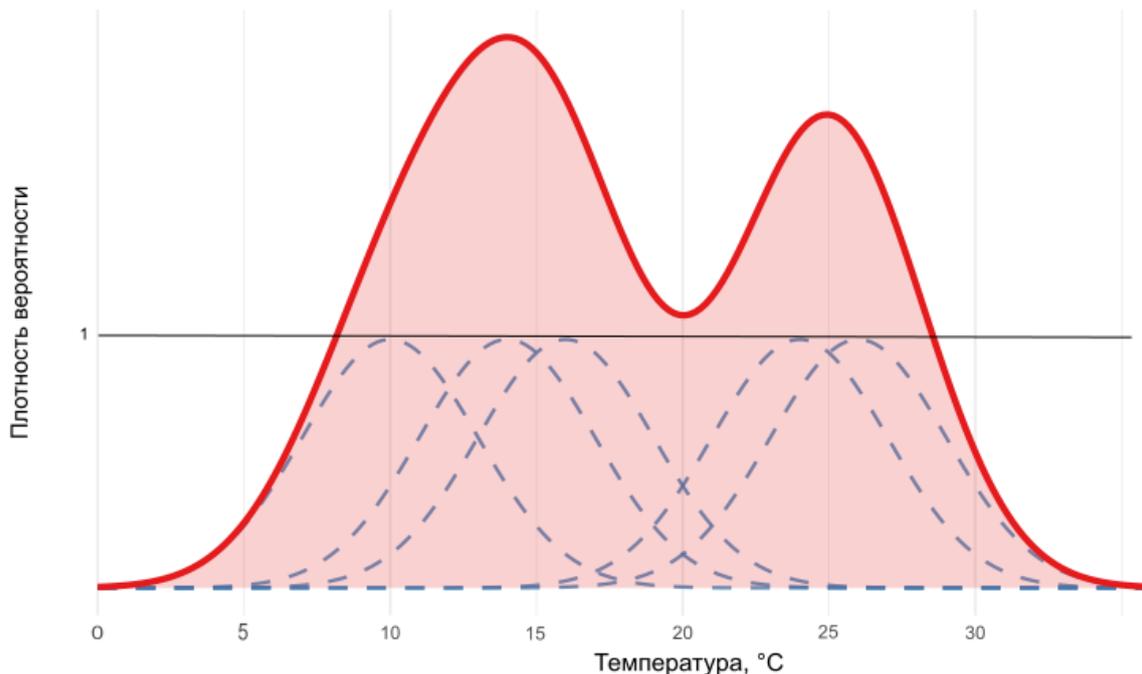


Рисунок 1.1. – Принципиальная схема метода ядерной оценки плотности (KDE). Пунктирными синими линиями показаны индивидуальные функции плотности (ядра Гаусса), соответствующие отдельным наблюдениям. Сплошная красная линия представляет итоговую функцию плотности вероятности, полученную суммированием индивидуальных ядерных функций

тренды, но и детально анализировать структурные трансформации климатических характеристик во времени.

Для физической интерпретации полученных визуализаций используется классический методологический подход к анализу вероятности климатических экстремумов, систематизированный в отчетах Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК, IPCC) [9]. Согласно данной методологии, эволюция функции плотности вероятности анализируется через изменение ее ключевых статистических моментов, кратко описанных ниже.

1. Сдвиг положения (*Shift*) – изменение первого момента распределения (математического ожидания). Возможны два варианта сдвига:

1.1. Сдвиг вправо (*Positive Shift*) свидетельствует о росте среднего значения температуры. При сохранении неизменной формы кривой это приводит к кратному увеличению частоты экстремально жарких событий и исчезновению экстремально холодных;

1.2. Сдвиг влево (*Negative Shift*) представляет собой теоретически возможный сценарий похолодания, при котором распределение смещается в область низких значений температуры.

2. Изменение масштаба (*Scale Change*) – динамика второго центрального момента (дисперсии). Возможны следующие варианты трансформации:

2.1. Увеличение дисперсии (*Flattening / Widening*) визуально проявляется как «оседание» пика кривой и расширение ее основания. Это указывает на рост климатической неустойчивости, температурный режим становится более вариабельным, а «хвосты» распределения становятся «тяжелыми». Такой вариант трансформации характеризуют опасный вариант климатических изменений, ведущий к росту частоты экстремумов обоих знаков (и аномальной жары, и резких заморозков) даже при неизменной средней температуре.

2.2. Уменьшение дисперсии (*Narrowing*) свидетельствует о стабилизации климата и снижении амплитуды колебаний температуры.

2.3. В рамках данного исследования особый интерес представляет комбинированный сценарий (*Shift + Flattening*), при котором происходит одновременное смещение среднего значения в сторону потепления и рост вариабельности значений температуры. Согласно выводам МГЭИК, именно такое сочетание дает нелинейный, «взрывной» рост вероятности наступления ранее невозможных тепловых аномалий.

Аналогичный методологический подход, базирующийся на рекомендациях МГЭИК [9], применяется для физической интерпретации изменений функции плотности вероятности атмосферных осадков. Анализ эволюции распределения позволяет выявить не только количественные, но и качественные изменения в режиме увлажнения на исследуемой территории.

1. Сдвиг положения (*Shift*) – изменение математического ожидания (среднего количества осадков для всей исследуемой территории).

1.1. Сдвиг вправо (*Positive Shift*) свидетельствует об общем увеличении количества осадков (гумидизация). Смещение распределения в сторону высоких значений указывает на то, что количество осадков на исследуемой территории увеличивается.

1.2. Сдвиг влево (*Negative Shift*) является индикатором аридизации. В этом сценарии распределение смещается в область низких значений, что свидетельствует о нарастающем дефиците влаги и увеличении повторяемости засушливых периодов.

2. Изменение масштаба (*Scale Change*) – изменение второго центрального момента, характеризующее динамику дисперсии.

2.1. Увеличение дисперсии (*Flattening / Widening*) визуально проявляется как расширение основания кривой при снижении высоты пика. Это указывает на рост контрастности режима увлажнения: осадки выпадают неравномерно. Возрастает вероятность обоих типов экстремумов – как длительных периодов без осадков, так и

экстремальных ливней, способных вызывать паводки. «Тяжелые хвосты» распределения в правой части графика прямо указывают на риск катастрофического количества осадков.

2.2. Уменьшение дисперсии (*Narrowing*), напротив, свидетельствуют о стабилизации режима выпадения осадков и их более равномерном распределении во времени и пространстве.

В контексте изменения климата наибольшую угрозу представляет комбинированный сценарий (*Positive Shift + Flattening*), при котором рост среднего количества осадков сопровождается увеличением дисперсии. Это означает, что дополнительная влага поступает на территорию района исследований не равномерно, а преимущественно в виде редких, но экстремально интенсивных ливней.

### 1.1.3 Анализ изменения климатических параметров в пределах однородных зон

Для анализа трендов климатических параметров было проведено зонирование территории Уральского федерального округа при помощи метода многомерного кластерного анализа *K-Means* (метод *k*-средних). Данный метод является одним из стандартных методов в задачах машинного обучения без учителя (*Unsupervised Learning*).

Фундаментальные основы климатического районирования, заложенные в классических трудах В.П. Кёппена (биоклиматическое соответствие растительности и климата) [10], Б.П. Алисова (генетическая классификация климата) [11] и М.И. Будыко (энергобалансовый подход) [12, 13], являются безусловным базисом для понимания стационарного состояния климатической системы. Созданные ими карты адекватно описывают климат сложившихся за столетия природных зон и ландшафтных комплексов, отражая долгосрочные климатические нормы.

Однако в условиях современной нестационарности климата [14] статического описания территории становится недостаточно для задач машинного обучения и среднесрочного прогнозирования. Границы, проведенные по многолетним нормам прошлого века, не всегда способны отразить скорость и направление текущих трансформаций. Инерционные ландшафтные признаки (почвы, растительность) реагируют на изменения среды с задержкой, тогда как для моделирования необходима оценка актуальной динамики метеорологических параметров.

Предлагаемый в работе метод статистической кластеризации не противоречит классическим схемам, а дополняет их. Если классическое районирование отвечает на вопрос «Каков тип климата данной территории?» (констатация состояния), то динамическая кластеризация *K-Means* отвечает на вопрос «По какому сценарию меняется климат данной

территории?» (анализ процесса). Такой подход позволяет выделить зоны с однородными трендами изменений, что является необходимым условием для корректной настройки алгоритмов машинного обучения, чувствительных к статистической неоднородности обучающей выборки.

Эмпирической базой для классификации послужили растровые поля средней температуры воздуха, предварительно агрегированные в пятилетние периоды согласно методике, описанной выше. Особенностью алгоритма является полный отказ от использования пространственных координат (широты и долготы) в качестве признаков кластеризации. Каждый пиксель растра  $P(x, y)$  рассматривался не как географическая точка, а как самостоятельный объект в многомерном пространстве. Вектор признаков для каждого пикселя формировался из последовательности температурных значений на всем протяжении исследуемого периода:

$$V_{pixel} = [T_{t_1}, T_{t_2}, \dots, T_{t_n}] \quad (1.5)$$

где:

$T_{t_i}$  – средняя температура за  $i$ -е пятилетие,

$n$  – размерность вектора, соответствующая количеству временных шагов (например, для полного периода 1950–2049 гг.  $n=20$ ).

Такой подход позволяет группировать территории исключительно на основе статистического подобия их «климатических историй» и прогнозных траекторий. Это означает, что в одну зону могут попасть географически удаленные друг от друга участки (например, предгорья Южного Урала и возвышенности Северного Урала), если они демонстрируют идентичную реакцию на внешние факторы.

Математическим ядром процедуры кластеризации выступает итеративный алгоритм минимизации суммарной квадратичной ошибки (*SSE – Sum of Squared Errors*). Целевая функция алгоритма направлена на поиск такого разбиения множества пикселей на  $k$  непересекающихся кластеров, при котором внутрикластерная вариация (разброс) стремится к минимуму, а межкластерные различия стремятся к максимуму. Аналитически задача сводится к оптимизации следующего функционала:

$$J = \sum_{j=1}^k \sum_{i \in C_j} \|x_i - \mu_j\|^2 \quad (1.6)$$

где:

$x_i$  – вектор значений климатического показателя оп пятилетиям конкретного пикселя,

$\mu_j$  – центроид  $j$ -го кластера,

$\|x_i - \mu_j\|^2$  – квадрат евклидова расстояния в  $n$ -мерном пространстве признаков,

который служит мерой схожести локального климата в точке к усредненному значению

кластера (зоны).

В контексте данного исследования центроид имеет конкретный физический смысл. Так как каждый объект – это временной ряд, центроид представляет собой нормированную климатическую траекторию зоны. Это гипотетический «идеальный» график изменения температуры, полученный путем осреднения хронологических кривых всех пикселей, попавших в данный кластер. Соответственно, близость пикселя к центроиду означает, насколько реальный климат в данной точке местности соответствует типичному сценарию зоны.

Ключевым параметром алгоритма является количество выделяемых зон ( $k$ ). В данном исследовании этот параметр определяли эвристически на основе экспертной оценки пространственной связности и физической интерпретируемости получаемых результатов.

Выбор значения  $k=6$  для температуры ( $k=5$  для сумм осадков) был обусловлен необходимостью соблюдения баланса между степенью обобщения (генерализацией) и детализацией локальных особенностей. При малых значениях  $k$  (3 или 4) происходило чрезмерное слияние разнородных климатических областей (например, нивелировалось влияние Уральского хребта, который сливался с равнинными территориями). При увеличении числа кластеров, превышающих указанные выше пороговые значения, наблюдался эффект избыточной фрагментации, когда зоны начинали дробиться на мелкие, статистически малозначимые участки, не имеющие выраженной климатической обособленности.

Таким образом, разбиение на 5 и 6 кластеров было принято, как оптимальное, так как оно позволяет корректно выделить основные широтные зоны и область высотной поясности (Уральские горы) исключительно на основе температурной динамики.

Вычислительный процесс реализации метода состоит из последовательности повторяющихся шагов. На этапе инициализации в многомерном пространстве случайным образом задаются  $k$  начальных центроидов. Затем, на шаге «присвоение», алгоритм анализирует каждый из миллионов пикселей карты и относит его к тому кластеру, к центроиду которого он находится ближе всего по евклидовой метрике. На следующем шаге, «обновление», происходит обновление координат центроидов. Новое положение центра кластера определяется как среднее арифметическое всех векторов, попавших в данную группу на предыдущем шаге. Эта процедура повторяется циклически до момента достижения сходимости, то есть до момента, когда границы кластеров (зон) перестают изменяться, а значение целевой функции  $J$  стабилизируется. Для повышения надежности результатов и минимизации влияния случайного выбора начальных точек алгоритм запускался серией из 5 независимых итераций ( $nstart = 5$ ), из которых автоматически

выбиралось оптимальное решение с наименьшей внутрикластерной дисперсией [15].

В рамках метода *K-Means* граница между зонами представляет собой линию (в многомерном случае – гиперплоскость) статистического равновесия (геометрическое место точек, равноудаленных от центроидов соседних кластеров). Физически ее следует трактовать не как резкий климатический скачок, а как условный порог перехода, за которым преобладающая тенденция изменения климата одного кластера сменяется тенденцией другого. Такая дискретизация непрерывного пространства позволяет перейти от бесконечного разнообразия локальных микроклиматов к конечному числу типовых сценариев.

Программную реализацию описанного алгоритма выполняли в среде статистических вычислений R с использованием базового пакета «stats». Подготовка матриц данных из исходных растровых форматов осуществляли с помощью библиотеки «terra», обеспечивающей эффективную обработку больших массивов пространственной информации. Географическая привязка полученных данных и их интеграция с векторными слоями административного деления производились средствами библиотеки R «sf».

## **1.2 Основные закономерности изменения температуры и осадков Уральского федерального округа за период с 1950 по 2025 годы и прогноз до 2049 года**

На рисунках 1.2 и 1.3 приведены картосхемы пространственного распределения аномалий средних пятилетних значений температуры воздуха и сумм осадков относительно базового временного интервала 1950–1954 гг., построенные с использованием методики, описанной в разделе 1.1.1. Сравнительный анализ картосхем температурных аномалий позволяет сделать следующие выводы:

1. В течение первых четырех пятилетий (1955–1974 гг.) после базового периода наблюдаются сопоставимые по площади области потепления и похолодания.
2. Начало формирования тренда потепления с середины 1970-х годов, который прослеживается до конца XX века. Исключением является период 1990–1994 гг., когда потепление отмечалось преимущественно в южной и восточной частях исследуемой территории.
3. Формирование устойчивого тренда потепления в районе исследования с 2000 по 2024 гг.
4. Сохранение устойчивого тренда потепления согласно прогнозному сценарию за период с 2025 по 2049 гг.

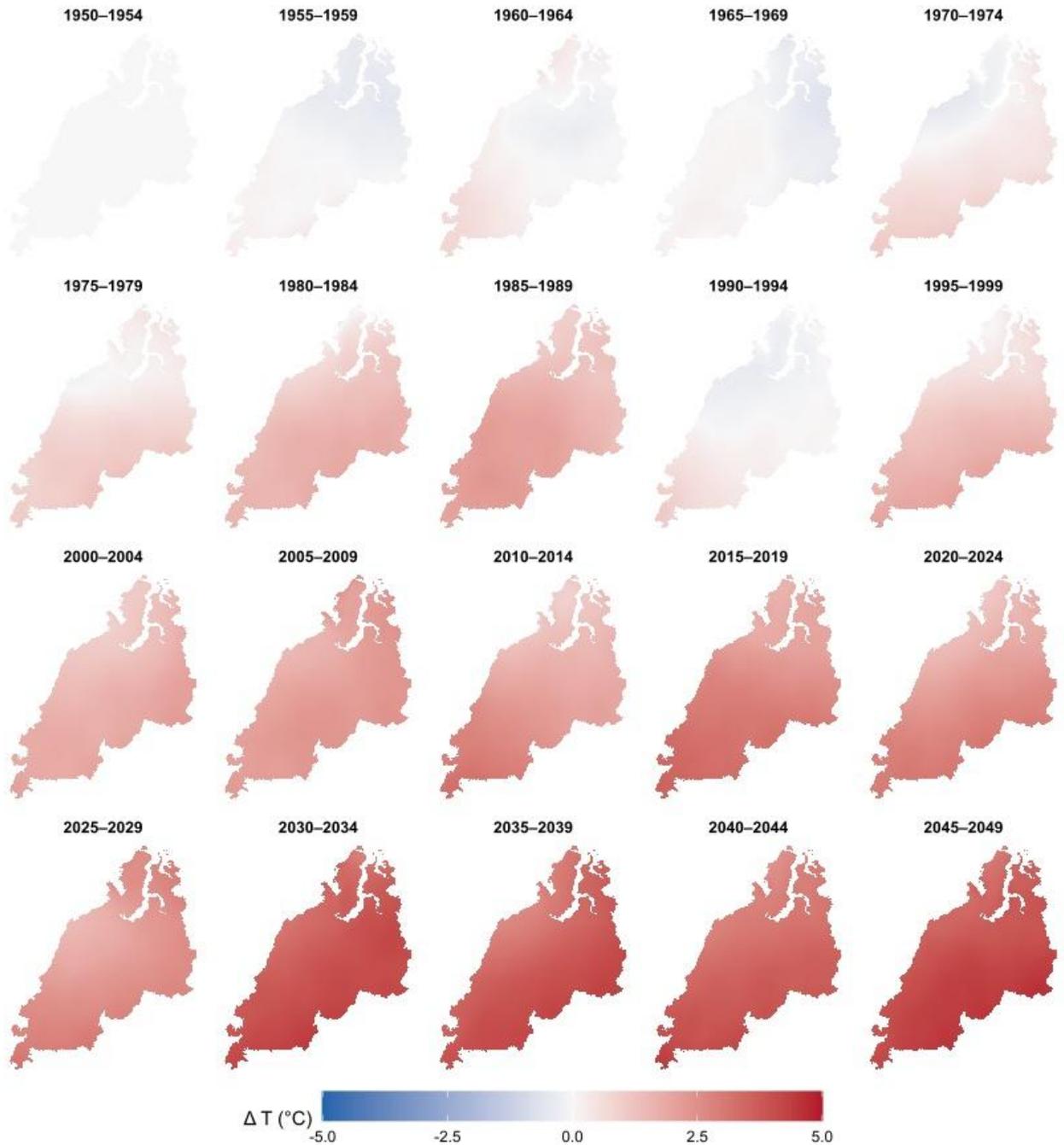


Рисунок 1.2. – Пространственное распределение аномалий средней температуры воздуха ( $\Delta T$ , °C) за пятилетние периоды относительно базового периода 1950–1954 гг. (по данным реанализа *ERA5* и модели *BCC-CSM1-1-M*)

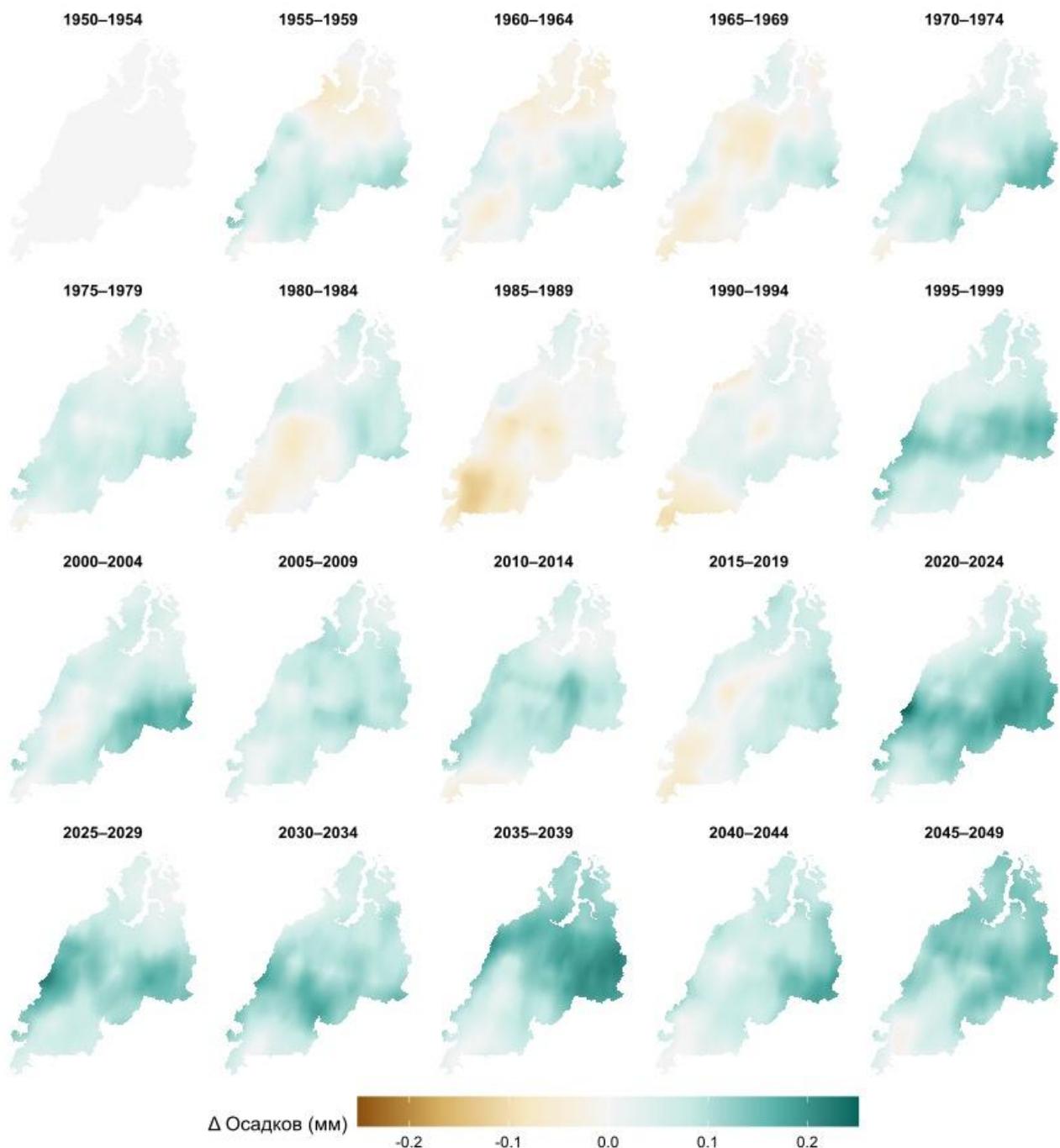


Рисунок 1.3. – Пространственное распределение аномалий средних значений суммы осадков ( $\Delta R$ , мм) за пятилетние периоды относительно базового периода 1950–1954 гг. (по данным реанализа *ERA5* и модели *BCC-CSMI-1-M*)

В ходе пространственного анализа аномалий средних пятилетних сумм осадков установлено следующее:

1. С 1955 по 1969 годы на территории района исследований наблюдалось расширение областей с отрицательными аномалиями осадков относительно базового периода. Этот процесс начался на севере и постепенно распространился на центральные и южные участки исследуемого района.

2. С 1970 по 1979 гг. на большей части исследуемой территории отмечалось увеличение количества осадков (преобладание положительных аномалий).

3. С 1980 по 1994 гг. на большей части территории преобладала тенденция к сокращению осадков, которая сменилась на тенденцию к их увеличению в течение 1995 по 2014 гг. Завершился этот этап сокращением количества осадков вдоль условно выделенной центральной оси района исследований в 2015–2019 гг.

4. Период 2020–2049 гг. формируется и, согласно прогнозному сценарию, сохраняется устойчивая тенденция к увеличению количества осадков на большей части исследуемой территории.

На рисунках 1.4 и 1.5 приведены графики распределения средней температуры воздуха и сумм осадков по пятилетиям на территории Уральского федерального округа. Они построены с использованием метода ядерной оценки плотности, называемый также методом ядерного сглаживания (*KDE*), на основе данных по 10 000 случайных точек, взятых из реанализов *ERA5* и модели *BCC-CSM1-1-M*.

Сравнительный анализ графиков распределения средних значений температуры воздуха по пятилетиям позволил установить следующее:

1) На протяжении исследуемого периода (1950–2024 гг.) наблюдается тенденция к потеплению климата и росту его нестабильности в исследуемом районе. Это проявляется в сдвиге распределений в сторону более высоких температур (сдвиг вправо) и увеличения дисперсии соответственно.

2) Согласно прогнозному сценарию, в период с 2025–2049 гг. описанная выше тенденция к потеплению сохранится.

Графики на рисунке 1.5 в целом подтверждают закономерности, выявленные при анализе картосхем (рисунок 1.3). Количество и выраженность мод (пиков) на графиках распределения соответствует количеству и интенсивности областей с положительными и отрицательными аномалиями осадков относительно базового периода.

На рисунке 1.6 представлена схема климатического районирования Уральского федерального округа, выполненная по данным о температуре воздуха методом *K-means*. На рисунке 1.7 показан ход среднемноголетней температуры воздуха в пределах шести выделенных кластеров (зон).

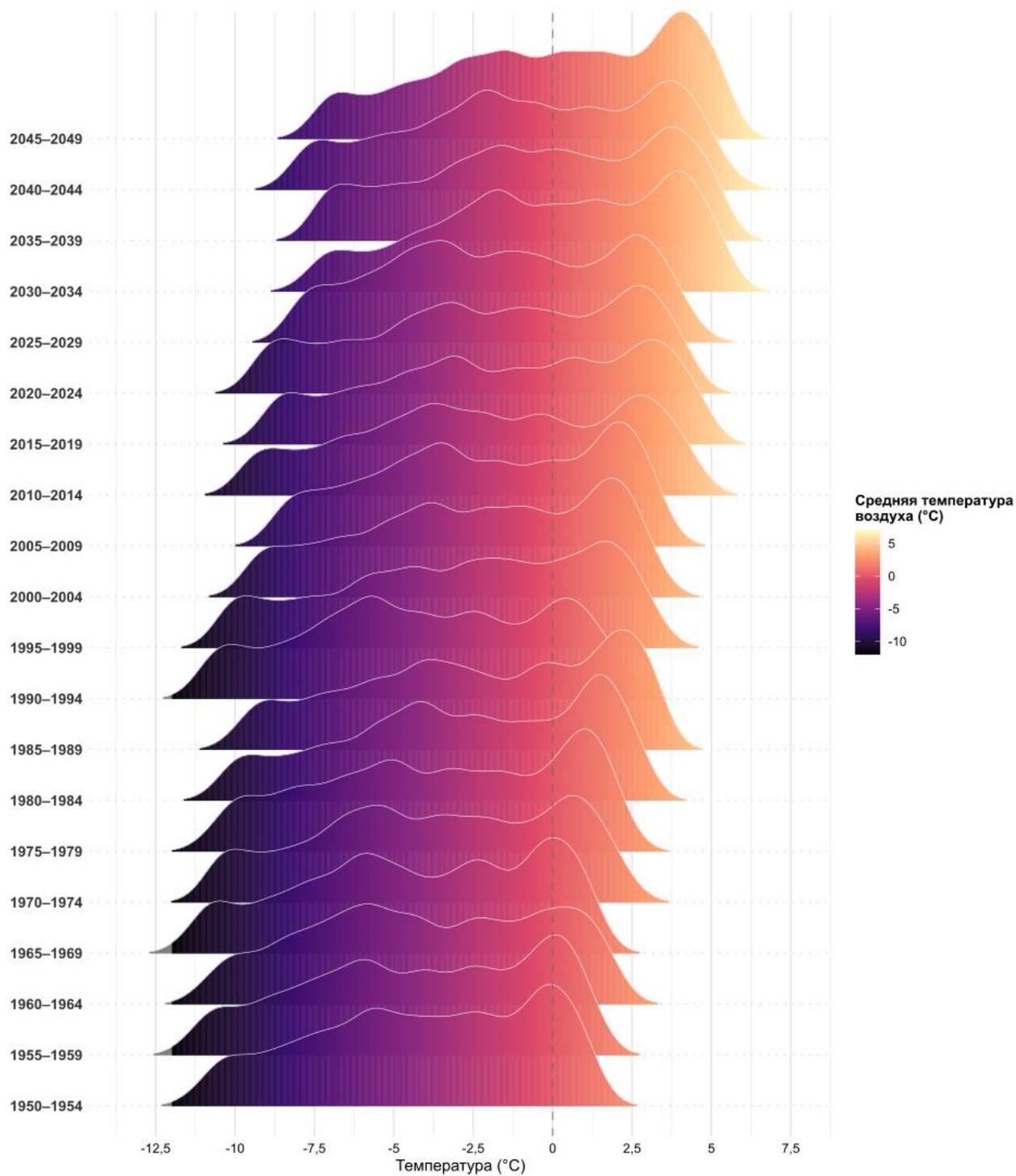


Рисунок 1.4. – Распределения средней температуры воздуха по пятилетиям на территории Уральского федерального округа. Графики построены с использованием метода ядерной оценки плотности (KDE) по данным 10 000 случайным точкам для реанализа *ERA5* и модели *BCC-CSM1-1-M*

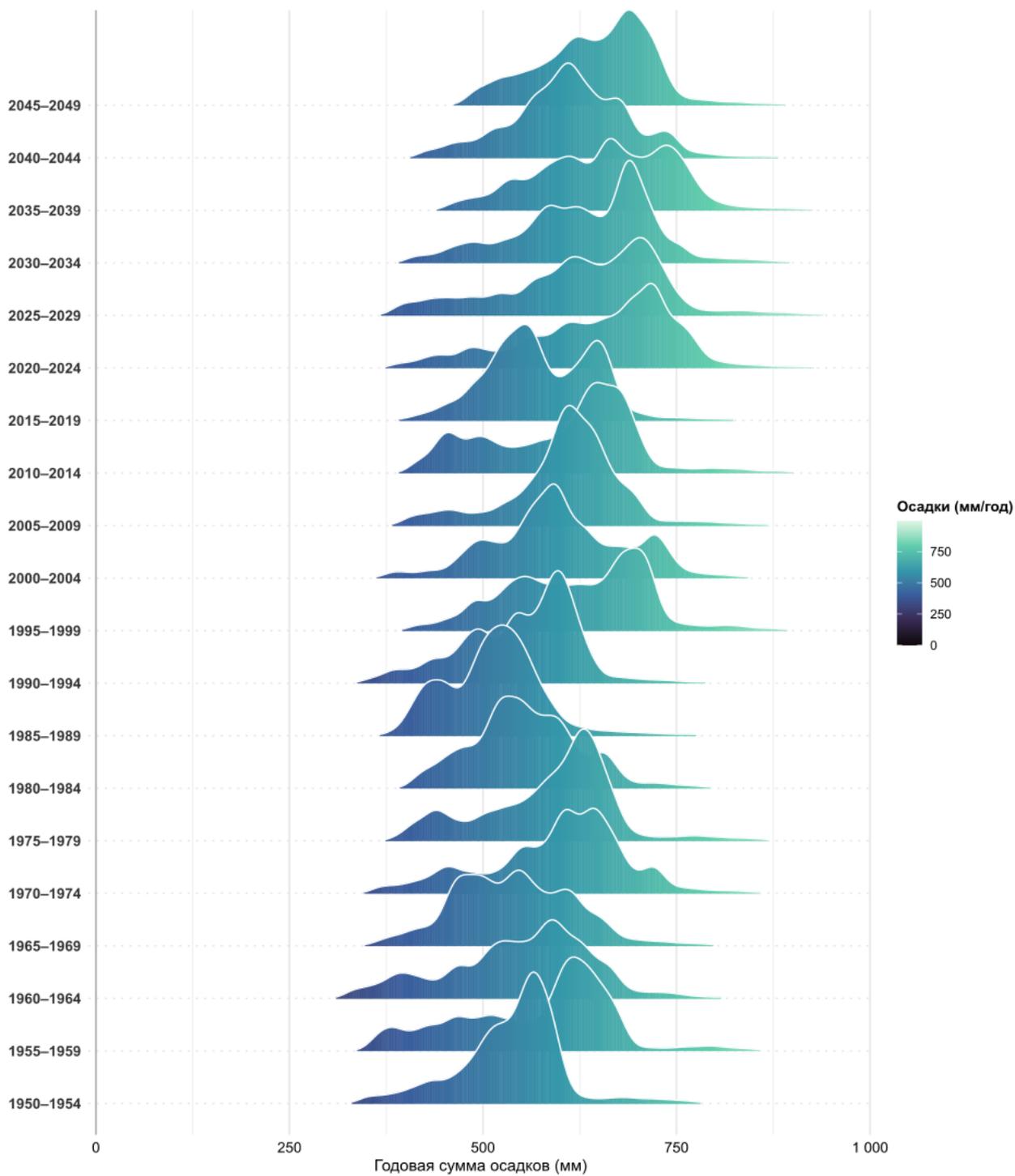


Рисунок 1.5. – Распределение средних сумм атмосферных осадков по пятилетиям на территории Уральского федерального округа. Графики построены с использованием метода ядерной оценки плотности (KDE) по данным 10 000 случайным точкам для реанализа *ERA5* и модели *BCC-CSM1-1-M*

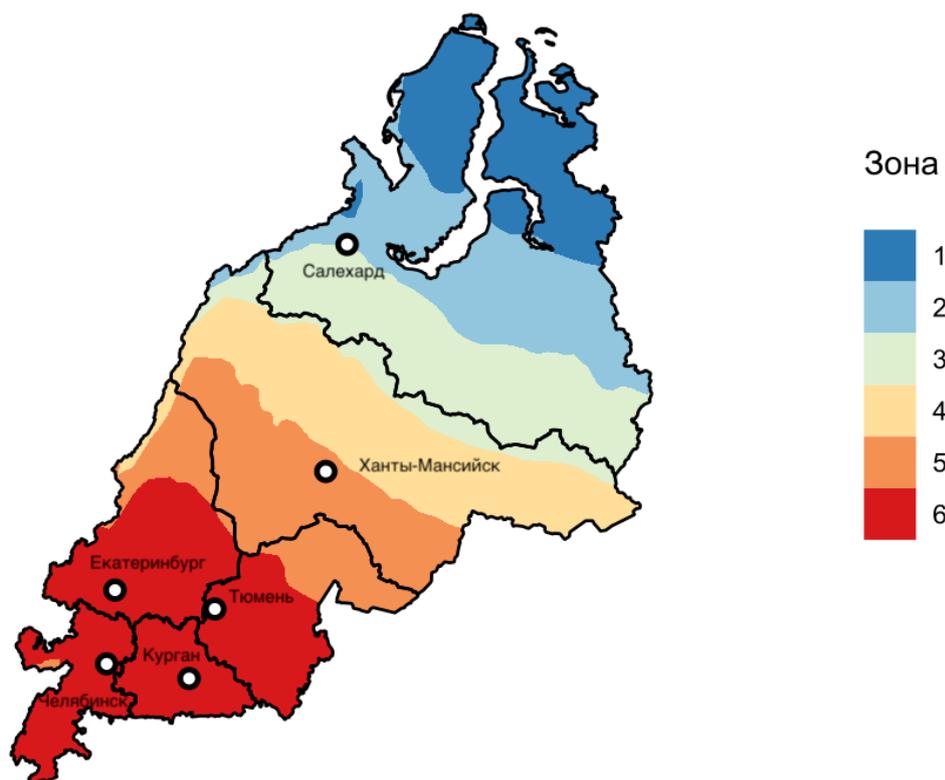


Рисунок 1.6. – Картограмма районирования территории Уральского федерального округа по средним пятилетним значениям температуры воздуха, выполненная методом *K-means*

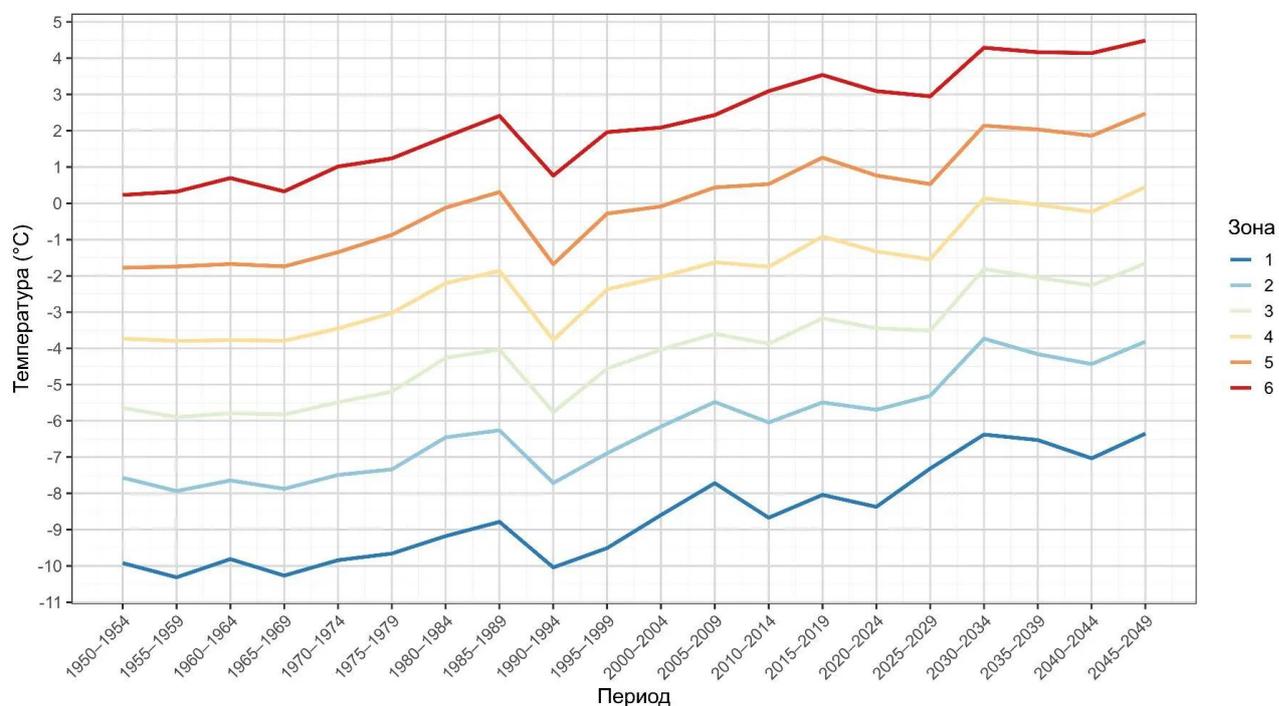


Рисунок 1.7. – Ход средних значений температуры воздуха в шести климатических зонах Уральского федерального округа (границы зон приведены на рисунке 1.6)

В целом, по данным реанализов и прогнозного сценария на территории Уральского федерального округа наблюдается устойчивый тренд повышения температуры воздуха для

всех выделенных зон. Сравнительный анализ графиков свидетельствует о синхронном изменении температуры в большинстве зон (симбатный ход кривых), за исключением периода 2020–2030 гг. В это время, согласно данным реанализа (2020–2025 гг.) и прогноза (2026–2030 гг.), в двух самых северных зонах (1 и 2) и остальных зонах (3–6) наблюдается встречный (дивергентный) ход кривых. Согласно прогнозному сценарию, в период 2040–2049 гг. средняя температура воздуха в двух северных зонах (1 и 2) будет возрастать более интенсивно, чем в более южных зонах.

На рисунке 1.8 приведена картосхема зонирования Уральского федерального округа по осадкам, разработанная с использованием метода многомерного кластерного анализа *K-Means* на основе их средних пятилетних сумм. На рисунке 1.9 графики хода значений данного показателя в пределах пяти выделенных кластеров (зон).

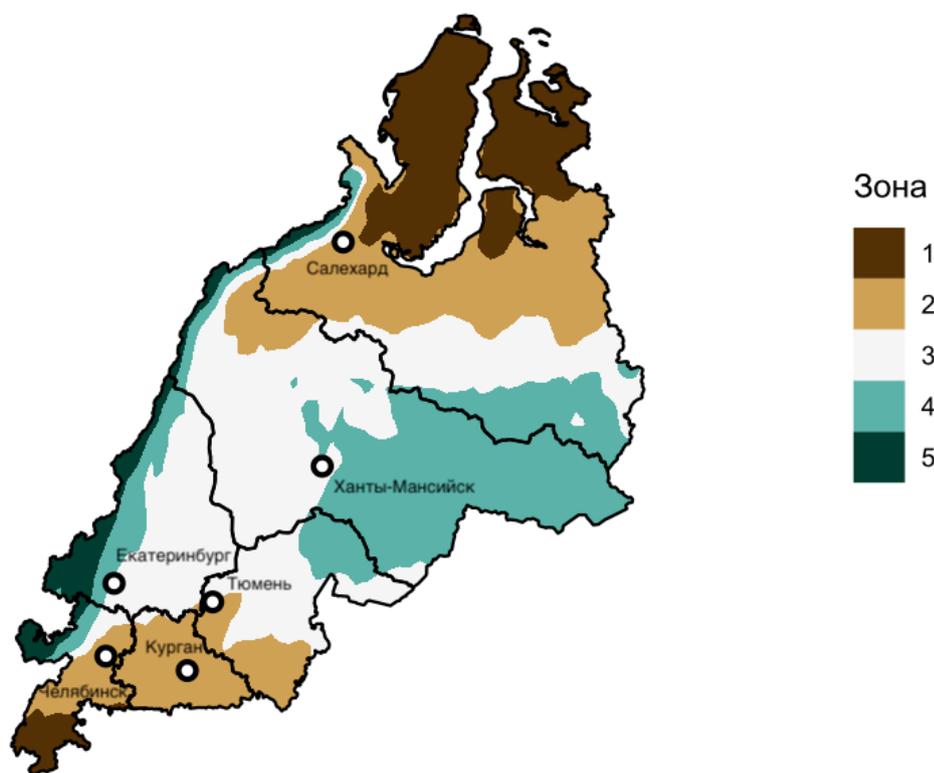


Рисунок 1.8. – Картосхема районирования территории Уральского федерального округа по средним пятилетним суммам осадков, выполненная методом *K-means*

В целом, по данным реанализов и прогнозного сценария на территории Уральского федерального округа наблюдается тренд увеличения количества осадков, однако с более выраженной, чем для температуры воздуха (рисунок 1.7), пространственно-временной изменчивостью. Амплитуда колебаний данного показателя в северных зонах меньше, чем в южных зонах. Для зон 2–5 характерен синхронный ход графиков, в то время как для самой северной зоны (1) для отдельных временных интервалов наблюдается противофазное

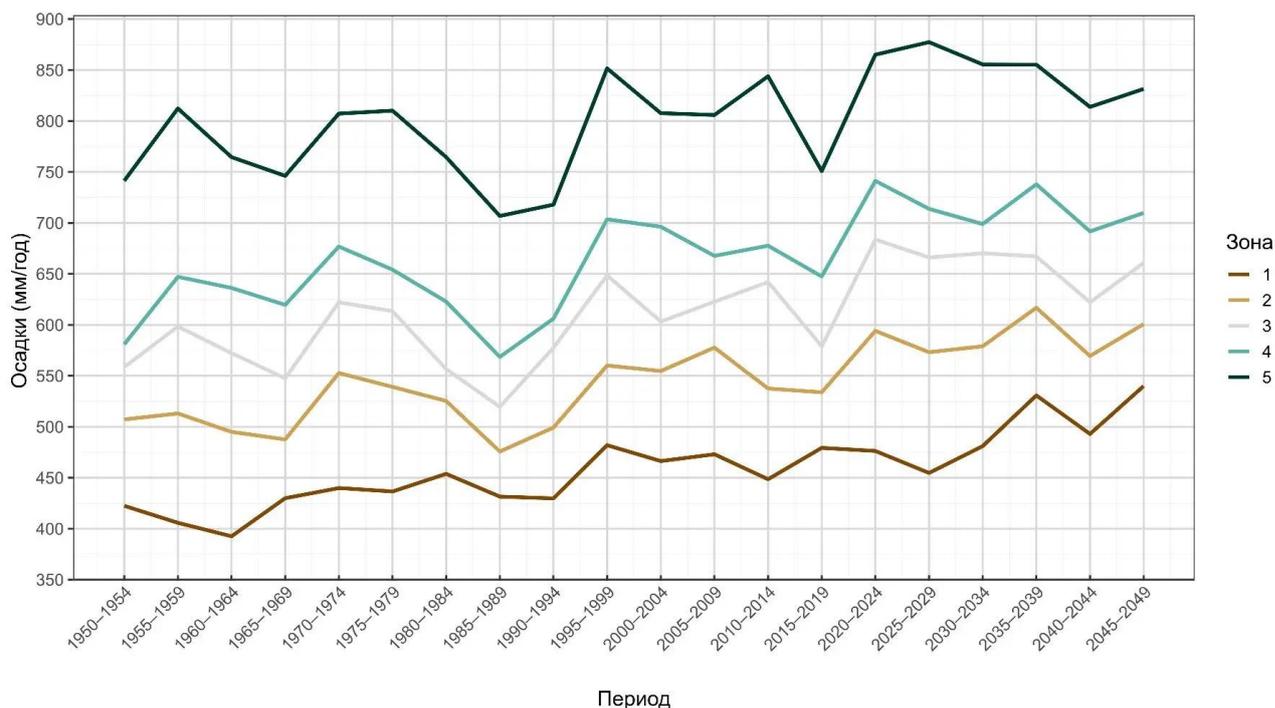


Рисунок 1.9. – Ход средних пятилетних сумм осадков в пяти климатических зонах Уральского федерального округа (границы зон приведены на рисунке 1.8).

поведение графика по сравнению с остальными.

Проведенный анализ средних пятилетних значений температуры воздуха и сумм осадков на территории Уральского федерального округа за период 1950–2049 гг., на основе данных реанализа *ERA5* за 1950–2025 гг. и прогнозных значений, полученных с использованием модели *BCC-CSM1-1-M* за 2026–2049 гг. позволили выявить следующие закономерности:

1. На территории Уральского федерального округа наблюдается устойчивый тренд к повышению температуры воздуха и увеличению количества атмосферных осадков.
2. Несмотря на то, что выявленная тенденция соответствует гумидному типу потепления, синхронного увеличения температур и осадков по пятилетиям не обнаружено.
3. Для атмосферных осадков характерна более высокая пространственная неоднородность в пределах исследуемого района по сравнению с температурой воздуха.
4. В пределах однородных зон, выделенных по средним пятилетним суммам осадков, амплитуда колебаний данного показателя уменьшается в направлении с севера на юг.

## **2. Совершенствование лесопользования и озеленения в регионах с неблагоприятными лесорастительными условиями при меняющемся климате**

### **2.1 Совершенствование охраны лесов от пожаров**

Известно, что даже незначительные колебания климатических показателей, в частности, температуры воздуха, запускают цепную реакцию целого комплекса других, сложно предсказуемых изменений. Меняются розы ветров и существенно увеличивается количество экстремальных погодных явлений. Увеличивается вероятность появления ураганных ветров, формирование блокирующих антициклонов. Даже при сравнительно небольшом изменении среднегодового количества осадков наблюдается значительное количество засушливых дней, увеличивается продолжительность пожароопасного сезона, а беглые весенние пожары сменяются устойчивыми летними. Последние, в отличие от беглых весенних низовых пожаров, приводят, чаще всего, к гибели или сильному повреждению насаждений и существенно сложнее в плане ликвидации [16]. В последние десятилетия, в связи с изменениями климата прослеживается четкая тенденция увеличения количества пожаров даже за северным полярным кругом, то есть выше 66<sup>0</sup> северной широты. Указанное свидетельствует, что при проектировании и организации охраны лесов от пожаров необходимо учитывать погодную составляющую [17].

Об эффективности работы по охране лесов от пожаров можно судить по результатам сравнения показателей фактической горимости лесов в странах с примерно близкими природно-климатическими условиями. Для России к таким странам можно отнести США и Канаду. Исследования показали, что в США ежегодно возникает около 60 тыс. природных пожаров, в Канаде около 8 тыс. пожаров, а в России в среднем за пятилетие 13 тыс. природных пожаров. При этом пройденная огнем площадь в США составляет 2,2 млн. га (в среднем за год с 1983 по 2023 гг.) [18], в Канаде – 2,1 млн. га (в среднем за год в период с 1980 по 2023 гг.) [19], а в России – 7,8 млн. га [20].

Роль лесных пожаров в снижении продуктивности лесов и ухудшении экологической обстановки нельзя недооценивать. Именно лесные пожары за считанные часы могут уничтожить труд нескольких поколений лесоводов. Не случайно большое внимание при проведении исследований нами уделялось совершенствованию охраны лесов от пожаров [21].

В ходе исследований проводились работы по анализу горимости лесов [22–23] и совершенствованию планов противопожарного обустройства [24].

Выполненные исследования свидетельствуют о том, что современное изменение климата будет способствовать увеличению показателей фактической горимости лесов и

требует, в свою очередь, принятия адекватных мер по защите лесов, объектов экономики и населенных пунктов от природных (ландшафтных) пожаров в целом и лесных пожаров в частности. Минимизация послепожарного ущерба может быть обеспечена только при условии эффективного противопожарного устройства лесов и правильной организации охраны лесов от пожаров. В частности, для более объективного планирования работы лесопожарных служб нами разработана шкала классов пожарной опасности по условиям погоды для Свердловской области.

В процессе исследований значения комплексных показателей, рассчитанных по методике В.Г. Нестерова, а также таковым, разработанным сотрудниками ЛенНИИЛХ, наносилась на график вместе с календарными датами и количеством лесных пожаров (рисунок 2.1).

На основании анализа графиков, приведенных рисунке 2.1 установлены две закономерности:

1. В районе исследований прослеживаются 2 пика горимости. При этом первый зафиксирован в конце апреля – начале мая и характеризуется высокой горимостью при низких значениях класса пожарной опасность (КПО). Второй после окончания мая, когда при высоких значениях КПО наблюдается низкая горимость.

2. Наиболее достоверно описывает пожарную ситуацию методика ПВ-1.

Установленные закономерности обусловили разделение региональной шкалы классов пожарной опасности по условиям погоды на два сезона (периода) с использованием установления КПО по методике ПВ-1 [25].

Критерием для распределения служила вероятность возникновения пожара. При первом КПО допускается не более 3, при втором 3,1–20, при третьем – 20,1–45, при четвертом – 45,1–75 и при пятом – 75,1 – 100% случаев всех пожаров. Расчетные показатели приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Расчетные показатели значения комплексного показателя пожарной опасности

КПО	Доля возникающих пожаров, %	Период	
		Апрель-май	Июнь-октябрь
1	3	0–258	0–330
2	20	259–544	331–989
3	45	545–1224	990–1746
4	75	1225–2038	1747–3543
5	100	2039 и более	3544 и более

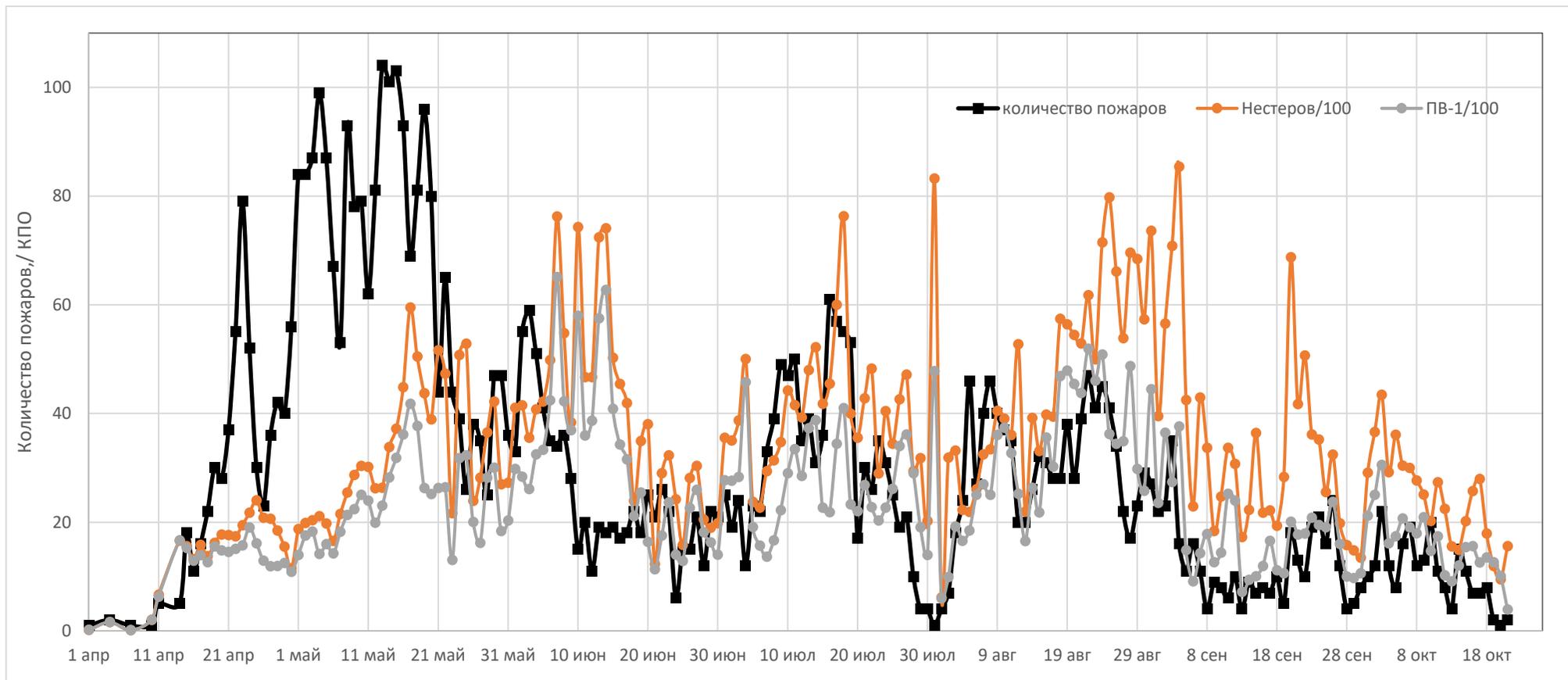


Рисунок 2.1 – Количество пожаров и класс пожарной опасности, рассчитанный по разным методикам, для Свердловской области, шт.

Для удобства пользования шкалой значения комплексного показателя округлены до сотен (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Региональная шкала КПО для Свердловской области, рассчитанная на основе комплексного показателя ПВ-1

Субъект РФ	Временной период пожаро-опасного сезона	Значения комплексного показателя ПВ-1 по КПО				
		I	II	III	IV	V
Свердловская область	Апрель–май	0–300	301–500	501–1200	1201–2000	Более 2000
	Июнь–октябрь	0–300	300–1000	1001–1700	1701–3500	Более 3500

Увеличение температуры воздуха и уменьшение количества осадков способствуют высыханию лесной подстилки и усложняют остановку с наиболее частыми низовыми пожарами. Нами для создания минерализованных полос предложено использование детонирующего шнура ДШН-80 (таблица 2.3). Использование указанного шнура особенно эффективно в труднодоступных районах, куда сложно перебросить землеройную технику. Выполненные нами исследования [26] позволили предложить производству рекомендации по применению ДШН-80 в насаждениях различных типов леса.

Таблица 2.3 – Количество шнуров ДШН-80, необходимых для прокладки минерализованных полос и канав

Тип леса	Мощность лесной подстилки (торфа), см	Количество шнуров, шт.
Лишайниковый	< 5	1
Бруснично-лишайниковый	< 10	2
Брусничный	< 15	3
Долгомошный	< 20	3
Сфагновый	< 25	4
Сфагновый	< 35	5

Разработанная шкала передана для включения в готовящийся нормативный документ по определению классов пожарной опасности по лесным районам. Детальное описание разработки шкалы опубликовано в работе Шкала классов пожарной опасности по условиям погоды для Свердловской области [27].

Полагаем, что выполненные нами разработки позволят существенно повысить эффективность охраны лесов от пожаров и минимизируют послепожарный ущерб.

Так как основной причиной лесных пожаров является неосторожное обращение с огнем, нами проведены экспериментальные исследования зажигания торфа от

непотушенных окурков на осушенных болотах [28]. В результате выполненных исследований установлено, что различные по своей поверхности и растительности участки осушенного торфяного болота могут существенно различаться по вероятности возникновения торфяного пожара от одного источника зажигания. Вероятность возникновения очага тления от непотушенного окурка невелика при полном отсутствии ветра в приземном слое воздуха. При скорости ветра от 1 до 3 м/с вероятность возникновения пожара от окурка возрастает, а при скорости ветра 2,5–3 м/с фрезерный торф с влажностью 10% загорается от каждого второго окурка.

Снижение опасности возникновения торфяных пожаров можно обеспечить пескованием открытых участков торфа, оставшихся в местах бывшей фрезерной добычи. Экспериментально установлено, что даже относительно небольшим объемом песка (2,5 кг/м<sup>2</sup>) в местах, где вероятно выбрасывание непотушенных окурков, можно минимизировать опасность возникновения торфяных пожаров.

Полученные данные могут быть использованы при проектировании противопожарного устройства на осушенных торфяниках. В частности, выполнение пескования позволит минимизировать пожарную опасность вокруг мест отдыха, вдоль дорог и троп, проложенных по территории осушенных торфяников и по границам с ними. Высокая вероятность возникновения торфяных пожаров от непотушенных окурков свидетельствует о необходимости запрещения курения во время нахождения на осушенных болотах, за исключением специализированных мест, особенно в сухую ветреную погоду.

При оборудовании мест отдыха и приготовления пищи следует предусмотреть помимо пескования создание защитных экранов, препятствующих ветру в приземных слоях воздуха, что исключит возгорания от мелких источников огня, таких как окурки [28].

## **2.2 Совершенствование лесопользования в условиях меняющегося климата**

Наблюдающиеся изменения климата вызывают необходимость пересмотра концепции ведения лесного хозяйства. Сложность последнего объясняется тем, что в различных регионах страны последствия изменения климата проявляются по-разному. Так, в лесостепной зоне негативные последствия изменения климата проявляются в недостатке влаги, в таежной зоне – в продвижении на север ареалов многих вторичных вредителей, а в северных районах – в оттаивании многолетней мерзлоты. Указанные факторы влияют не только на потенциальную горимость лесов, о чем было сказано ранее, но и на рост древесной растительности и устойчивость лесных насаждений. Последнее необходимо учитывать при планировании и проведении всех лесоводственных мероприятий.

В процессе проведения исследований нами изучалось современное состояние еловых насаждений [29–30]. Известно, что еловые насаждения с поверхностной корневой системой наиболее подвержены негативному воздействию засух и штормовых ветров. Именно еловые насаждения интенсивно заселяются стволовыми вредителями в частности, короедом типографом (*Ips typographus* L.), что приводит к их массовому усыханию.

Установлено, что одним из путей повышения продуктивности и устойчивости еловых насаждений является снижение возраста спелости и первостепенное вовлечение в рубку перестойных насаждений.

Экспериментально установлено, что в арендных участках крупных целлюлозно-бумажных комбинатов (с объемом заготовки 500 тыс. м<sup>3</sup>/год и более) возраст спелости целесообразно устанавливать не по количественной, а по технической спелости наиболее востребованных сортиментов – балансов. На основе анализа баз лесостроительных материалов [31] и пробных площадей установлено, что максимальный выход балансов может быть получен на класс возраста раньше, чем это указано при возрасте количественной спелости.

Снижение возраста спелости, без дополнительных финансовых вложений позволит решить целый ряд экономических и экологических задач.

Во-первых, снижение возраста спелости уменьшит оборот рубки и по нашим подсчетам в 1,5 раза повысит продуктивность лесов за счет более высокого прироста и короткого оборота рубки.

Во-вторых, минимизируются риски ветровала и бурелома в еловых насаждениях, поскольку устойчивость против сильного ветра понижается в старовозрастных насаждениях.

В-третьих, по причине более раннего поступления насаждений в рубку уменьшается масса напочвенных горючих материалов и минимизируются риски гибели древостоев от лесных пожаров.

В-четвертых, улучшается санитарное состояние лесов, так как напенная гниль ели, как правило, появляется в древостоях старше 100 лет.

В-пятых, в связи с изменением климата резко возрастает опасность эпифитотий стволовых вредителей, в частности, короеда типографа (*Ips typographus* L.). Проведенными нами ранее исследованиями [32–33] установлено, что в условиях Пермского края короед типограф практически не повреждает деревья ели с диаметром на высоте 1,3 м менее 16 см. Следовательно, снижение возраста спелости и переход на заготовку хвойных балансов предотвратит развитие очагов короеда типографа в еловых насаждениях.

Снижение возраста спелости будет способствовать ускорению депонирования углерода в выращиваемой древесине, минимизирует риски гибели еловых насаждений от пожаров, сильных ветров и эпифитотий стволовых вредителей, но потребует перехода не искусственное и комбинированное лесовосстановление [34].

Помимо снижения возраста спелости нами обобщен опыт рубок переформирования производных березовых насаждений в коренные кедровники [35], а также проанализирована лесоводственная эффективность использования при заготовке древесины многооперационных машин [36].

Выполненные исследования позволили вскрыть проблемы современного лесопользования [37] и дать предложения по интенсификации ведения лесного хозяйства как основы современного лесопользования [38].

Как отмечалось ранее увеличение продолжительности теплого периода и ослабление насаждений приводит к эпифитотиям насекомых вредителей леса. Так, в частности, большую опасность представляет сибирский шелкопряд. Очаг данного вредителя был зафиксирован в Тюменской области в защитных и эксплуатационных лесах. Нами в процессе исследований были проведены биологические и химические меры борьбы с сибирским шелкопрядом и установлена эффективность проведения данных мероприятий. Результаты исследований опубликованы в работе Л.Е. Кузнецова и С.В. Залесова [39]. В результате выполненного исследования установлено, что при организации четкого лесопатологического мониторинга и принятия своевременных мер можно предотвратить образование очагов вредителей или ликвидировать их на минимальной площади, используя современные биологические и химические препараты.

Известно, что существуют три способа лесовосстановления: искусственный, комбинированный и естественный. Последний предполагает проведение мер содействия естественному лесовозобновлению [40]. Традиционно на территории Российской Федерации доминирует естественный способ лесовосстановления, обеспечивающий при минимальных затратах формирование на вырубках целевых насаждений из семян местных климатипов.

В то же время в лесостепной зоне расчет на естественное лесовосстановление не всегда оказывается оправданным из-за различных объективных и субъективных причин, что вызывает необходимость создания искусственных насаждений. Успешность создания лесных культур в лесостепной зоне во многом зависит от качественной подготовки почвы. Традиционная посадка сеянцев в дно борозд, проложенных плугом ПКЛ-70 в условиях лесостепной зоны, чаще всего не дает положительных результатов из-за интенсивного разрастания травянистой растительности. В данных условиях нами апробирован и

исследован способ подготовки почвы снятием дернины специальным клином агрегируемым трактором. Имеющаяся древесина и дернина концентрируются в валы шириной полтора метра и высотой 0,5–1,0 м. При этом перемешивание валежной древесины с почвой способствует ее быстрой деструкции. На проложенных минерализованных полосах создаются лесные культуры сосны обыкновенной. Поскольку травянистая растительность распространяется преимущественно вегетативным способом, проложенные полосы зарастают медленно и в первые два года после создания лесных культур можно отказаться от агротехнических уходов. Разработанный и апробированный в Западно-Сибирском подтаежно-лесостепном районе способ подготовки почвы может быть использован в других регионах со сходными лесорастительными условиями [41].

Наиболее перспективным видом для создания лесных культур в зоне степей является сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Исследования, выполненные на крупноплощадных горях Алтайского края (Ключевское лесничество) показали, что таксационная характеристика лесных культур, созданных сеянцами с закрытой (ЗКС) и открытой (ОКС) корневыми системами существенно различается (таблица 2.4).

Таблица 2.4 – Таксационная характеристика исследуемых участков лесных культур по данным пробных площадей

ПП	Состав древостоя	Давность создания лесных культур, лет	Элемент леса	Количество растений, шт.	Средние				Текущая густота, шт./га	Сохранность лесных культур, %
					биологический возраст, лет	высота, м	диаметр			
							на высоте 1,3 м, см	у основания ствола, см		
ОКС										
1	10С+С	5	10С	436	7	0,58	–	1,6	1744	48,4
			+С	2	10	2,24	3,1	6,8	8	–
2	10С	9	10С	911	11	2,60	2,3	4,7	3555	84,6
3		8	10С	1195	10	2,20	1,9	4,5	4594	80,6
4		9	10С	813	11	2,90	2,9	4,8	2895	76,2
ЗКС										
5	10С+С	6	10С	359	8	0,82	–	2,9	1436	47,9
			+С	4	9	1,24	1,9	4,5	16	–
6			10С	225	7	0,78	–	2,2	882	44,1
			+С	6	10	2,00	2,5	6,2	24	–
7			10С	188	7	0,79	0,7	2,4	734	36,7
			+С	17	10	2,00	2,3	5,8	66	–
8	10С	10С	308	7	0,86	–	2,2	1208	54,9	
9		10С	240	7	0,74	1,5	2,5	960	38,4	

Помимо сохранности лесные культуры существенно различаются по величине текущего прироста центрального побега, что наглядно прослеживается на материалах таблицы 2.5 и рисунка 2.2.

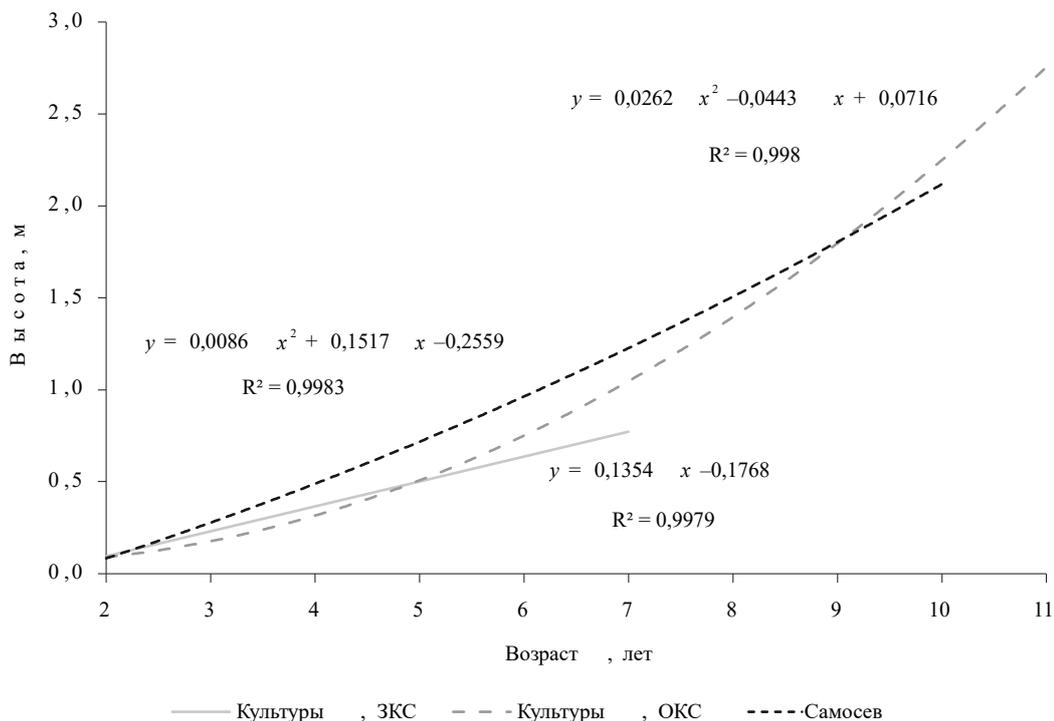


Рисунок 2.2 – Ход роста по высоте культур и самосева сосны обыкновенной

Таблица 2.5 – Текущие приросты по высоте деревьев сосны на исследуемых участках лесных культур по данным ПП, см

ПП	Биологический возраст, лет									
	1 и 2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Культуры, ОКС</i>										
1	6,9	8,1	11,1	16,4	7,6	7,9	–	–	–	–
2	12,0	8,7	11,9	22,2	20,5	35,5	32,4	33,9	34,7	45,5
3	11,8	4,8	13,3	22,7	32,3	26,9	31,2	32,1	39,1	–
4	12,1	5,8	12,2	20,5	24,3	43,7	39,3	41,6	40,2	50,1
<i>Среднее</i>	10,7	6,9	12,1	20,5	21,2	28,5	34,3	35,9	38,0	47,8
<i>Культуры, ЗКС</i>										
5	7,2	6,7	10,0	17,3	13,1	12,6	14,9	–	–	–
6	10,0	14,1	17,9	14,7	8,5	12,3	–	–	–	–
7	9,9	13,3	16,3	15,3	11,4	12,4	–	–	–	–
8	10,1	15,3	17,1	17,2	10,1	16,0	–	–	–	–
9	9,9	12,3	13,6	12,4	10,2	15,3	–	–	–	–
<i>Среднее</i>	9,4	12,3	15,0	15,4	10,7	13,7	14,9	–	–	–

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Самосев</i>										
1	6,8	17,4	18,8	21,6	36,6	37,6	32,4	25,4	27,0	–
5	12,5	14,8	13,4	15,4	16,3	19,0	16,4	16,2	–	–
6	10,8	13,4	19,2	20,4	31,6	32,0	26,0	20,8	24,6	–
7	10,2	13,8	18,8	26,4	34,2	32,0	23,0	24,8	28,3	–
<i>Среднее</i>	10,1	14,9	17,6	21,0	29,7	30,2	24,5	21,8	26,6	–

Материалы таблицы 2.5 наглядно свидетельствуют, что в лесных культурах имеет место самосев, который характеризуется значительным текущим приростом.

Выполненные исследования показали, что в условиях сухой степи Алтайского края сохранность семян с ЗКС составляет 44,4%, а с ОКС – 72,5% [42]. Близкие результаты получены нами и при анализе опыта создания лесных культур с ОКС и ЗКС в Ракитовском лесничестве Алтайского края [43]. Спустя 3–5 лет после создания лесных культур в условиях типа леса сухой бор пологих всхолмлений сохранность при использовании семян с ЗКС составила 39,8, а с ОКС – 50,6%.

Таким образом, сохранность лесных культур, созданных сеянцами с ОКС, оказалась выше, чем с ЗКС. Если учесть, что первые значительно дешевле, то напрашивается вывод об отказе от семян с ЗКС. Однако короткий срок исследований вызывает необходимость проведения работ в направлении установления причин низкой сохранности лесных культур, созданных сеянцами с ЗКС.

Естественно, что выбор способа лесовосстановления зависит от наличия жизнеспособного подростка хозяйственно ценных пород. Нашими исследованиями подтвержден вывод о том, что количество подростка в насаждениях одной формации зависит от типа леса и интенсивности антропогенного воздействия [44–45].

При этом создание лесных культур или меры содействия естественному возобновлению в значительной степени зависят от рельефа местности. Так, в частности, на склонах подготовка почвы механизированным способом затруднена из-за крутизны склона и высокой каменистости. Кроме того, полосная подготовка почвы под лесные культуры может вызвать эрозию. Результаты выполненных исследований показали, что оптимальной на крутых горных склонах является подготовка почвы под лесные культуры луночным или площадковыми методами, что создает условия для накопления зимних осадков, предотвращает эрозию почвы и способствует повышению приживаемости и сохранности высаженных семян [46–48].

Успешность лесовосстановления зависит также от площади вырубки или гари [49] и от географического местоположения [50]. Особенно важно иметь объективные данные о лесовосстановлении в подзоне северной тайги, где изменение климата проявляется наиболее существенно. При проведении исследований нами особое внимание было уделено лесовосстановлению и лесоразведению на нарушенных землях Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО), где жесткие климатические условия сочетаются с интенсивными антропогенными нагрузками, обусловленными развитием нефтегазового комплекса. Известно, что разведка, добыча и транспортировка углеводородного сырья вызывает необходимость отсыпки площадок линейных и площадных объектов песком из-за заболоченности местности. Песок для отсыпки добывается в сухоройных и гидронамывных карьерах. После завершения добычи песка сухоройные карьером и подштабельные основания гидронамывных карьеров оставляются под естественное зарастивание или рекультивируются посевом травосмесей.

Выполненные нами в подзоне северной тайги исследования показали, что естественное зарастание выработанных песчаных карьеров растягивается на многие десятилетия. Кроме того, нередко наблюдается разнос песка ветром на сопредельные территории с образованием так называемых песчаных раздувов.

Посев травосмесей также не обеспечивает желаемого эффекта, поскольку из-за низкого потенциального плодородия субстрата дернина не формируется, а нанос семян древесных растений затруднен из-за периодичности семенных лет.

Проведенные комплексные исследования показали, что наиболее перспективным направлением рекультивации в условиях подзоны северной тайги ЯНАО является лесохозяйственная. При техническом этапе рекультивации помимо выравнивания рекультивируемого участка и сглаживания откосов производится нанесение на поверхность слоя торфо-песчаной смеси или торфа толщиной 20–25 см. При рассыпке торфа необходимо его перемешивание с песком путем дискования во избежание повышения потенциальной пожарной опасности. Покрытие поверхности нарушенных земель слоем торфо-песчаной смеси не только повышает потенциальное плодородие грунтов, увеличивает влажность верхнего горизонта формируемой почвы, но и предотвращает раздув песка ветром. Кроме того, прекращение перевевания песка создает оптимальные условия для накопления самосева сосны обыкновенной и других древесных пород, а, следовательно, формирования насаждений. Благодаря последнему мелкоплощадные карьеры, расположенные внутри надежных источников обсеменения, могут оставляться под естественное зарастивание.

На значительных по площади карьерах после добычи песка, а также на других видах нарушенных земель таких как кустовые площадки, линейные объекты, песчаные раздувы,

после покрытия поверхности торфо-песчаной смесью создаются лесные культуры. На участках с избыточным увлажнением лесные культуры целесообразно создавать посадкой черенков ивы местных климатипов. Посадка ивы будет способствовать в будущем снижению избыточного увлажнения и накоплению подроста других древесных пород лесообразователей. В частности, берез повислой (*Betula pendula* Roth.) и пушистой (*B. pubescens* Ehrh.), которые в условиях подзоны северной тайги создают насаждения, превосходящие сосновые по производительности и экологической ценности.

На сухих участках нарушенных земель после технического этапа рекультивации целесообразно создание лесных культур сосны обыкновенной. Выполненные нами исследования показали, что лучшей приживаемостью характеризуются лесные культуры, созданные сеянцами с ЗКС. Однако данный вывод следует считать предварительным из-за слишком короткого периода использования сеянцев с ЗКС по сравнению с ОКС.

Создание лесных культур в редицах в подавляющем большинстве случаев оказалась нецелесообразным. Последнее объясняется тем, что большинство редиц сформировалось естественно из-за низкого плодородия песчаных почв и сохранившаяся часть древостоя полностью использует, имеющиеся в верхних горизонтах почвы, питательные элементы и влагу. Указанное подтверждается отсутствием самосева под пологом редиц.

Подробно материалы исследований эффективности лесохозяйственного направления рекультивации изложены в подготовленной диссертационной работе на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук [51].

### **2.3 Создание объектов озеленения и расширение биологического разнообразия в условиях меняющегося климата**

Президент страны ставит одной из главных задач улучшение жизни населения. Реализация данного указания невозможна без создания комфортной среды проживания и отдыха населения [52–53]. Особенно важно в этом плане создание устойчивых, декоративно привлекательных объектов озеленения и лесных парков, где местное население и туристы могут отдохнуть на лоне природы и любоваться местными красотами. К сожалению, нередко при создании декоративно привлекательных насаждений и объектов озеленения возникают существенные сложности, связанные с жесткими лесорастительными условиями. Видовое разнообразие древесных растений в экстремальных лесорастительных условиях ограничено. Кроме того, в его составе относительно мало цветущих растений. Указанное вызывает необходимость использования древесных интродуцентов. Однако перспективность последних в ряде регионов страны слабо изучена, что приводит к гибели

завезенных видов, неоправданным затратам и дискредитации самой идеи использования интродуцентов. Указанное в полной мере относится к Ямало-Ненецкому автономному округу и Северному Казахстану.

Для оценки перспективности древесных интродуцентов нами использовалась методика Главного Ботанического сада [54], дополненная и уточненная в региональных условиях [55–56].

Показатели перспективности интродуцентов устанавливались на основе бальной оценки в соответствии с требованиями таблице 2.6.

На основании данных таблицы 2.6 устанавливался средний балл перспективности каждого конкретного вида, как сумма значений баллов, установленных по каждому из признаков. На основе полученных значений в соответствии с таблицей 2.7 производилась интегральная оценка перспективности вида.

Таблица 2.6 – Показатели оценки жизнеспособности древесных растений и перспективности их выращивания

Показатель	Балл
1	2
<i>Степень ежегодного вызревания побегов</i>	
Побеги вызревают на 100 %	20
Побеги вызревают на 75 – 100 %	15-20
Побеги вызревают на 50 – 75 %	10-15
Побеги вызревают на 25 – 50 %	5-10
Побеги вызревают на 0 – 25 %	1-5
<i>Зимостойкость растений</i>	
Повреждений нет	25
Обмерзает не более 50 % длины однолетних побегов	24-20
Обмерзает 60-100 % однолетних побегов	19-15
Обмерзают двулетние и более старые части растений	10
Обмерзает крона до уровня снегового покрова	5
Обмерзает вся надземная часть	3
Растение полностью вымерзает	1
При обмерзании хвои на однолетних побегах до 10 %	минус 1
При обмерзании хвои на однолетних побегах до 25 %	минус 2
При обмерзании хвои на однолетних побегах до 50 %	минус 3
При обмерзании хвои на однолетних побегах до 75 %	минус 4
При обмерзании хвои на однолетних побегах до 100 %	минус 5
При обмерзании хвои на однолетних побегах и более старых частях растений, что не приводит к гибели этих частей растений	минус 10
При обмерзании хвои на однолетних побегах и более старых частях растений, что ведет к гибели этих частей растений	минус 15
При повреждении у хвойных растений на побегах почек, находящихся на концах побегов (термальных)	минус 1
При повреждении у хвойных растений на побегах пазушных почек (аксиллярных)	минус 2

1	2
<i>Сохранение габитуса</i>	
Растения сохраняют присущую им форму роста и жизненную форму	10
Растения ежегодно повреждаются факторами среды, но способны восстанавливать присущую им в природе форму роста	5
Растения не сохраняют и не восстанавливают присущую им в природе форму роста	1
<i>Побегообразовательная способность</i>	
Высокая побегообразовательная способность	5
Средняя побегообразовательная способность	3
Низкая побегообразовательная способность	1
<i>Прирост растений в высоту</i>	
Ежегодный	5
Не ежегодный	1
<i>Способность растений к генеративному развитию</i>	
Семена созревают	25
Семена не созревают	20
Растения цветут, но не плодоносят	15
Не цветут	1
<i>Возможные способы размножения растений в культуре</i>	
Самосев	10
Искусственный посев	5
Естественное вегетативное размножение	3
Искусственное вегетативное размножение	2*
Повторное привлечение растений извне	1
<i>Шкала интегральной оценки успешности интродукции</i>	
Самые перспективные	91-100
Перспективные	76-90
Менее перспективные	61-75
Малоперспективные	41-60
Неперспективные	21-40
Непригодные	5-20

\* Модификации, внесенные автором данной работы в методику ГБС

Таблица 2.7 – Шкала интегральной оценки успешности интродукции древесных растений

Класс	Класс перспективности	Сумма баллов для цветущих особей
I	Самые перспективные	91–100
II	Перспективные	76–90
III	Менее перспективные	61–75
IV	Малоперспективные	41–60
V	Неперспективные	21–40
VI	Непригодные	5–20

При оценке декоративности древесных интродуцентов использовалась универсальная методика комплексной оценки декоративности [57], которая позволяла оценить декоративность в течение года по шести признакам: архитектура кроны, листья

(хвоя), цветки и соцветия (пыление), плоды (шишки), окраска и фактура коры, оригинальность. Указанные показатели характеризовались баллами, а сумма баллов позволяла отнести интродуцент к одной из четырех групп декоративности:

- менее 200 баллов – недекоративные;
- 201–350 баллов – малодекоративные;
- 351–500 баллов – среднедекоративные;
- более 500 баллов – высокодекоративные.

В процессе исследований была проанализирована перспективность и декоративность древесных растений в Северном Казахстане [58–60], на Среднем Урале [61] и в ЯНАО [62].

В процессе исследований, выполненных на Среднем Урале, было проанализировано 36 видов, сортов и форм лиственных древесных интродуцентов в городе Екатеринбурге и его окрестностях.

При этом исследованиями были охвачены 6 интродуцентов рода липа (*Tilia* L.), три – рода береза (*Betula* L.), 5 – рода клен (*Acer* L.), 8 – рода яблоня (*Malus* Mill.), 4 – рода дёрен (*Cornus* L.), один – рода бархат (*Phellodendron* Rupr.), один – рода вяз (*Ulmus* L.), один – рода ирга (*Amelanchier* Medik.), один – рода рябина (*Sorbus* L.), один – рода черёмуха (*Padus* Mill.), один – рода лещина (*Corylus* L.), два – рода бузина (*Sambucus* L.), один – рода сирень (*Syringa* L.) и один рода – рода ива (*Salix* L.) (таблица 2.8).

Таблица 2.8 – Перспективность и декоративность лиственных древесных интродуцентов для озеленения на Среднем Урале

Вид (сорт, форма)	Перспективность		Декоративность	
	балл	оценка	балл	оценка
1	2	3	4	5
Липа европейская "Pallida" <i>Tilia europaea</i> 'Pallida'	68	МНП	287	М
Липа мелколистная "Greenspire" <i>Tilia cordata</i> 'Greenspire'	88	П	371	СП
Липа крупнолистная видовая <i>Tilia platyphyllos</i> Scop.	68	МНП	289	М
Липа мелколистная "Winter Orange" <i>Tilia cordata</i> 'Winter Orange'	18	НПГ	152	Н
Липа "Green Globe" <i>Tilia cordata</i> 'Green Globe'	88	П	411	СП
Липа мелколистная "Rancho" <i>Tilia cordata</i> 'Rancho'	88	П	381	СП
Берёза повислая сорт "Youngii" <i>Betula pendula</i> 'Youngii'	92	СП	464	СП
Берёза повислая сорт "Purpurea" <i>Betula pendula</i> 'Purpurea'	65	МНП	385	СП

1	2	3	4	5
Берёза повислая сорт "Crispa" ("Далекарлика") <i>Betula pendula 'Crispa'</i>	82	П	561	В
Клен остролистный "Globosum" <i>Acer platanoides 'Globosum'</i>	57	МЛП	249	М
Клен остролистный "Deborah" <i>Acer platanoides 'Deborah'</i>	66	МНП	244	М
Клен остролистный "Royal Red" <i>Acer platanoides 'Royal Red'</i>	33	НП	253	М
Клен остролистный "Drummondii" <i>Acer platanoides 'Drummondii'</i>	71	МНП	393	СР
Клен сахаристый (серебристый) <i>Acer saccharinum</i> L.	88	П	374	СР
Яблоня "Royal Beauty" <i>Malus 'Royal Beauty'</i>	61	МНП	313	М
Яблоня "Mokum" <i>Malus 'Mokum'</i>	89	П	434	СР
Яблоня "Royalty" <i>Malus 'Royalty'</i>	90	П	531	В
Яблоня "Scarlet" (сорт Зибольда) <i>Malus toringo 'Scarlet'</i>	66	МНП	300	М
Яблоня "Ola" <i>Malus 'Ola'</i>	90	П	494	СР
Яблоня "Rudolph" <i>Malus 'Rudolph'</i>	90	П	492	СР
Яблоня "Director Moerland" <i>Malus 'Director Moerland'</i>	37	НП	292	М
Яблоня "Red Obelisk" <i>Malus 'Red Obelisk'</i>	85	П	502	В
Дерен белый "Aurea" <i>Cornus alba 'Aurea'</i>	90	П	393	СР
Дерен отпрысковый "Flaviramea" <i>Cornus stolonifera 'Flaviramea'</i>	70	МНП	226	М
Дерен белый "Ivory Halo" <i>Cornus alba 'Ivory Halo'</i>	90	П	426	СР
Дерен белый "Kesselringii" <i>Cornus alba 'Kesselringii'</i>	70	МНП	318	М
Бархат амурский <i>Phellodendron amurense</i> Rupr.	69	МНП	277	М
Вяз шершавый "Camperdownii" <i>Ulmus glabra 'Camperdownii'</i>	42	МЛП	152	Н
Ирга Ламарка (И. канадская.) <i>Amelanchier lamarckii</i> (A. canadensis HORT.)	64	МНП	246	М
Рябина обыкновенная "Fastigiata" <i>Sorbus aucuparia 'Fastigiata'</i>	90	П	459	СР
Черемуха виргинская "Shubert" <i>Prunus virginiana 'Shubert'</i>	85	П	428	СР

1	2	3	4	5
Лещина обыкновенная ф. темно-пурпуровая <i>Corylus avellana f. Atropurpurea</i>	30	НП	170	Н
Бузина черная "Black Lace" <i>Sambucus nigra 'Black Lace'</i>	30	НП	190	Н
Бузина черная "Golden Tower" <i>Sambucus nigra f. porphyrophylla 'Golden Tower'</i>	34	НП	250	М
Сирень Мейера "Palibin" <i>Syringa meyeri 'Palibin'</i>	92	СП	381	СП
Ива пурпурная "Nana" <i>Salix Purpurea 'Nana'</i>	48	МЛП	187	Н

Примечание:

СП – самые перспективные; П – перспективные, МНП – менее перспективные; МЛП – малоперспективные; НП – неперспективные; НПГ – непригодные

В – высокодекоративные; СП – среднедекоративные; М – малодекоративные; Н – недекоративные

Помимо лиственных видов была проанализирована перспективность и декоративность 31 таксона хвойных.

Исследования позволили проанализировать древесные интродуценты следующих родов: род ель (*Picea* A. Dietr.) – 11 шт., род сосна (*Pinus* L.) – 11 шт., род лиственница (*Larix* Mill.) – 3 шт., род можжевельник (*Juniperus* L.) – 2 шт., род пихта (*Abies* Mill.) – 2 шт., род сциадопитис (*Sciadopitys* Zucc.) – 1 шт., род микробиота (*Microbiota* Kom.) – 1 шт. (таблица 2.9).

Таблица 2.9 – Перспективность и декоративность хвойных интродуцентов для озеленения на Среднем Урале

Вид (сорт, форма)	Перспективность		Декоративность	
	балл	оценка	балл	оценка
1	2	3	4	5
Ель колючая "Hoopsii" <i>Picea pungens «Hoopsii»</i>	78	П	594	В
Ель сербская <i>Picea omorika Purk</i>	85	П	480	СП
Ель колючая "Glauca Globosa" <i>Picea pungens 'Glauca Globosa'</i>	67	П	588	В
Ель колючая "Isely Fastigiata" <i>Picea pungens 'Isely Fastigiata'</i>	67	П	508	В
Ель колючая "Mai Gold" <i>Picea pungens 'Mai Gold'</i>	67	П	457	СП
Ель колючая "Bialobok" <i>Picea pungens 'Bialobok'</i>	67	П	457	СП

Продолжение таблицы 2.9

1	2	3	4	5
Ель колючая "Glauca Prostrata" <i>Picea pungens 'Glauca Prostrata'</i>	67	П	492	СР
Ель колючая "Glauca Pendula" <i>Picea pungens 'Glauca Pendula'</i>	67	МНП	504	В
Ель обыкновенная карликовая "Nidiformis" <i>Picea abies 'Nidiformis' Beissner</i>	62	МНП	367	СР
Ель обыкновенная "Inversa" <i>Picea abies 'Inversa'</i>	67	МНП	409	СР
Ель обыкновенная "Acrokona" <i>Picea abies 'Acrokona'</i>	87	П	527	В
Сосна обыкновенная "Watereri" <i>Pinus sylvestris «watereri»</i>	72	МНП	375	СР
Сосна горная "Pumilio" <i>Pinus mugo var. pumilio</i> Haenke	95	СП	421	СР
Сосна горная "Mops" <i>Pinus. mugo 'Mops'</i>	68	МНП	396	СР
Сосна горная "Hnızdo" <i>Pinus mugo 'Hnızdo'</i>	41	МЛП	192	Н
Сосна горная "Paradekissen" <i>Pinus mugo 'Paradekissen'</i>	42	МЛП	192	Н
Сосна горная "Winter Gold" <i>Pinus mugo 'Winter Gold'</i>	92	СП	429	СР
Сосна горная "Benjamin" <i>Pinus mugo 'Benjamin'</i>	40	НП	192	Н
Сосна горная "Pal Maleter" <i>Pinus mugo 'Pal Maleter'</i>	92	СП	453	СР
Сосна горная "Mughus" <i>Pinus mugo var. mughus</i>	95	СП	421	СР
Сосна горная "Mops Midget" <i>Pinus mugo 'Mops Midget'</i>	68	МНП	396	СР
Лиственница Кемпфера "Stiff Weeper" <i>Larix kaempferi 'Stiff Weeper'</i>	40	НП	199	Н
Лиственница европейская "Pendula" <i>Larix decidua 'Pendula'</i>	65	МНП	386	СР
Лиственница европейская "Little Bogle" <i>Larix decidua 'Little Bogle'</i>	66	МНП	386	СР
Можжевельник скальный "Blue Arrow" <i>Juniperus scopulorum 'Blue Arrow'</i>	62	МНП	498	СР
Можжевельник скальный "Skyrocket" <i>Juniperus scopulorum 'Skyrocket'</i>	62	МНП	498	СР
Пихта японская зонтичная <i>Sciadopitys verticillata</i> Siebold et Zucc.	45	МЛП	434	СР
Пихта корейская <i>Abies koreana</i> Wils	44	МЛП	295	М
Пихта одноцветная <i>Abies concolor</i> Lindl. ex Hildebr.	-6	НПГ	182	Н
Кедровый стланик <i>Pinus pumila</i> (Pall.) Regel	76	МНП	564	В

1	2	3	4	5
Микробиота перекрестнопарная <i>Microbiota decussata</i> Kom.	67	МНП	459	СР

Примечание:

СП – самые перспективные; П – перспективные, МНП – менее перспективные; МЛП – малоперспективные; НП – неперспективные; НПГ – непригодные

В – высокодекоративные; СР – среднедекоративные; М – малодекоративные; Н – недекоративные.

Таким образом, в ходе проведенных исследований для расширения биологического разнообразия, создания эстетически привлекательных ландшафтов и объектов озеленения на Среднем Урале было проанализировано 36 лиственных и 31 хвойных видов, сортов и форм. При этом лиственные интродуценты представляют виды, сорта и формы растений 10 семейств и 14 родов, хвойные – 3 семейства и 7 родов.

На основании интегральной оценки перспективности [54] выполнено распределение исследованных древесных интродуцентов на 6 групп. Среди лиственных интродуцентов в группу самых перспективных вошли 2 (5,6%), перспективных – 14 (38,9%), менее перспективных – 11 (30,5%), малоперспективных – 3 (8,3%), неперспективных – 5 (13,9%), и непригодных – один экзот (2,8%).

Среди лиственных 6 (16,6%) интродуцентов относились к роду липа (*Tilia* L.), три (8,3%) – к роду береза (*Betula* L.), пять (13,9%) к роду клен (*Acer* L.), 8 (22,2%) – к роду яблоня (*Malus* Mill.), 4 (11,1%) – к роду дёрен (*Cornus* L.), один (2,8%) – к роду бархат (*Phellodendron* Rupr.), один (2,8%) к роду вяз (*Ulmus* L.), один (2,8%) – к роду ирга (*Amelanchier* Medik.), один – (2,8%) к роду рябина (*Sorbus* L.), один (2,8%) – к роду черемуха (*Padus* Mill.), один (2,8%) – к роду лещина (*Corylus* L.), два (5,5%) – к роду бузина (*Sambucus* L.), один (2,8%) – к роду сирень (*Syringa* L.) и один (2,8%) – к роду ива (*Salix* L.).

Среди хвойных 11 (35,5%) интродуцентов относится к роду ель (*Picea* A. Dietr.), 11 (35,5%) – к роду сосна (*Pinus* L.), 3 (9,7%) – к роду лиственница (*Larix* Mill.), 2 (6,5%) – к роду можжевельник (*Juniperus* L.), 2 (6,4%) – к роду пихта (*Abies* Mill.), один (3,2%) – к роду сциадопитис (*Sciadopitys* Zucc.) и один (3,2%) – к роду микробиота (*Microbiota* Kom.).

Хвойные интродуценты распределялись по перспективности следующим образом: самые перспективные – 4 (12,9%), перспективные – 9 (29,0%), менее перспективные – 11 (35,5%), малоперспективные – 4 (12,9%), неперспективные – 2 (6,5%) и непригодные – 1 (3,2%) экзот.

По декоративности лиственные и хвойные интродуценты распределены на четыре группы. Среди лиственных интродуцентов группу высокодекоративные составили 3 (8,3%),

среднедекоративные – 15 (41,7%), малопродуктивные – 13 (36,1%) и недекоративные – 5 (13,9%) экзотов.

Среди хвойных в группу высокодекоративных вошло 6 (19,4%), среднедекоративных – 19 (61,3%), малодекоративных – 1 (3,2%) и недекоративных – 5 (16,1%) экзотов.

Выполненные исследования позволили рекомендовать при озеленении стилобатов, кровель подземных паркингов и крыш, требующих использования растений с компактными кронами, низкой парусностью и высокой декоративностью можно рекомендовать липу мелколистную "Greenspire" (*Tilia cordata* 'Greenspire') и липу мелколистную "Green Globe" (*Tilia cordata* 'Green Globe'), благодаря их декоративным признакам, высокой плотности кроны и гибкости для формировок форм. Берёзы повислые сорта "Youngii" (*Betula pendula* 'Youngii') и сорта "Crispa" ("Далекарлика") (*Betula pendula* 'Crispa') так же отлично подойдут для украшения дворовых территорий на паркингах. Яблони "Mokum", "Royalty", "Ola", "Rudolph", "Red Obelisk" (*Malus* 'Mokum', 'Royalty', 'Ola', 'Rudolph', 'Red Obelisk') с чудесным цветением и разными по силе роста и компактности кронами, а также цветом и структуре листы, дают хорошие возможности по формированию цветущих композиций. Рябина обыкновенная "Fastigiata" (*Sorbus aucuparia* 'Fastigiata') хорошо впишется в ограниченные пространства сети дорожек на стилобатах, благодаря своей компактной кроне, а сирень Мейера "Palibin" (*Syringa meyeri* 'Palibin') прекрасно подойдет для в кашпо и приподнятых клумбах.

В свою очередь, из линейки хвойных интродуцентов стоит обязательно использовать компактные ели причудливых форм: ель обыкновенная "Acrokona" (*Picea abies* 'Acrokona'), ель колючая "Hoopsii" (*Picea pungens* 'Hoopsii'), ель колючая "Glauca Prostrata" (*Picea pungens* 'Glauca Prostrata'), карликовые и невысокие сорта елей колючих: ель колючая "MaiGold" (*Picea pungens* 'MaiGold'), ель колючая "Bialobok" (*Picea pungens* 'Bialobok'), ель колючая "Glauca globosa" (*Picea pungens* 'Glauca Globosa'). Вертикаль создаст ель колючая "Isely Fastigiata" (*Picea pungens* 'Isely Fastigiata'). Для кашпо, приподнятых клумб, для реализации самых смелых идей прекрасно подойдут кедровый стланик (*Pinus pumila* (Pall.) Regel), горные сосны: сосна горная "Pumilio" (*Pinus mugo* var. *pumilio* Haenke), сосна горная "Mughus" (*Pinus mugo* var. *mughus*), сосна горная "Winter Gold" (*Pinus mugo* 'Winter Gold'), сосна горная "Mops" (*Pinus mugo* 'Mops'), сосна горная "Mops Midget" (*Pinus mugo* 'Mops Midget'). Оригинальности могут добавить лиственницы: лиственница европейская "Little Bogle" (*Larix decidua* 'Little Bogle'), лиственница европейская "Pendula" (*Larix decidua* 'Pendula').

Подробно материалы исследований изложены в диссертационной работе М.В. Коростелевой [63] и уже реализуются при проведении озеленительных работ в г. Екатерин-

бурге.

Более сложная проблема с проведением работ по озеленению стоит в ЯНАО. Последнее объясняется крайне жесткими лесорастительными условиями данного субъекта Российской Федерации, что ограничивает как ассортимент древесно-кустарниковой растительности, так и рост последних.

В процессе выполненных исследований были проанализированы не только перспективность и декоративность видов древесных растений, но и разработаны практические рекомендации по созданию и выращиванию древесных растений, а также созданию и уходу за газонами и другими объектами озеленения.

Результатом проделанной работы явились подготовленные и принятые к использованию Рекомендации по созданию и содержанию зеленых насаждений в населенных пунктах Ямало-Ненецкого автономного округа, а также осуществлению ухода за ними [64].

Реализация внедрения интродуцентов в лесные парки и объекты озеленения вызывает значительные сложности, поскольку многие виды плохо размножаются семенами и вегетативным способом. Кроме того, при семенном размножении теряются некоторые декоративные свойства, что вызывает необходимость совершенствования способов размножения и выращивания посадочного материала. Для минимизации указанного недостатка нами в процессе исследований для лучшего укоренения черенков использованы природные стимуляторы [61, 65, 66], а также приемы микроклонального размножения [67]. Использование фиторегуляторов показало, что можно не только существенно повысить всхожесть и энергию прорастания семян древесных и кустарниковых растений, но и увеличить их рост, что обеспечивает выращивание посадочного материала в приемлемые сроки, а также сокращает количество агротехнических уходов за создаваемыми искусственными насаждениями.

### **3. Особенности формирования древостоев в экотоне верхней границы древесной растительности на Южном и Полярном Урале**

Древесная растительность высокогорий является чувствительным индикатором изменений климата и поэтому научно-исследовательские полигоны, которые создаются в горных системах в разных регионах Земли, используются для мониторинга и оценки ранней реакции биоты на изменение климата [68–75].

В рамках проекта проводятся исследования, направленные на изучение древесной растительности вблизи верхней границы ее произрастания на мониторинговых полигонах, расположенных на Южном (горный массив Ирмель) и Полярном (юго-восточный макросклон горного массива Рай-Из) Урале.

#### **3.1 Объекты и методика исследований в районе исследования на Южном Урале**

Район исследований на Южном Урале находится на горном массиве Ирмель, который относится к высоким центральным возвышенностям Южного Урала, образующих Башкирский антиклинорий. Ирмельско-Авалякский природный район, в пределах которого находится Ирмельское поднятие, характеризуется значительными высотами (до 1600 м над уровнем моря), большими амплитудами высот (до 1100 м), сложной геологической структурой, влажным климатом (свыше 800 мм осадков в год), ярко выраженной высотной ландшафтной поясностью и господством темнохвойных насаждений. Местоположение горного массива показано на рисунке 3.1.

Горный массив Ирмель представляет собой компактный горный комплекс, имеющий форму овала, вытянутого на 20 км с северо-востока на юго-запад. На общем основании массива поднимаются две вершины: Большой Ирмель (в южной части) и Малый Ирмель (в северной части).

На склонах этих гор с нашим участием в 2002 году был организован научно-исследовательский стационар и заложены высотные профили в направлении от сомкнутых лесов к горной тундре – в экотоне верхней границы древесной растительности (ЭВГДР). На Малом Ирмеле (первый профиль) экспозиция склона юго-западная, а на Большом Ирмеле (второй профиль) – северная.

ЭВГДР с учетом сомкнутости крон деревьев делится на несколько подпоясов: отдельных деревьев, редины и редколесий [76]. С учетом этого деления в пределах каждого профиля зафиксированы высотные уровни (таблица 3.1).

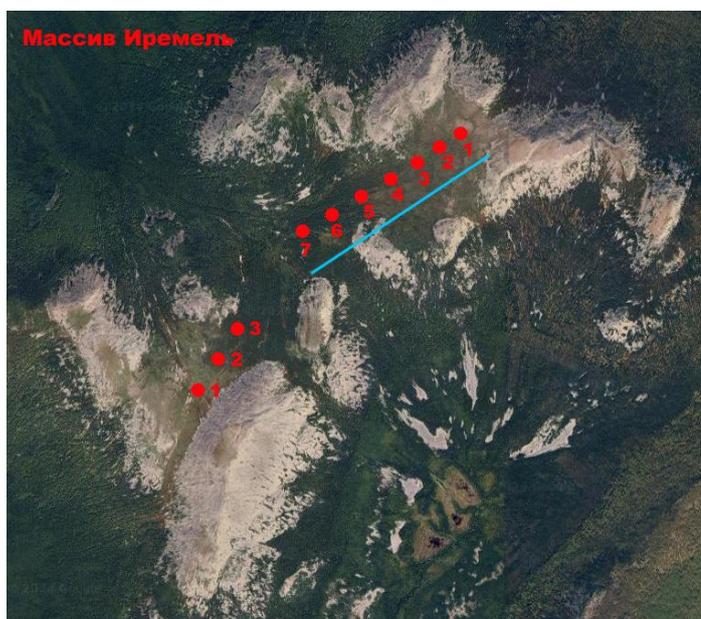


Рисунок 3.1. – Местоположение района исследований (а) и расположение пробных площадей (б). Линией голубого цвета обозначен высотный профиль на горе Малый Иремель. Точками и номерами красного цвета обозначены высотные уровни (пробные площади)

На каждом высотном уровне на одинаковом расстоянии друг от друга заложены от 3 до 6 перечетных площадок площадью  $400 \text{ м}^2$  ( $20 \times 20 \text{ м}$ ) каждая. На этих площадках производился индивидуальный учет деревьев. Для каждого дерева (особей высотой от 1,5 м и более) устанавливалось точное местоположение. С этой целью от центра площадки угломерным прибором определялся азимут и рулеткой измерялось расстояние до вертикальной оси дерева. После этого у всех деревьев определялись следующие характерис-

Таблица 3.1 – Общая характеристика высотных уровней на исследуемых профилях

№ высотного уровня	Малый Ирмель		Большой Ирмель	
	высота над уровнем моря	тип фитоценоза	высота над уровнем моря	тип фитоценоза
1	1360	редина	1365	редина
2	1345	редколесье	1330	редколесье
3	1310		1295	сомкнутый лес
4	1280	сомкнутый лес	–	–
5	1260		–	–
6	1230		–	–
7	1210		–	–

тики порода, форма роста (одноствольная или многоствольная), происхождение (семенное или вегетативное), диаметр ствола у основания и на высоте груди мерной вилкой или штангенциркулем, высота ствола мерной лентой (мерным шестом) или высотомером, диаметр проекции кроны в двух направления (одно из которых ориентировалось вдоль господствующего направления ветра), длина кроны мерной лентой (мерным шестом) или высотомером, жизненное состояние (оценивалось по 5-ти бальной шкале) и возраст по буровым кернам. У деревьев с многоствольной формой роста перечисленные выше характеристики определялись отдельно для каждого стволика.

Основополагающим показателем при исследованиях формирования и роста деревьев и древостоев является их возраст. Поэтому методику определения этого показателя рассмотрим более подробно. В данных исследованиях возраст деревьев определялся на основе установления даты их появления. С этой целью у всех растущих деревьев ели толщиной более 3 см возрастным буровом извлекался керн на высоте 20–30 см, а у усохших выпиливался диск у основания ствола. У каждого второго растения высотой более 20 см, но диаметром менее 3 см были взяты спилы на уровне корневой шейки и определены высоты с точностью до 1 см. Возраст их определялся по числу годичных колец на спилах. Растения высотой менее 20 см учитывались по методике, применяемой для оценки подраста. Керны наклеивались на специальную деревянную рейку, затем их поверхность тщательно зачищалась бритвой. Для увеличения контрастности колец в зачищенную поверхность керна втирался зубной порошок.

В случаях, когда керн достигал центра ствола, возраст дерева на высоте отбора керна определялся как разность между календарным годом взятия образца и годом образования самого старого годичного кольца. Если же керн в результате каких-то причин (эксцентричности нарастания древесины, наличия участков гнили и др.) не достигал центра, то вначале устанавливалась длина недоступного для подсчета годичных колец отрезка древесины. Она определялась по радиусу трафарета окружности, с которой совпадает

форма дуги, образуемой самыми старыми годичными слоями керна. При этом использовалась специально изготовленная прозрачная палетка с нанесенными линиями окружностей разного размера. Затем рассчитывалось количество годичных колец на данном отрезке древесины. Оно принималось равным числу самых старых годичных колец, уместяющихся на отрезке керна длиной, равной установленной длине недоступного для анализа участка древесины.

При подсчете и датировке годичных колец на кернах и дисках возможны ошибки из-за их выпадения. Поэтому при перекрестной датировке использовалась мастер-хронология – график погодичного изменения индексов радиального прироста исследуемого района, составленный С.Г. Шиятовым [77]. Окончательно возраст деревьев диаметром более 3 см определялся суммированием годичных колец, определенных по керну (на высоте 20-30 см) с возрастом, в котором они достигли высоты отбора кернов. Для определения второго показателя по данным растений, у которых были взяты спилы на уровне корневой шейки и измерены высоты, разрабатывались уравнения регрессии между этими показателями. По уравнениям рассчитывался возраст достижения каждым обследованным и пробуренным деревом высоты отбора образцов.

Модельные деревья отбирались на первом, третьем и пятом высотных уровнях первого профиля (на Малом Иремеле). Они подбирались типичными по развитию крон в пределах всего диапазона варьирования диаметров деревьев на пробных площадках, в том числе – из самых тонких и самых толстых ступеней. У них кроме традиционных таксационных показателей определялась надземная фитомасса по фракциям с учетом известных методических приемов [78, 79]. Причем, масса стволов, крон, охвоенной части ветвей (древесной зелени), отмерших ветвей и генеративных органов определялась непосредственным взвешиванием на электронных весах с точностью 5-50 г, а хвои – по навескам древесной зелени. Перевод фитомассы разных фракций в абсолютно сухое состояние осуществлялся по пробным образцам.

В 2023–2025 годах в рамках выполнения проекта были проведены повторные измерения характеристик деревьев для оценки изменений таксационных показателей деревьев и древостоев, произошедших за последние 20 лет на заложенных профилях.

В 2025 г. проведена лидарная съемка с использованием мобильного лазерного сканера Л-СКАН Нано (НПК «Геоматика», Россия) на трех высотных профилях MIR-I, MIR-III, MIR-IV на высотных уровнях 5–7. Обработку данных лидара выполняли в программном обеспечении LiDAR360 (GreenValley International, Китай). Данные лидарной съемки будут обработаны и использованы в ходе исследований в следующем этапе проекта для проведения сравнительного анализа наземных ручных измерений и автоматизированного

определения биометрических характеристик деревьев с использованием данных лазерного сканирования, в том числе для оценки точности определения таксационных показателей деревьев в разрезе высотных уровней.

### **3.2 Особенности формирования древостоев в экотоне верхней границы древесной растительности на Южном Урале**

В современный период времени количественная оценка реакций лесных экосистем на глобальные климатические изменения занимает одно из центральных мест в научных исследованиях [76, 80]. Наиболее репрезентативными для подобных изысканий являются высокогорные регионы, где трансформации в растительных сообществах, вызванные климатическими изменениями, выражены максимально ярко [76, 81–84]. Несмотря на это, механизмы и динамика экспансии древесной растительности в зону горных тундр в контексте меняющихся климатических условий исследованы в недостаточной степени. Изучение этих процессов имеет фундаментальное значение не только для индикации изменений окружающей среды, но и для понимания масштабов освоения лесными формациями ранее безлесных высокогорий, а также для оценки экологической и биосферной функций формирующихся здесь древостоев [81].

Целью исследования является анализ процессов формирования еловых насаждений в высокогорьях Южного Урала в условиях меняющегося климата на основе детального изучения их возрастной структуры.

Работа выполнялась на склоне юго-западной экспозиции горы Малый Ирмель, находящейся в области наиболее высоких центральных поднятий Южного Урала (рисунок 3.1). Методологической основой исследования послужили подходы, основанные на заложении высотных профилей и пробных площадей [80].

Горные экосистемы обладают своей уникальной спецификой, а именно облесением ранее безлесных территорий, где предел их произрастания ограничен климатическими факторами [85]. Для получения достоверных данных по распределению деревьев по годам их возникновения в пределах высотных уровней использовались данные возрастов всех деревьев ели. На точность определения возраста каждого отдельного дерева влияет множество факторов и определение возраста до года осложнено, а иногда и невозможно. Для нивелирования существующей погрешности в определении возраста все деревья распределялись по 5-летним классам возраста с последующим распределением этих классов по основным периодам появления. Данный метод позволяет с высокой степенью точности определить основные этапы (периоды) появления новых деревьев ели по

высотным уровням, а также установить в какой временной период происходила активная экспансия ранее в безлесные горные тундры. Данный метод применялся многими авторами [81] в своих исследованиях возрастной структуры в горах.

Объективное понимание исторических особенностей формирования древостоев в пределах исследуемого профиля может быть получено при реконструкции пространственно-временного распределения возрастов деревьев по периодам их появления (рисунок 3.2).

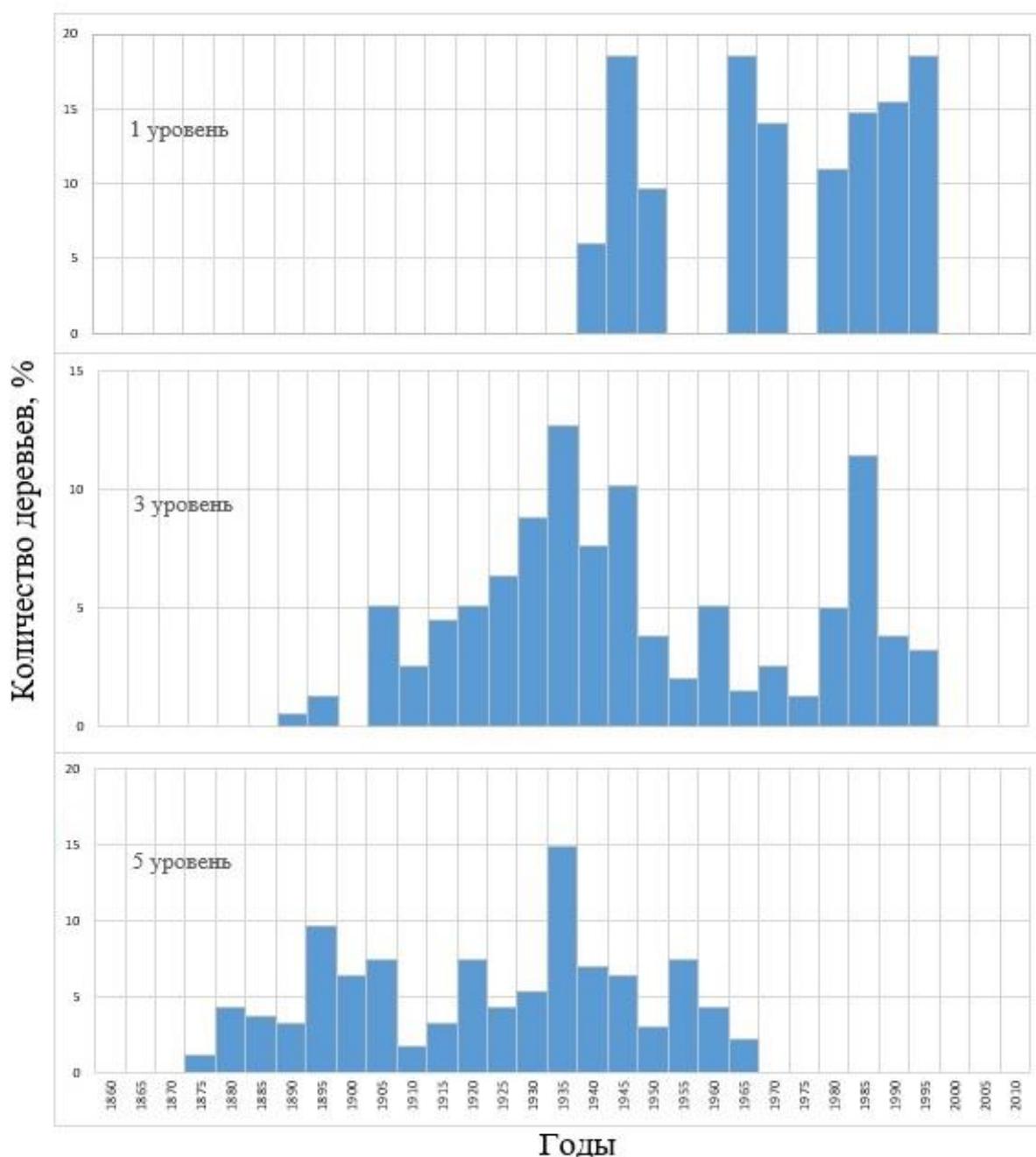


Рисунок 3.2 – Распределение деревьев ели по периодам их появления на разных высотных уровнях исследуемого профиля

Анализ рисунка 3.2 позволяет отметить следующее: появление первых особей ели на нижнем уровне приходится на вторую половину XIX века, самый ранний из сохранившихся экземпляров датирован 1875 г. Активная фаза появления елей приходится на 1895 год, а в течение последующего десятилетия (1895–1905 гг.) отмечалось непрерывное и относительно равномерное увеличение количества деревьев. В следующие два пятилетия отмечается заметный спад в интенсивности возобновления ели.

С 1920 года фиксируется новый всплеск заселения елью данного уровня, интенсивность которого максимального значения достигает в середине 30-х годов. В последующие годы процесс возобновления ели на фоне общей тенденции снижения его интенсивности чередуется периодами, заметно отличающимися по количеству появившихся растений. Следует отметить, что с начала 20-х до середины 40-х годов прошлого столетия на данном уровне появилось около 50% ныне растущих деревьев. Начиная с 1970 года процесс появления новых деревьев ели на нижнем уровне заканчивается. На наш взгляд это связано с заметным увеличением сомкнутости и густоты древостоев, которые препятствуют росту и развитию появляющегося под их пологом подроста.

На третьем (среднем) высотном уровне профиля появления ели датируется концом XIX века. На этом уровне по сравнению с нижнем возобновление ели началось на 15–20 лет позднее. Начала XX века характеризуется периодом, когда этот процесс прекращается. В последующем заселение елью уровня приобретает устойчивый характер, темпы которого закономерно возрастают вплоть до середины 30-х годов прошлого столетия. Как видно из данных рисунка, на среднем уровне, как и на нижнем интенсивность возобновления максимального показателя достигает в середине 30-х годов. С 1935 по 1975 годы процесс заселения ели на среднем уровне также характеризуется тенденцией к снижению. Однако это снижение не плавное, а скачкообразное, связанное с различиями 5-летних периодов по количеству появляющихся растений. С конца XX века на данном уровне фиксируется новый всплеск возобновления, которое с этого периода приобретает достаточно устойчивый характер (без разрывов) и продолжается по настоящее время.

На первом (верхнем) высотном уровне первые из ныне растущих деревьев появились только в середине XX века. Здесь процесс зарастания территории отличается чередованием периодов с наличием и отсутствием возобновления. Причем четко выделяются три периода со всплеском этого процесса. Устойчивый характер процесс зарастания елью верхнего уровня приобретает только с конца XX века.

Следует отметить, что на верхнем и среднем уровнях увеличение густоты древостоев ели продолжается и в настоящее время. На рисунке 3.2 отсутствие деревьев в последних возрастных классах объясняется не прекращением возобновления, а очень медленным

ростом подроста в высоту. Подрост, появившийся на рубеже XX–XXI веков и позднее не достиг высоты 1,5 м и в число деревьев не попал.

Проведенный анализ позволяет сформулировать следующие основные выводы. Возрастная структура (временные периоды появления) деревьев ели, произрастающих в настоящее время на исследуемом профиле, характеризуется крайней неоднородностью. Процесс лесовозобновления на всех трех рассмотренных высотных уровнях отличается значительной временной протяженностью. В пределах ЭВГДР устойчивое и активное возобновление на верхнем уровне началось в конце XX столетия, тогда как на среднем уровне этот процесс отмечается с более раннего времени (с начала XX века). По нашему мнению, указанная динамика напрямую связана с потеплением климата, наблюдавшимся на протяжении последнего столетия. Интенсивная экспансия в горных тундрах и сопряженное с ним смещение верхней границы леса в этот же период фиксируются исследователями в различных горных регионах [80, 81 и др.].

Формирование разновозрастных древостоев в высокогорных условиях преимущественно обусловлено спецификой среды, играющую важную роль для интродукции леса в верхних частях склонов. Несмотря на общую тенденцию к улучшению климатических условий, в верхней части склона эти факторы остаются здесь экстремально суровыми. Для высокогорий характерны жесткие температурный и ветровой режимы, маломощные, низкоплодородные, каменистые и скелетные почвы с нестабильным водным режимом, а также пониженная семенная продуктивность самих древостоев [85]. В подобной обстановке даже массовое появление всходов не обеспечивает их последующего успешного развития и интеграции в процесс лесообразования. На ранних стадиях онтогенеза древесные растения в наибольшей степени уязвимы к воздействию неблагоприятных абиотических факторов и часто подвергаются массовой гибели.

Согласно данным многочисленных исследований на Урале, в высокогорьях формирование нового поколения леса происходит преимущественно после семенных лет. Всходы и подрост, как правило, не выживают и, следовательно, не принимают участия в образовании древостоя. Их гибель обусловлена именно малочисленностью и неспособностью противостоять негативным воздействиям внешней среды.

Верхняя граница леса является местом суровых климатических условий, где для выживания подроста и прохождением им всех стадий онтогенеза необходимы максимально благоприятные условия, которые следуют за семенными годами. Именно эта особенность обуславливает исключительную временную растянутость процесса лесовозобновления в высокогорьях и формирование здесь абсолютно разновозрастных древостоев. В соответствии со схемой Г.Е. Комина и И.В. Семечкина [86], еловые древостои на нижнем

уровне профиля можно классифицировать как циклично-разновозрастные, в то время как на среднем и верхнем уровнях – как ступенчато-разновозрастные.

### 3.3 Особенности формирования надземной фитомассы древостоев ели на Южном Урале

На основе данных о ширине годичных колец, данных значений диаметров у деревьев на пробных площадях и опубликованных ранее [87] уравнений зависимости различных фракций фитомассы от диаметра ствола нами были проведены расчет и реконструкция накопления фитомассы для каждого высотного уровня. На графиках (рисунки 3.3–3.4) представлены данные накопления фитомассы на 7-ми высотных уровнях профиля MIR-I (гора Малый Ирмель) еловых и березовых древостоев.

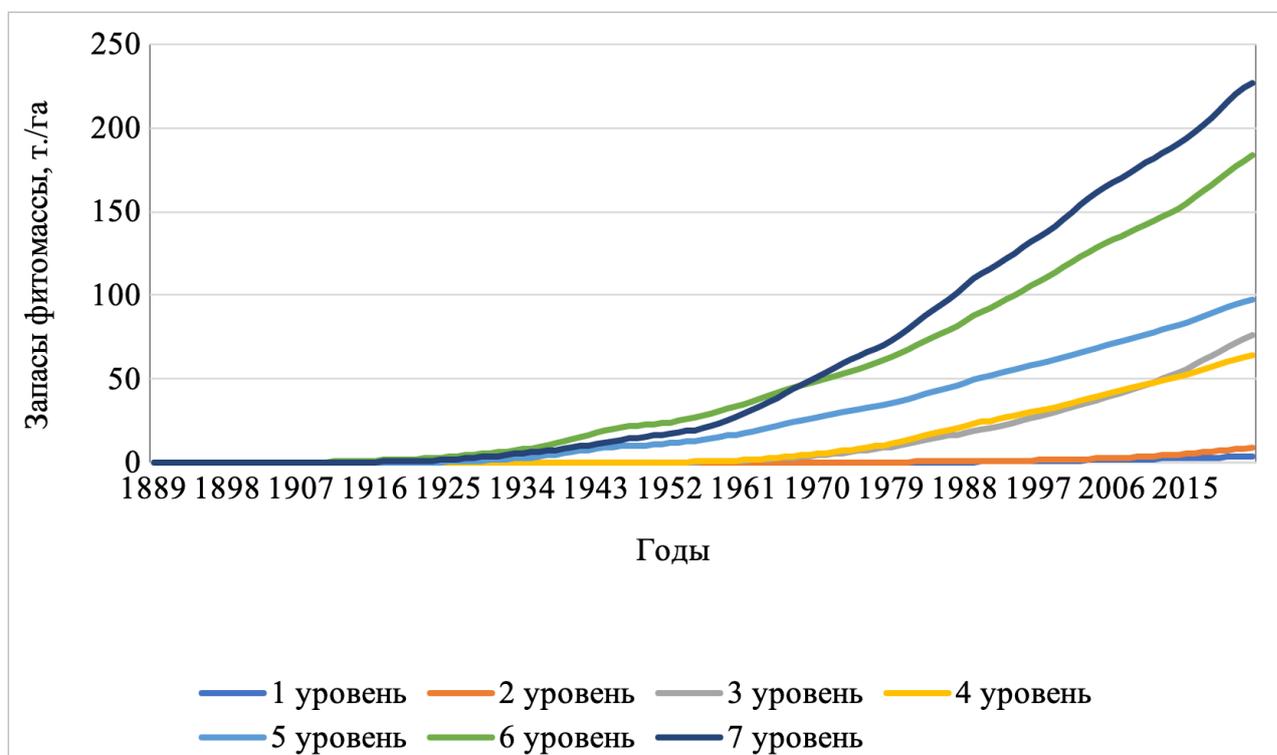


Рисунок 3.3. – Реконструкция накопления надземной фитомассы древостоев ели сибирской на 7-ми высотных уровнях

Выявлено, что чем меньше высота над уровнем моря, тем больше накопление надземной фитомассы доминирующих древостоев ели сибирской (рисунок 3.3). В настоящее время на верхнем высотном уровне запасы надземной фитомассы составляют до 3,5 т/га, то на нижнем высотном уровне – 227 т/га, что в 65 раз больше. Особенно заметны различия в переходной полосе от 5 уровня к 6 и 7-му уровням.

Накопленная надземная фитомасса древостоев березы (рисунок 3.4) значительно меньше, чем древостоев ели, а наибольшей величины достигает на 4 уровне.

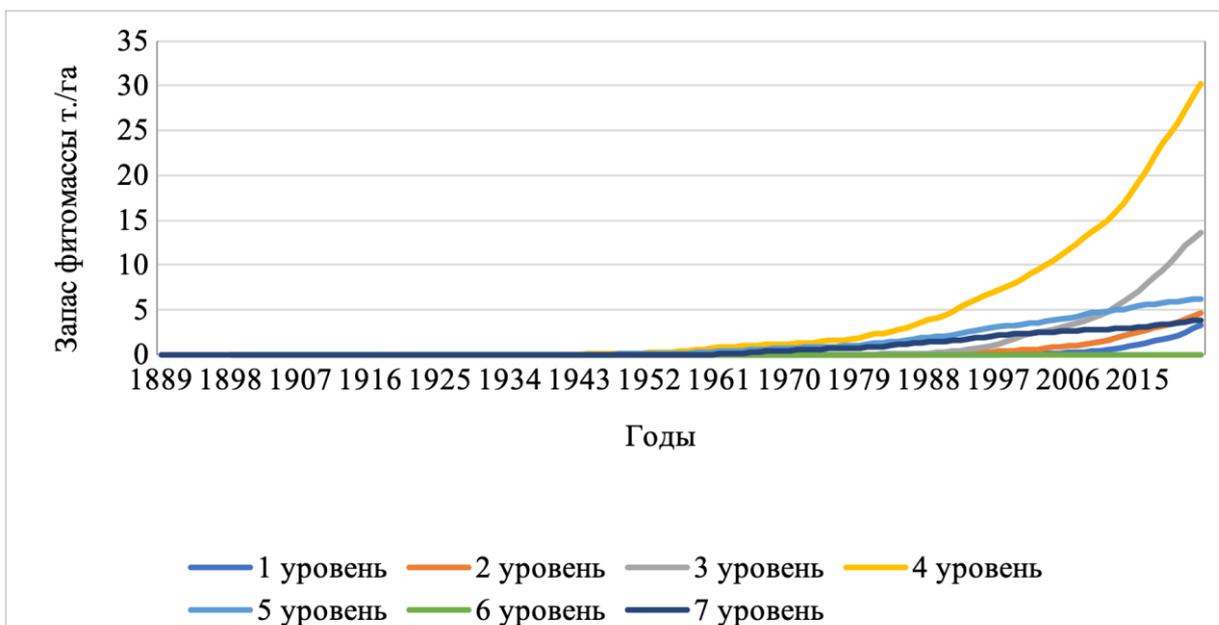


Рисунок 3.4. – Реконструкция накопления надземной фитомассы древостоев березы извилистой на 7 высотных уровнях

В дальнейшем были проведены расчеты накопленной надземной фитомассы до 2001 года, с 2002 по 2011 гг. и с 2012 по 2025 гг. Это связано с тем, что в 2011 и 2021 годах были проведены повторные измерения основных таксационных показателей. На рисунках 3.5 и 3.6 и таблице 3.2 представлены результаты расчетов. Полученные данные свидетельствуют о том, что вне зависимости от высоты произрастания древостоев ели сибирской над уровнем моря, с 2012 по 2025 гг. надземная фитомасса увеличилась на большую величину в сравнении с периодом с 2002 по 2011 гг.

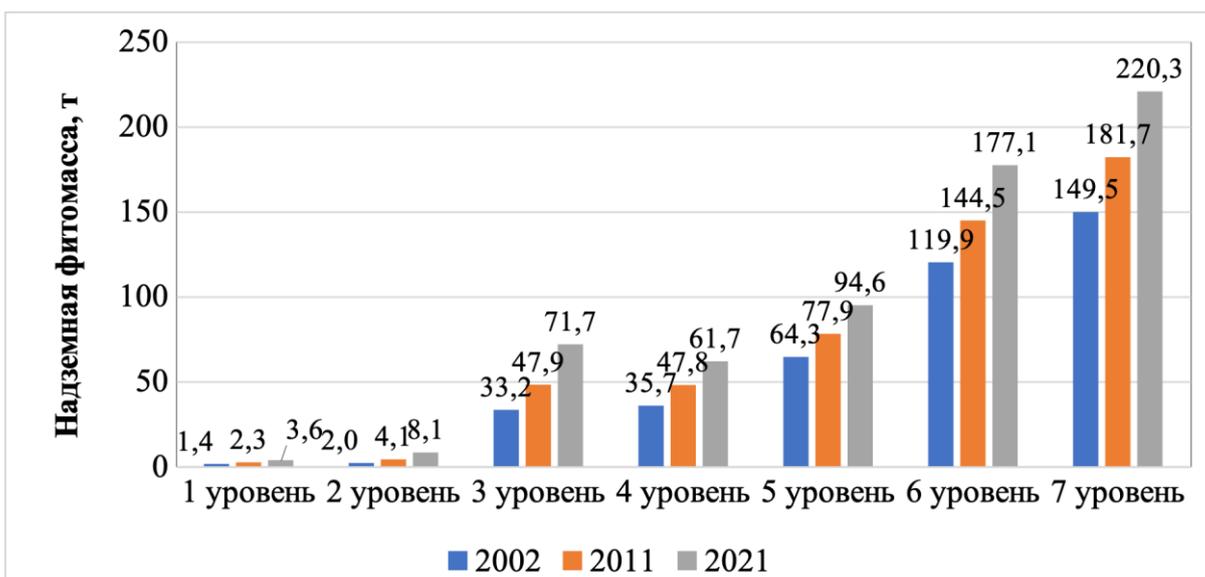


Рисунок 3.5. – Накопленная надземная фитомасса древостоев ели сибирской. Синим цветом обозначены данные по фитомассе до 2001 года, оранжевым – с 2002 по 2011, серым – с 2012 по 2025 гг.

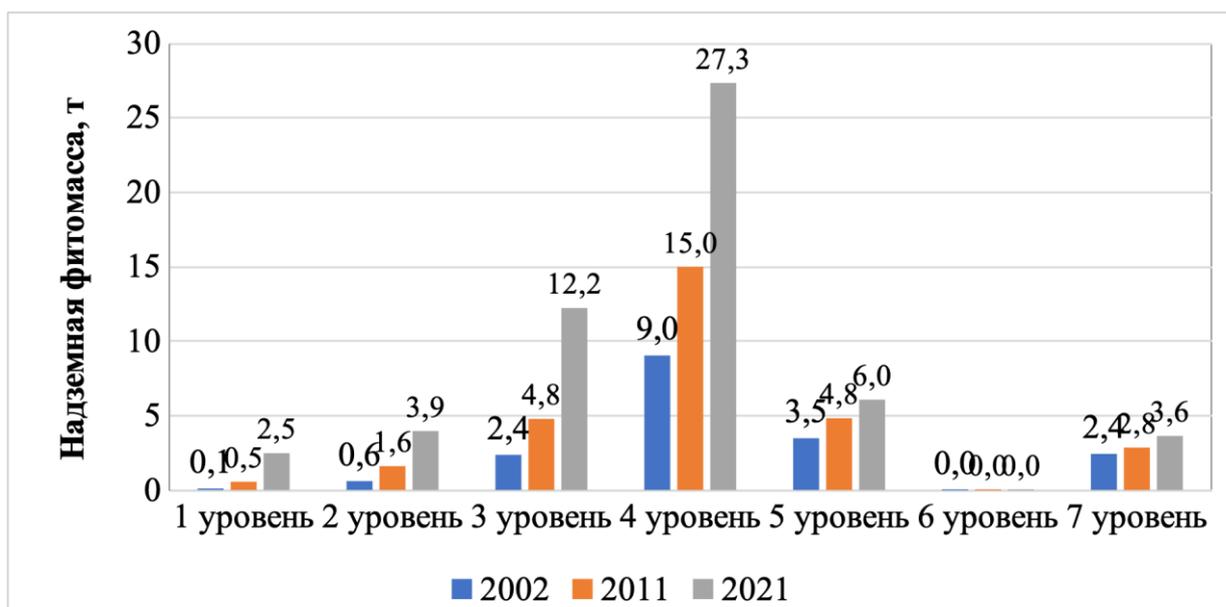


Рисунок 3.6. – Накопленная надземная фитомасса древостоев березы извилистой. Синим цветом обозначены данные по фитомассе до 2001 года, оранжевым – с 2002 по 2011, серым – с 2012 по 2025 гг.

Таблица 3.2 – Накопленная надземная фитомасса до 2001 г., с 2002 по 2011 гг., с 2012 по 2025 гг.

Периоды, года	Накопленная надземная фитомасса по высотным уровням						
	1	2	3	4	5	6	7
древостой ели сибирской							
До 2001	1,37	1,97	33,19	35,65	64,33	119,93	149,46
2002–2011	2,30	4,07	47,94	47,80	77,86	144,54	181,73
2012–2025	3,60	8,15	71,68	61,72	94,65	177,10	220,34
древостой березы извилистой							
До 2001	0,09	0,58	2,35	9,01	3,46	0	2,41
2002–2011	0,54	1,59	4,76	14,96	4,80	0	2,83
2012–2025	2,46	3,95	12,20	27,30	6,04	0	3,62

Наглядные изменения, которые произошли в древостоях, произрастающих на профиле 1, можно наблюдать на одновременных фотоизображениях (рисунок 3.7). На них представлены древостои, произрастающие на высотных уровнях 1–4.

Массовое заселение елью на Южном Урале, как показало исследование, растянуто во времени. По мере продвижения вдоль по склону от сомкнутых лесов к горной тундре отмечается закономерное уменьшение возраста деревьев, данная закономерность также отмечается по основным периодам появления. Данный процесс обусловлен улучшением климатической обстановкой в регионе.

Разновозрастность древостоев объясняется лесорастительными условиями при которых появившиеся всходы и самосев могут не участвовать в лесовозобновительном процессе. Рост и развитие всходов, подроста возможен только при сложившихся благоприят-

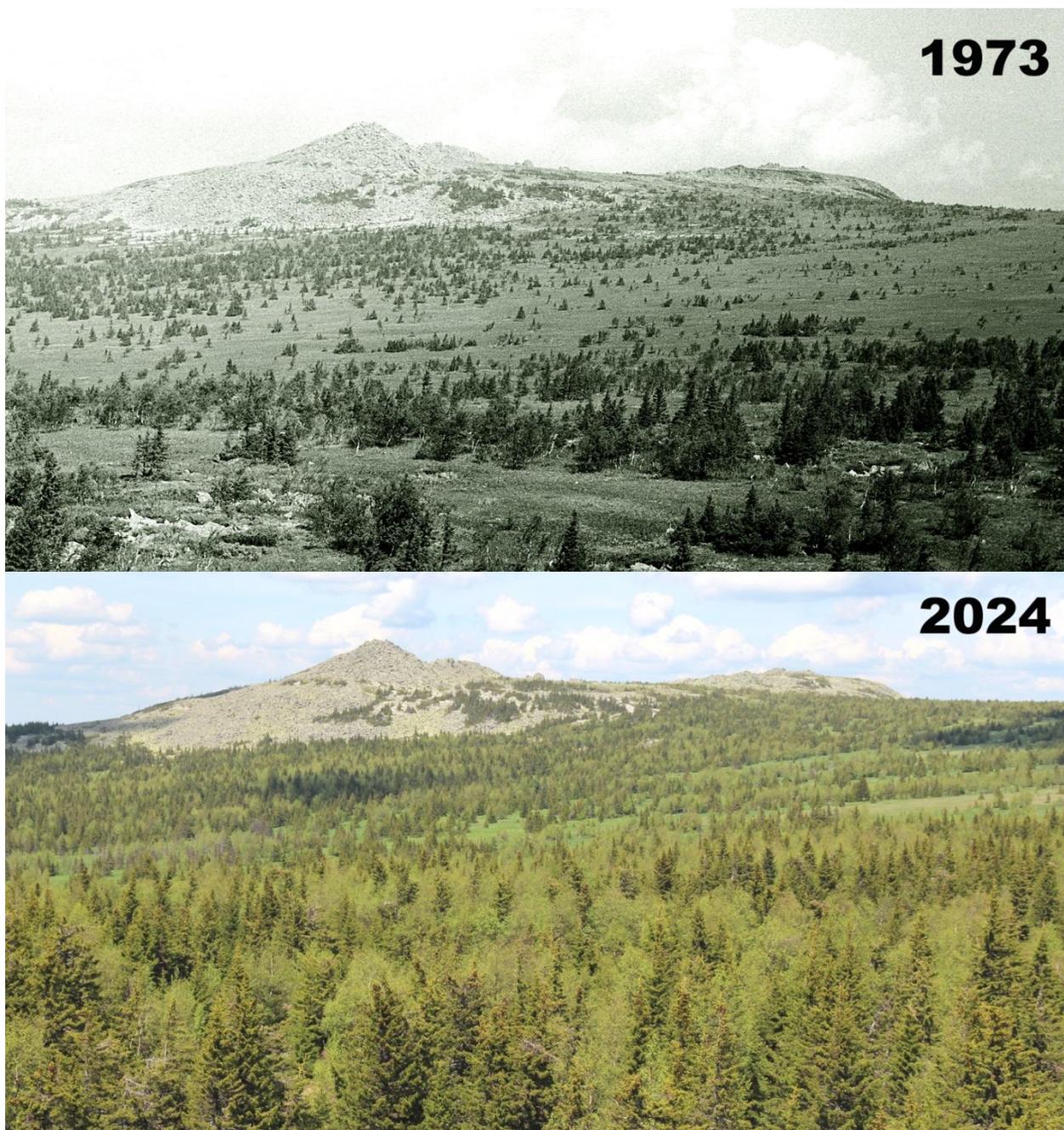


Рисунок 3.7. – Разновременные фотоснимки, сделанные на массиве Ирмель: в 1973 г. – С.Г. Шиятов, в 2024 г. – А.А. Григорьевым

ных условиях внешней среды и семенных годов. Формирование циклично разновозрастных и ступенчато разновозрастных древостоев, состоящих из нескольких морфологически невыраженных поколений леса обусловлена именно внешними факторами среды. Разновозрастность древостоя на верхнем пределе их произрастания, может рассматриваться как адаптация деревьев при выживании в экстремальных климатических условиях.

### 3.4 Возрастная динамика таксационных показателей древостоев ели на Южном Урале

Эффективность ведения лесного хозяйства зависит от степени изученности закономерностей роста деревьев. Они являются теоретической основой для составления таксационных нормативов и осуществления хозяйственных мероприятий в насаждениях. С.Л. Шевелев [88] отмечает, что для перехода на качественно новый уровень ведения лесного хозяйства необходимо совершенствование и частичное изменение лесотаксационных нормативов. Особенно это является актуальным в условиях наблюдаемых климатических изменений: потепления, смещения режима увлажнения и увеличения количества экстремальных погодных явлений [89–90 и др.], когда традиционные лесотаксационные нормативы, разработанные в прошлом столетии, устаревают.

В условиях выраженного высотного градиента классические лесотаксационные нормативы, разработанные для равнинных территорий, теряют свою актуальность. Необходима разработка нормативов в разрезе высотных уровней, учитывающих изменение продуктивности и скорости развития древостоя под влиянием комплекса лимитирующих факторов – снижения температуры, сокращения вегетационного периода, увеличения влагообеспеченности и специфики почвенных условий [91].

Одной из задач, требующих решения является разработка таблиц возрастной динамики для древостоев, произрастающих в различных высотных поясах горного массива Ирмель (Южный Урал).

Закономерности роста древостоев наиболее четко выявляются на основе данных наблюдений на постоянных пробных площадях [92–94 и др.].

В основу наших исследований положены материалы повторных измерений, выполненных на постоянных пробных площадях, заложенных на высотном профиле на склоне массива Малый Ирмель в 2002 году с последующим повторным обмером деревьев на тех же площадках в более позднее время. Объединение данных двух периодов наблюдений позволило сформировать репрезентативную выборку, охватывающую широкий возрастной диапазон, что является критически важным для повышения надежности моделей роста.

Для аппроксимации типовых кривых хода роста древостоев исследователи используют различные ростовые функции, отвечающих требованиям S-образной кривой роста, например Легоковича, Хосфельда, Митчерлиха, Консуна и др. [95–96].

В ходе моделирования динамики таксационных показателей нами были выбраны два классических уравнения, описывающих S-образный рост биологических объектов [95]:

уравнение Митчерлиха 
$$Y = c * (1 - \exp(-d * X))^e \quad (3.1)$$

уравнение Корсуня 
$$Y = \frac{X^2}{(b + cX + dX^2)}, \quad (3.2)$$

где

$Y$  – моделируемый показатель (диаметр или высота),

$X$  – возраст дерева, лет

$b, c, d, e$  – параметры моделей.

Процедура оценки параметров уравнений и статистического анализа выполнялась в специализированном программном пакете STATISTICA. Для каждого сочетания «высотный уровень – таксационный показатель» проводился итеративный подбор коэффициентов с целью максимизации коэффициента детерминации ( $R^2$ ), при этом параллельно осуществлялась визуальная оценка адекватности формы подобранной кривой эмпирическому облаку точек. Критерием выбора окончательной модели служила не только статистическая значимость, но и ее способность корректно отображать биологически обоснованную S-образную траекторию роста с выходом на плато.

На первом этапе при разработке моделей возрастной динамики построили графики зависимостей диаметров стволов деревьев ели от возраста в разрезе высотных уровней (рисунок 3.8). На графиках видим, данные обмеров деревьев 2002 и 2025 годов образуют единое на всех исследуемых высотных уровнях поле распределения. Данные модельных деревьев, полученные в 2025 году, являются логическим продолжением материалов, собранных в 2002 г.

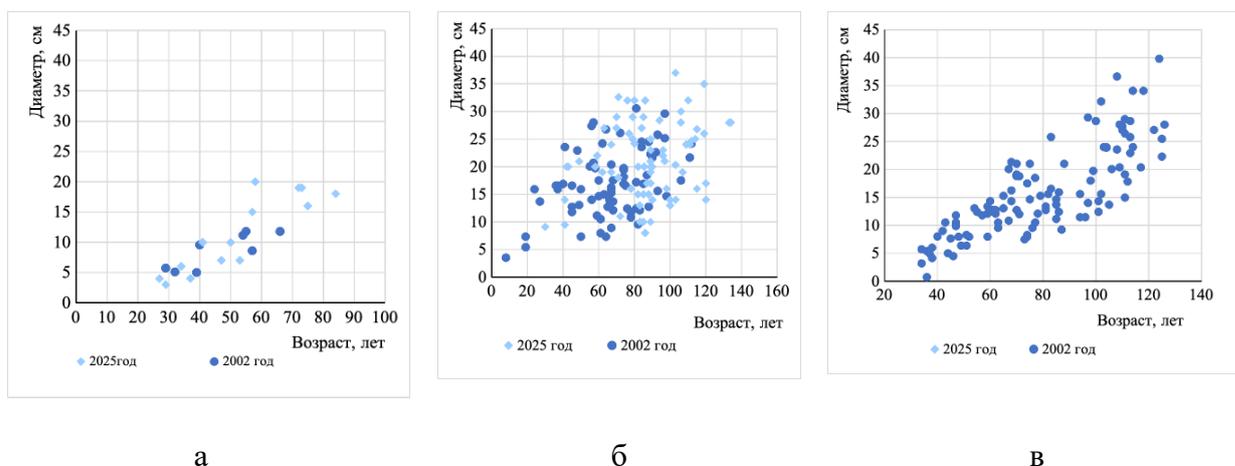


Рисунок 3.8. – Зависимость диаметров деревьев ели от возраста в 2002 и 2025 годах: а – 1 высотный уровень, б – 3 высотный уровень, в – 5 высотный уровень

Анализ закономерностей роста древостоев по диаметру в разрезе высотных уровней выявил специфические особенности, существенно отличающиеся по расположенным уровням.

Установлено, что зависимость диаметров стволов деревьев от возраста на первом высотном уровне наилучшим образом аппроксимируется функцией Корсуня, на третьем и пятом – Митчерлиха. Характеристика уравнений возрастной динамики по диаметру еловых древостоев в разрезе высотных уровней представлена в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Характеристика уравнений возрастной динамики диаметра деревьев ели в разрезе высотных уровней

Высотный уровень	Функция роста	Уравнение	Коэффициент детерминации R <sup>2</sup>	№ уравнения
1-й	Корсуня	$D = \frac{A^2}{233,3724 - 1,91951 * A + 0,041985 * A^2}$	0,872	3.3
3-й	Митчерлиха	$D = 30 * (1 - \text{EXP}(-0,022646 * A))^{\wedge 2,624506}$	0,740	3.4
5-й	Митчерлиха	$D = 38 * (1 - \text{EXP}(-0,01962 * A))^{\wedge 2,966171}$	0,790	3.5

Коэффициенты детерминации полученных уравнений достаточно высоки, изменяются от 0,740 на 3-м высотном уровне до 0,872 на 1-м уровне. Это свидетельствует, что разработанные уравнения адекватны экспериментальным данным.

На рисунке 3.9 наглядно представлены кривые роста по диаметру еловых древостоев в разрезе трех высотных уровней. Видно, что кривые плавно растянуты во времени с выходом на асимптоту без выраженного пика интенсивного роста, что типично для древостоев у верхней границы их распространения.

На рисунке 3.10 показаны зависимости высоты деревьев ели от их возраста по высотным уровням. Как и в случае с диаметром данные полевых обмеров высоты деревьев 2002 и 2025 годах образуют единое поле распределения на всех исследуемых высотных уровнях.

Изменение высоты деревьев с возрастом на разных высотных уровнях имеет специфические особенности. Установлено, что зависимости высоты ели от возраста на всех исследуемых высотных уровнях наилучшим образом аппроксимируются функцией роста Митчерлиха. Характеристика уравнений возрастной динамики высоты в разрезе высотных уровней для исследуемых еловых древостоев представлена в таблице 3.4.

Коэффициенты детерминации полученных уравнений достаточно высоки, изменяются от 0,707 на 3-м высотном уровне до 0,890 на 5-м уровне. Уравнения корректны

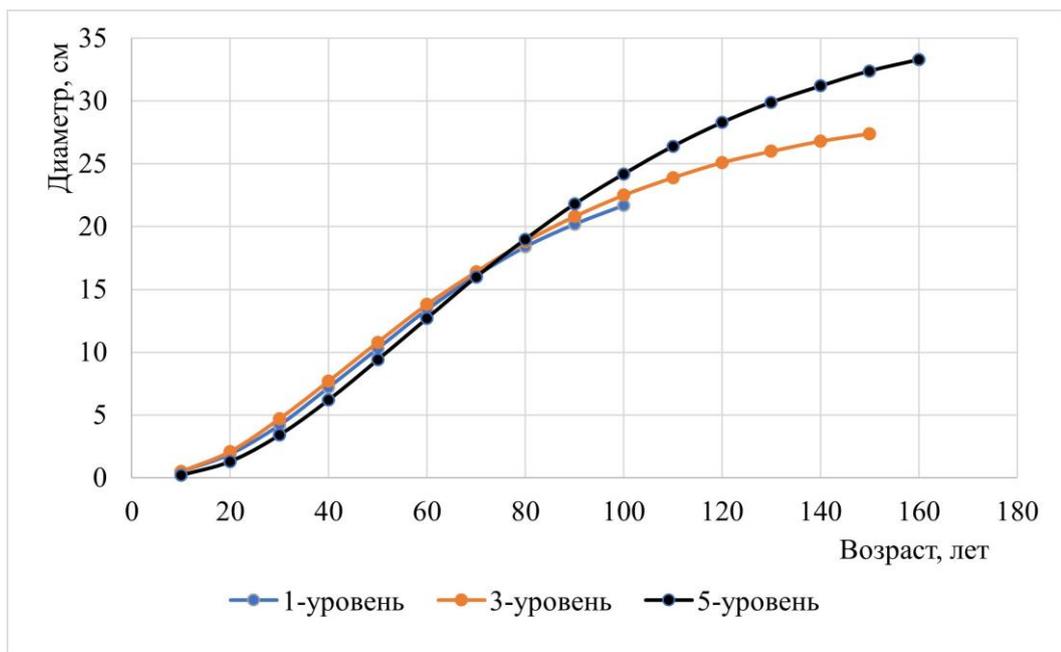


Рисунок 3.9. – Кривые роста по диаметру еловых древостоев в разрезе высотных уровней

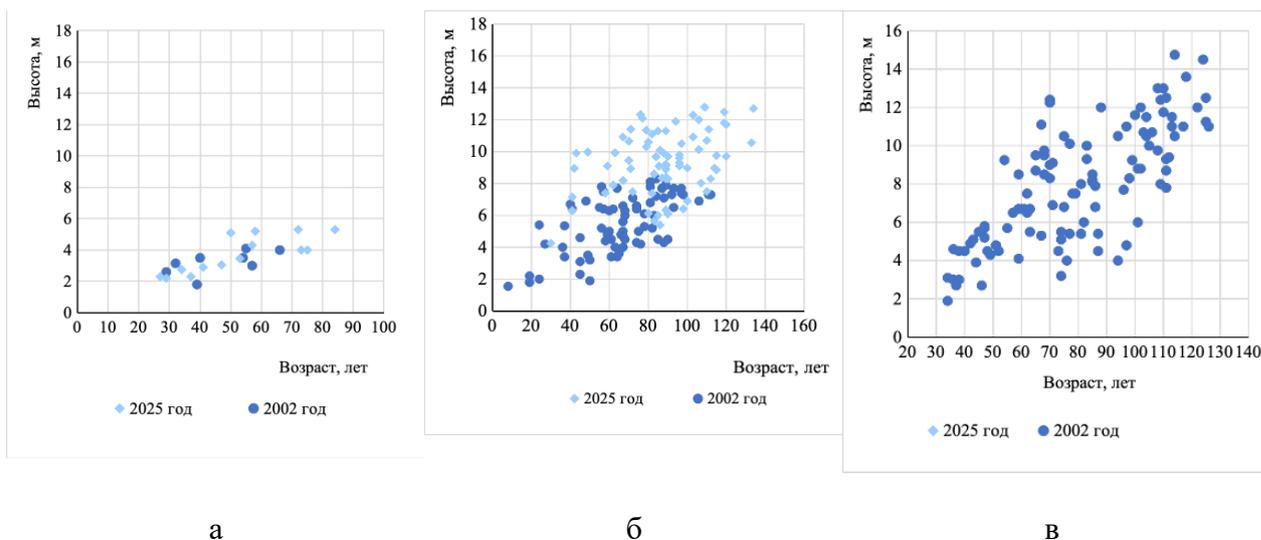


Рисунок 3.10. – Зависимость высоты деревьев ели от возраста в 2002 и 2025 годах: *а* – 1 высотный уровень, *б* – 3 высотный уровень, *в* – 5 высотный уровень

и адекватны экспериментальным материалам. Наглядно изменение высоты деревьев ели от их возраста в разрезе высотных уровней представлено на рисунке 3.11.

Полученные параметры моделей имеют четкую экологическую интерпретацию. Анализируя уравнение, описывающего динамику высоты ельников на 1-м высотном уровне видим, значение параметра  $b_1$  равно 5,3 метра, данный показатель представляет собой расчетную максимальную высоту, которую могут достичь деревья в этих экстремальных условиях. Параметры  $b_2$  и  $b_3$ , определяющие крутизну и форму кривой, свидетельствуют о

Таблица 3.4 – Характеристика уравнений возрастной динамики по высоте еловых древостоев в разрезе высотных уровней

Высотный уровень	Функция роста	Уравнение	Коэффициент детерминации R <sup>2</sup>	№ уравнения
1-й	Митчерлиха	$H = 5,3 * (1 - \text{EXP}(-0,033498 * A))^{1,762314}$	0,777	3.6
3-й	Митчерлиха	$H = 13,5 * (1 - \text{EXP}(-0,021107 * A))^{2,625904}$	0,707	3.7
5-й	Митчерлиха	$H = 15,9 * (1 - \text{EXP}(-0,015895 * A))^{1,74815}$	0,890	3.8

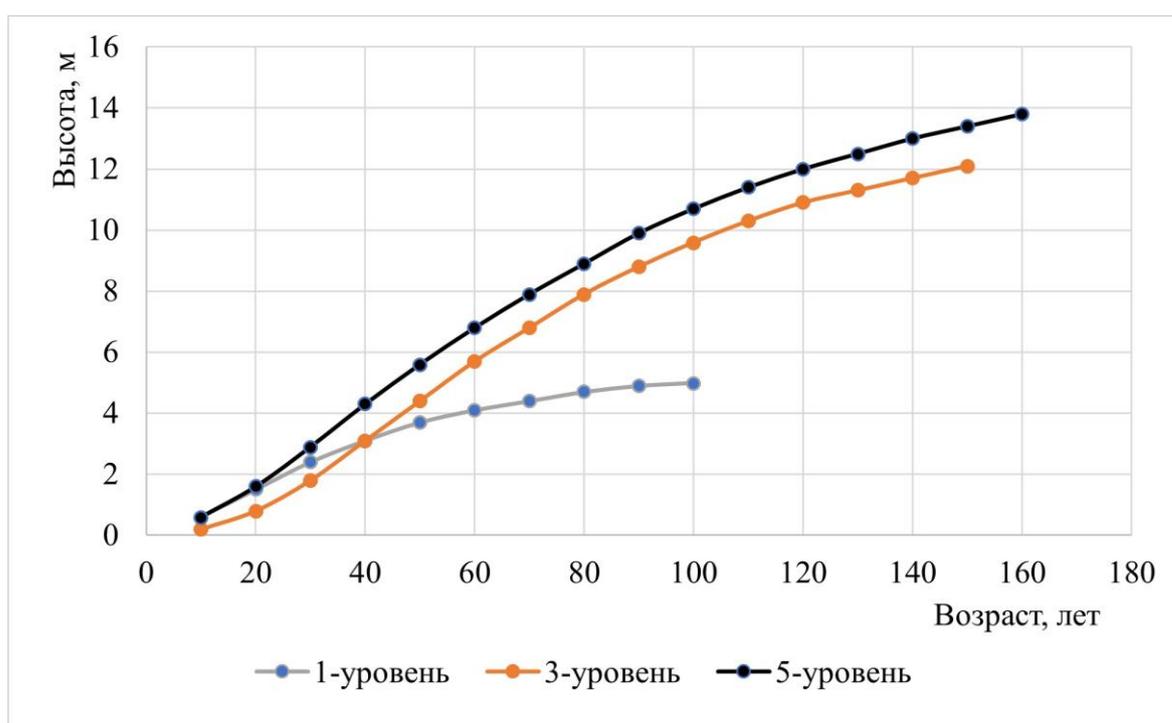


Рисунок 3.11 – Кривые роста по высоте еловых древостоев в разрезе высотных уровней

наиболее интенсивном росте в высоту в первые десятилетия жизни дерева с последующим выходом на плато.

Анализ закономерностей роста древостоя на третьем высотном уровне демонстрирует существенное улучшение условий произрастания по сравнению с верхним уровнем, что отразилось на характеристиках ростовых процессов по высоте. Статистические параметры модели свидетельствуют о ее высокой адекватности эмпирическим данным. Значение параметра  $b_1$  составляет 13,5 м, оно указывает на более высокое значение предельной высоты древостоев ели данного высотного уровня и отражает улучшение условий роста.

Анализ закономерностей роста древостоя на пятом высотном уровне выявил характерную динамику таксационных показателей, отражающую оптимальные условия произрастания в данной части высотного профиля. Полученные параметры модели (3.8) в таблице 3.4 демонстрируют высокую адекватность эмпирическим данным. Значение параметра  $b_1$  равняется 15,9 м, оно свидетельствует, о наибольшем значении предельной высоты ельников среди всех исследуемых трех высотных уровней.

Особенностью модели 5-го высотного уровня является более крутой характер кривой роста по сравнению с другими уровнями, что отражает пролонгированный период интенсивного роста в высоту.

Табулированием уравнений 3.3–3.8 разработана таблица возрастной динамики диаметра и высоты деревьев ели в разрезе высотных уровней (таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Таблица возрастной динамики диаметра и высоты древостоев ели в разрезе высотных уровней

Показатели	Диаметры, см			Текущий периодический прирост по диаметру, см			Высота, м			Текущий периодический прирост по высоте, м		
	1	3	5	1	3	5	1	3	5	1	3	5
Высотный уровень												
10	0,5	0,5	0,2				0,6	0,2	0,6			
20	1,9	2,1	1,3	0,14	0,17	0,11	1,5	0,8	1,6	0,09	0,06	0,11
30	4,2	4,7	3,4	0,23	0,26	0,21	2,4	1,8	2,9	0,09	0,10	0,13
40	7,2	7,7	6,2	0,29	0,30	0,28	3,1	3,1	4,3	0,07	0,12	0,13
50	10,3	10,8	9,4	0,32	0,31	0,32	3,7	4,4	5,6	0,06	0,13	0,13
60	13,4	13,8	12,7	0,31	0,30	0,33	4,1	5,7	6,8	0,04	0,13	0,12
70	16,1	16,4	16,0	0,27	0,27	0,32	4,4	6,8	7,9	0,03	0,12	0,11
80	18,4	18,8	19,0	0,23	0,23	0,30	4,7	7,9	8,9	0,02	0,11	0,10
90	20,2	20,8	21,8	0,19	0,20	0,28	4,9	8,8	9,9	0,02	0,09	0,09
100	21,7	22,5	24,2	0,15	0,17	0,25	5,0	9,6	10,7	0,01	0,08	0,08
110	-	23,9	26,4	-	0,14	0,22	-	10,3	11,4	-	0,07	0,07
120	-	25,1	28,3	-	0,12	0,19	-	10,9	12,0	-	0,06	0,06
130	-	26,0	29,9	-	0,10	0,16	-	11,3	12,5	-	0,05	0,05
140	-	26,8	31,2	-	0,08	0,14	-	11,7	13,0	-	0,04	0,05
150	-	27,4	32,4	-	0,06	0,11	-	12,1	13,4	-	0,03	0,04
160	-	-	33,3	-	-	0,10	-	-	13,8	-	-	0,04

На основе полученных зависимостей был рассчитан текущий периодический прирост по диаметру и высоте за десятилетние интервалы методом прямого вычитания последующих и предыдущих значений указанных показателей с последующим усреднением. Данный подход обеспечил получение непрерывных и сопоставимых рядов динамики прироста, отражающих специфику продуктивности древостоев на разных

высотных уровнях.

На рисунке 3.12 показаны изменения прироста по диаметру с возрастом на исследуемых высотных уровнях. Как видно из данных рисунка 3.12 эти изменения описываются колоколообразной кривой с точкой перегиба. Максимального значения прироста по диаметру достигают в возрасте 55-60 лет.

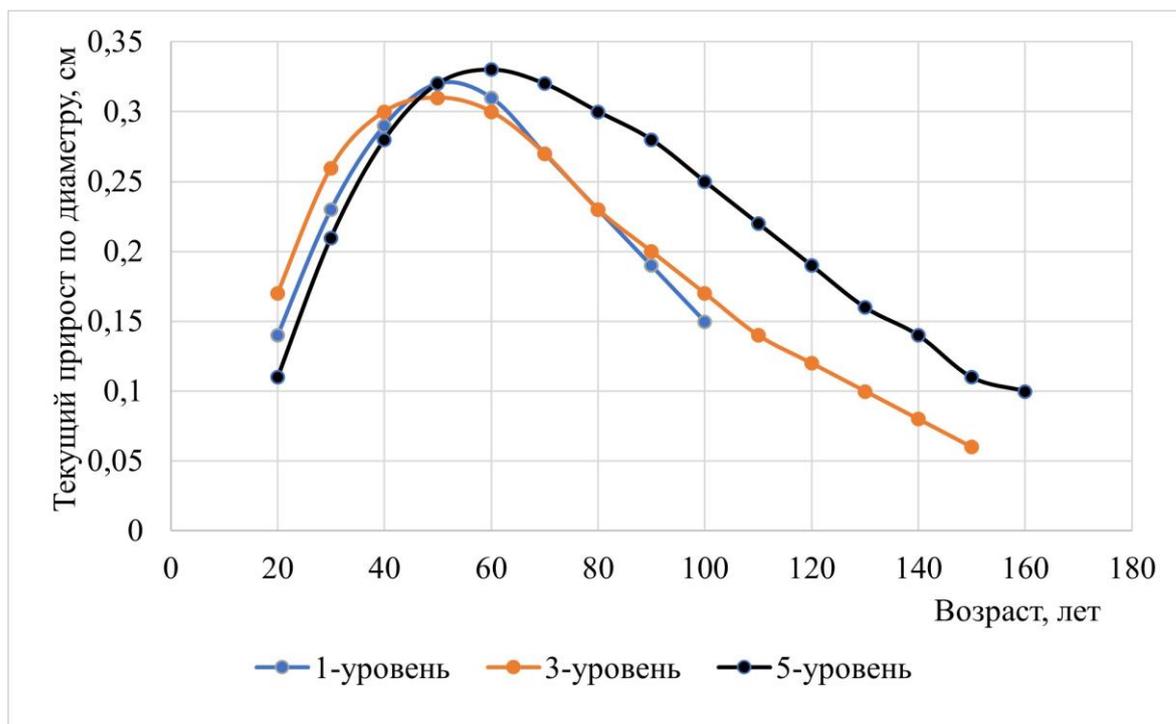


Рисунок 3.12. – Изменение прироста по диаметру деревьев ели с возрастом в разрезе высотных уровней

Обращает на себя внимание то, что до 50-летнего возраста прирост по диаметру на пятом уровне, характеризующимся лучшими лесорастительными условиями, немногим отличается от прироста на первом (с самыми жесткими условиями произрастания). На наш взгляд это объясняется значительно большей плотностью древостоев на пятом уровне по сравнению с первым. Как известно, плотность оказывает сдерживающее влияние на рост деревьев по диаметру.

После достижения кульминации прироста по диаметру закономерно снижаются. Причем, абсолютные величины прироста на нижележащих уровнях выше, чем на вышележащих.

Изменения приростов по высоте деревьев ели с возрастом показано на рисунке 3.13. Эти изменения также описываются колоколообразными кривыми с точкой перегиба. Максимального значения прирост по высоте достигает: на первом уровне (0,09 м) в 30 лет, на третьем (0,13 м) – в 50 лет и на пятом (0,13 м) в 40 лет. Приросты по высоте наибольших значений достигают на пятом высотном уровне, а наименьших – на первом. Третий уровень по этому показателю занимает промежуточное положение.

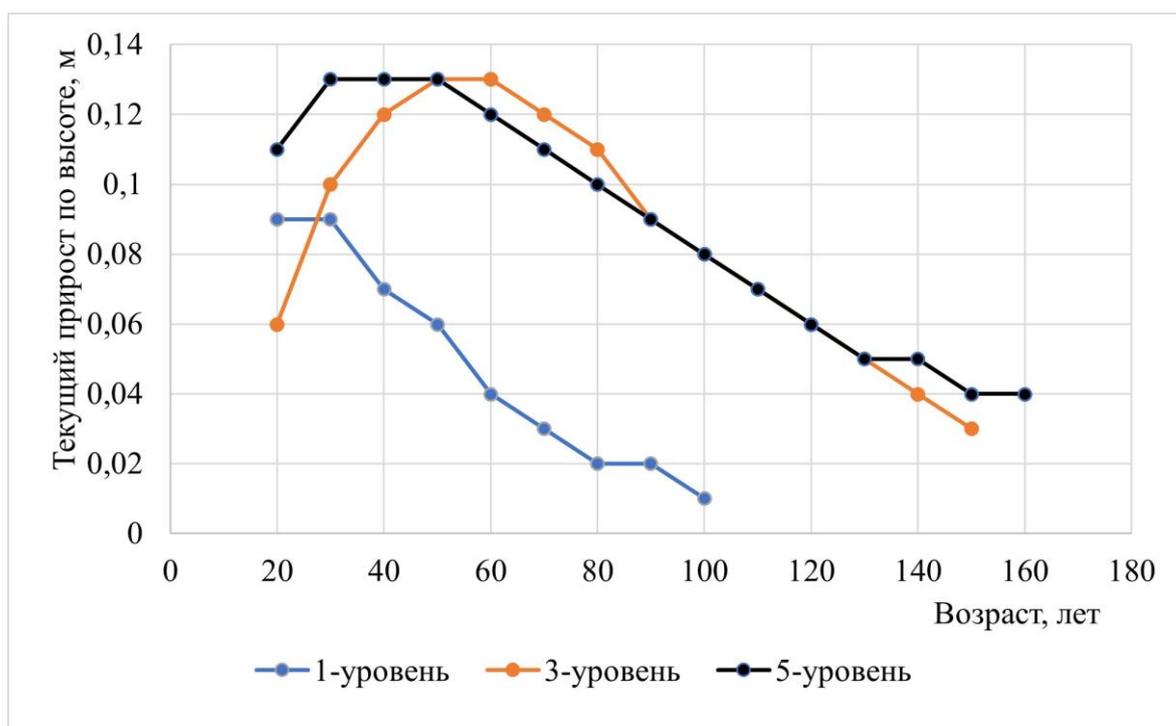


Рисунок 3.13 – Изменение прироста по высоте с возрастом у ели в разрезе высотных уровней

В целом, на верхней границе леса условия для роста деревьев ели тем лучше, чем ниже они расположены относительно уровня моря. На нижнем уровне (в сомкнутом насаждении) на рост деревьев по высоте и диаметру помимо экологических условий оказывают влияние ценотические, в частности, густота древостоев.

На основе объединенных данных повторных измерений 2002 и 2025 годов получены модели роста по диаметру и высоте в еловых древостоях верхней границы леса в разрезе высотных уровней.

Установлено, что функция роста Митчерлиха демонстрирует высокую адекватность экспериментальным данным при описании зависимостей "диаметр-возраст" и "высота-возраст" в еловых насаждениях на большинстве исследуемых высотных уровней.

На основе полученных моделей, разработана таблица возрастной динамики диаметров и высот еловых древостоев, произрастающих на разных высотных уровнях ЭВГДР. Разработанные уравнения и таблица могут успешно применяться при оценочных работах в высокогорных древостоях.

### 3.5 Объекты и методика исследований в районе исследования на Полярном Урале

Район исследований на Полярном Урале представляет собой участок юго-восточного макросклона горного массива Рай-Из (Полярный Урал, Ямало-Ненецкий автономный округ,

Россия) находятся в пределах  $65.7926^{\circ} - 66.8353^{\circ}$  с.ш.,  $65.4954^{\circ} - 65.6414^{\circ}$  в.д. (рисунок 3.14). Рельеф исследуемой территории сложный. Он образован в результате движения ледника в ходе последнего глобального оледенения. Минимальная высота местности на исследуемом участке 176,0, а максимальная – 312,8 метра над ур. м. Гидрографическая сеть образована рекой Енгаю и ручьем Кердоманшор, озером Ярейты, небольшими водоемами и ручьями, а также большим количеством временных водоемов и водотоков. Движение ледника привело к формированию большого количества бугров, впадин, гряд и ложбин.

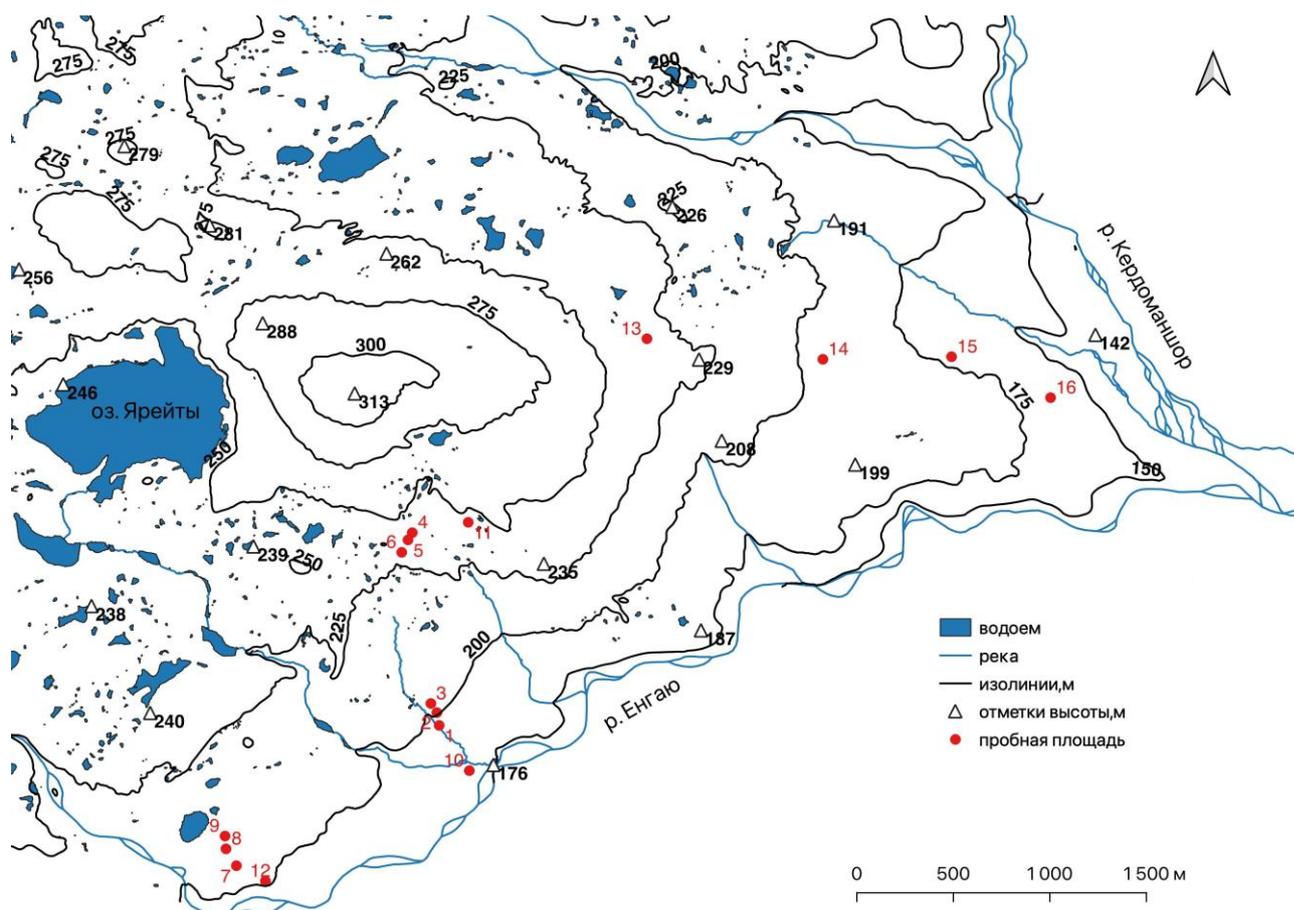


Рисунок 3.14. – Картограмма района исследований – юго-восточный макросклон горного массива Рай-Из (Полярный Урал, Ямало-Ненецкий автономный округ). Пробные площади расположены в градиенте увеличения густоты и увеличения высоты местности в условно выделенные профили: в профиль 1 вошли пробные площади 10, 1, 2, 3; в профиль 2 – 11, 4, 5, 6; в профиль 3 – 12, 7, 8, 9; в профиль 4 – 13, 14, 15, 16.

В районе исследований преобладают чистые редкостойные древостои, представленные лиственницей сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.), иногда встречаются ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.) и береза извилистая (*Betula tortuosa* Ledeb.). Подлесок представлен карликовой березой (*Betula nana* L.) и можжевельником сибирским (*Juniperus sibirica* Bugsd.). В травяно-кустарничковом ярусе преобладает голубика (*Vaccinium*

*uliginosum* L.), а в напочвенном покрове – зеленые мхи и лишайники

В 2025 году были завершено повторное измерение биометрических характеристик всех экземпляров лиственницы сибирской на ранее заложенных круговых пробных площадях (ПП). Пробные площади расположены по четыре в каждой из четырех трансект (профилей). Пробные площади расположены в градиенте увеличения густоты и увеличения высоты местности в условно выделенные профили: в профиль 1 вошли пробные площади 10, 1, 2, 3; в профиль 2 – 11, 4, 5, 6; в профиль 3 – 12, 7, 8, 9; в профиль 4 – 13, 14, 15, 16 (рисунок 3.14).

При проведении повторных измерений на каждой ПП у каждого экземпляра лиственницы (от всходов до взрослого дерева) определяли координаты при помощи GNSS-приемника Oscar Basic (Tersus GNSS Inc., Китай) и проводили измерение высоты ствола, диаметр у шейки корня, максимальный диаметр горизонтальной проекции кроны в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Для деревьев с высотой более 1,3 метра, также измеряли диаметр ствола на высоте груди.

Повторные измерения биометрических параметров лиственницы сибирской на профилях 1, 2 и 3 провели через 5 лет, а на профиле 4 через 4 года.

Высоту деревьев измеряли при помощи высотомера Vertex 5 360° (Haglöf Sweden AB, Sweden, Långsele), а высоту всходов и подроста – с использованием мерной ленты. Средний радиус кроны рассчитывали на основе измерений максимального диаметра кроны, измеренного мерной лентой в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

У деревьев при помощи приростного бурава Haglöf (Haglöf Sweden AB, Långsele, Sweden) были взяты керны древесины у основания ствола. Возраст всходов и подростов лиственницы сибирской определяли по ранее отобраным экземплярам с разной высотой ствола. Подсчет и измерение ширины годичных колец по кернам древесины и срезам ствола выполняли при помощи дендрохронологического комплекса Lintab (Rinntech Inc., Heidelberg, Germany). При определении возраста деревьев по кернам, к полученному возрасту, определяемому подсчетом колец, добавляли количество лет того экземпляра всхода или подростка, высота которого соответствует высоте взятия керна [96–97].

Диаметр ствола на высоте 1,3 м для деревьев многоствольной формы рассчитывали через радиус эквивалентного круга с площадью равной сумме площадей сечений стволов на данной высоте. В качестве высоты такого дерева использовали высоту самого высокого ствола. В качестве радиуса кроны использовали максимальное значение радиуса значения радиуса, рассчитанного на основе измерений диаметра крон.

Для расчета надземной и подземной и общей сухой фитомассы лиственницы сибирской использовали степенные уравнения, полученные для данного района

исследований [99–100], входным параметром которого является диаметр у шейки корня. Фитомассу лиственницы сибирской на пробной площади получали путем суммирования фитомассы всех экземпляров лиственницы сибирской на пробной площади, а затем пересчитывали на 1 гектар. Прирост фитомассы определяли как разность фитомассы деревьев по данным первичного измерения и повторного измерения диаметра ствола у шейки корня. Для получения текущего периодического прироста прирост фитомассы делили на количество лет между повторными измерениями.

На основе данных измерений размера крон деревьев на пробных площадях получены величины сомкнутости крон деревьев с высотой более 1,3 для каждой пробной площади. Необходимо отметить, что для суровых условий района исследований возраст деревьев начиная на этой высоте и даже ниже высоты может достигать 40 и более лет. Отнесение древостоев к одному из классов (лес, редколесье, редина, тундра с отдельно стоящими деревьями) проводили с использованием пороговых значений (таблица 3.6). Данная классификация создана на основе классификации земель Национальной системы лесоустройства Канады [101].

Таблица 3.6 – Классификация лесных и лесотундровых экосистем вблизи верхнего предела произрастания древесной растительности по сомкнутости крон деревьев

№	Сомкнутость крон, %		Название класса
	нижняя граница	верхняя граница	
1	61	100	лес
2	26	60	редколесье
3	25	10	редина
4	0	9	тундра с отдельно стоящими деревьями

На всех пробных площадях в ходе полевых исследований 2025 г. проведена лидарная съемка с использованием мобильного лазерного сканера Л-СКАН Нано (НПК «Геоматика», Россия). Обработку данных лидара выполняли в программном обеспечении LiDAR360 (GreenValley International, Китай). Данные лазерного сканирования в дальнейшем будут использованы для проведения сравнительного анализа наземных ручных измерений и автоматизированного определения биометрических характеристик лиственницы сибирской с использованием данных лазерного сканирования, в том числе для оценки точности определения таксационных показателей деревьев в разрезе высотных уровней.

Запасы фитомассы живого напочвенного покрова (ЖНП) исследовали в августе 2025 года на профилях 1,3 и 4. На пробных площадях ЖНП 10×10 м выполняли геоботанические описания и определяли запасы надземной фитомассы методом укусов. Пробные площадки

для ЖНП располагали в непосредственной близости от пробных площадей где производили обследования древостоев, таким образом, чтобы состав и покрытие живого напочвенного покрова совпадало с ЖНП пробных площадей.

На каждой пробной площади брали по пять укосов на площадках размером 50×50 см [102], данные по которым усреднялись до одной оценки на пробную площадь. Травянистые растения и кустарнички срезали на уровне границы зеленой и бурой частей мхов. Укосы в воздушно-сухом состоянии разделяли на травянисто-кустарничковый ярус и мохово-лишайниковый ярус.

Внутри травянисто-кустарничкового яруса растения разделяли на виды, внутри мохово-лишайникового яруса на мхи и лишайники. Для кустарничков и кустарников отдельно учитывали массу листвы и побегов текущего года с массой стволиков. Отдельно учитывали массу зеленой и бурой части мхов. Собирали кустистые лишайники; накипные и листоватые не учитывали [103]. На пробных площадях были взяты образцы каждого вида и определена их масса в воздушно-сухом состоянии. Образцы высушивали до абсолютно сухого состояния и проводили повторное взвешивание. Была составлена пропорция для всех видов и пересчитана фитомасса для абсолютно сухого состояния. Всего было заложено 12 пробных площадей на 3 из 4 профилей и взято 60 укосов.

Обработку, анализ и представление данных проводили с использованием языка программирования R (The R Foundation, Austria, Vienna, <https://www.r-project.org/>) в одноименной программной среде.

### **3.6 Особенности формирования надземной фитомассы древостоев лиственницы и живого напочвенного покрова на Полярном Урале**

В таблице 3.7 приведены данные количественной оценки сомкнутости крон деревьев на пробных площадях пороговые значения для отнесения исследуемых древостоев к определенному классу по величине сомкнутости крон [100].

Данные таблицы 3.7 свидетельствуют об увеличении показателей сомкнутости крон и густоты деревьев на большинстве пробных площадей.

В таблице 3.8 приведены данные по фитомассе лиственницы сибирской на пробных площадях, оцененные по первичным и повторным измерениям диаметра ствола у шейки корня. Величина фитомассы на пробных площадях при первичном измерении варьирует от 0,43 до 106,46, а при повторном от 0,63 до 117,36 тонн/га.

Таблица 3.7 – Изменение густоты и сомкнутости крон деревьев на пробных площадях за четыре и пять лет

№ПП	Первоначальные измерения			Повторные измерения		
	густота, шт/га	сомкнутость крон, %	тип фитоценохоры	густота, шт/га	сомкнутость крон, %	тип фитоценохоры
Профиль 1						
10	605	50	РЛ	605	52	РЛ
1	737	25	РД	842	35	РЛ
2	210	7	ТД	500	10	РД
3	105	1	ТД	105	1	ТД
Профиль 3						
12	605	41	РЛ	605	56	РЛ
7	158	8	ТД	289	19	РД
8	526	6	ТД	947	15	РД
9	79	3	ТД	184	4	ТД
Профиль 4						
16	447	75	ЛС	474	81	ЛС
15	763	83	ЛС	789	100	ЛС
14	710	44	РЛ	894	63	ЛС
13	474	6	ТД	763	13	РД
Профиль 2						
11	842	60	ЛС	894	91	ЛС
4	368	9	ТД	710	21	РД
5	894	9	ТД	1499	21	РД
6	132	1	ТД	263	4	ТД

Примечание: ЛС – лес; РЛ – редколесье, РД – редина, ТД – тундра с отдельно стоящими деревьями. Измерения на профилях 1 – 3 проведены через 5 лет, на профиле 4 – через 4 года

Таблица 3.8 – Фитомасса лиственницы сибирской на пробных площадях, тонн/га

№ПП	Измерение	
	первичное	повторное
Профиль 1		
10	70,51	85,48
1	17,91	25,42
2	6,22	7,19
3	0,43	0,63
Профиль 3		
12	60,85	73,85
7	11,86	20,48
8	2,09	4,39
9	2,95	4,53
Профиль 4		
16	106,46	117,36
15	85,53	108,45
14	27,82	35,84
13	2,69	6,11
Профиль 2		
11	86,61	93,77
4	9,06	16,60
5	3,08	8,64
6	0,68	2,89

В таблице 3.9 приведены данные оценки текущего периодического прироста фитомассы лиственницы сибирской на пробных площадях, а также фитомассы живого напочвенного покрова. Анализ полученных данных позволил установить, что величина текущего периодического прироста фитомассы лиственницы лежит в интервале от 0,04 до 3,30, фитомасса ЖНП – от 0,52 до 2,79 тонн/га.

Таблица 3.9 – Густота, сомкнутость крон и текущий годовой прирост фитомассы лиственницы и живого напочвенного покрова

№ПП	Густота, шт/га	Сомкнутость крон, %	На пробную площадь, кг		На гектар, тонн	
			лиственница	живой напочвенный покров	лиственница	живой напочвенный покров
1	2	3	4	5	6	7
Профиль 1						
10	605	52	113,8	38,6	2,99	1,02
1	842	35	57,2	19,9	1,50	0,52
2	500	10	7,3	20,2	0,19	0,53
3	105	1	1,5	30,5	0,04	0,80
Профиль 3						
12	605	56	125,3	70,76	3,30	1,86
7	289	19	65,5	53,9	1,72	1,42
8	947	15	17,5	25,5	0,46	0,67
9	184	4	12,0	23,3	0,31	0,61
Профиль 4						
16	474	81	103,6	106,2	2,72	2,79
15	789	100	217,8	75,4	5,73	1,98
14	894	63	76,3	47,9	2,01	1,26
13	763	13	32,5	24,5	0,85	0,65
Профиль 2						
11	894	91	54,4	–	1,43	–
4	710	21	57,3	–	1,51	–
5	1499	21	42,3	–	1,11	–
6	263	4	16,8	–	0,44	–

При уменьшении густоты и сомкнутости крон ожидаемо и закономерно снижается величина текущего периодического прироста фитомассы и живого напочвенного покрова. Исключение составляет только пробная площади №3. Данный факт, возможно связан, с особенностями перераспределения, накопления и таяния снега на данном профиле. Он требует дальнейшего изучения.

Также можно отметить, что для фитоценохоры редина (РД) и тундра с отдельно стоящими деревьями (ТД) фитомасса ЖНП в основной превосходит текущий периодический прирост фитомассы лиственницы сибирской. В лесной части экотона

верхней границы древесной растительности фитомасса ЖНП составляет не опускается ниже 34% от текущего периодического прироста фитомассы лиственницы.

Таким образом в ходе проведенных в 2025 году исследований впервые получены новые количественные данные, позволяющие оценить ежегодный формируемый запас фитомассы двух важных компонентов лесных и лесотундровых экосистем в условиях современного изменения климата. В экотоне верхней границы древесной растительности он запас лиственничных древостоев по данным прямых измерений в настоящее время может достигать примерно 117 тонн/га, что соответствует 58,5 тонн/га углерода.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения этапа проекта в 2025 году проведен комплексный анализ долгосрочных изменений климата (температуры воздуха и атмосферных осадков) на территории Уральского федерального округа за период с 1950 по 2025 годы и с 2026 до 2049 года. Исследование базируется на синтезе данных реанализа *ERA5* (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) и прогнозных данных, полученных с использованием глобальной климатической модели *BCC-CSMI-1-M* (Beijing Climate Center Climate System Model). Исследование позволило выявить комплексные закономерности трансформации климатической системы на территории Уральского федерального округа за период с середины XX века по настоящее время и построить сценарный прогноз до 2049 года. В работе использовали современные подходы к анализу больших климатических данных, включающих методы геоинформатики, статистического моделирования и машинного обучения. Полученные результаты имеют как фундаментальное научное значение для понимания региональных проявлений глобального изменения климата, так практическую значимость с точки зрения учета изменения климата при разработке рекомендаций по ведению лесного хозяйства и охраны лесов от пожаров.

Использование пятилетних агрегированных интервалов позволило минимизировать влияние краткосрочной природной изменчивости и выделить долгосрочные климатические тренды. Применение метода ядерной оценки плотности вероятности позволило провести диагностику структурных изменений в климатическом режиме региона. Выявление комбинированного сценария – одновременного роста среднего значения температуры и увеличения дисперсии – является наиболее значимым результатом с точки зрения оценки климатических рисков. Реализация данного сценария, означает, что рост средней температуры сопровождается дестабилизацией климатической системы. На практике это может вести к нелинейному росту вероятности как рекордных тепловых волн и продолжительных засух, так и кратковременных резких похолоданий. Такие экстремальные климатические явления создают серьезные вызовы для лесного хозяйства региона.

Динамическое зонирование методом К-средних показало свою эффективность для анализа изменения климатических показателей. Выделенные зоны (6 по температуре и 5 по осадкам) отражают не сложившиеся за столетия статические типы климата, а области со схожей динамикой изменений как в ретроспективе на основе данных реанализа, так и в будущем на основе данных климатической модели.

Основные содержательные выводы проведенного исследования позволяют утверждать, что Уральский регион является активной зоной глобального потепления. Тренд

в отношении атмосферных осадков является более сложным и пространственно дифференцированным, но в долгосрочной перспективе также смещается в сторону увеличения. Высокая пространственная неоднородность динамики осадков, выявленная при зонировании, дополнительно усложняет картину и требует крайне детализированного территориального планирования. Полученные результаты формируют прочную научную основу для разработки мер адаптации к изменению климата в Уральском федеральном округе.

Исследования, проведенные в рамках этапа проекта 2025 года, позволили разработать комплекс научно-обоснованных мер по адаптации лесного хозяйства и озеленения к негативным последствиям изменения климата в регионах со сложными лесорастительными условиями. Результаты получены для следующих трех направлений: защиты лесов от пожаров, устойчивого лесопользования и создания устойчивых объектов озеленения.

В области охраны лесов от пожаров подтверждена прямая связь между климатическими изменениями и ростом пожарной опасности. Установлена специфика горимости лесов Свердловской области, проявляющаяся в двух пиках: весеннем (при низких классах пожарной опасности) и летнем (при высоких классах пожарной опасности). Обоснована необходимость разработки региональной двухсезонной шкалы классов пожарной опасности на основе комплексного показателя ПВ-1, которая повысит точность прогнозирования и планирования работы лесопожарных служб. Для оперативного создания противопожарных барьеров в труднодоступных районах предложена эффективная технология с применением детонирующего шнура ДШН-80. Исследования по зажигаемости торфа от окурков выявили критическую роль ветра и позволили рекомендовать комплекс мер (пескование, ветрозащита, запрет на курение) для минимизации рисков на осушенных торфяниках.

В области лесопользования и лесовосстановления предлагается снижение возраста технической спелости еловых насаждений. Это позволит: повысить общую продуктивность лесов за счет более короткого оборота рубки, снизить уязвимость древостоев к ветровалам, пожарам и массовому размножению стволовых вредителей. Для лесовосстановления в аридных условиях (степь, лесостепь) доказана более высокая эффективность сеянцев с открытой корневой системой по сравнению с закрытой корневой системы. Это также важно с точки зрения снижения затрат при проведении лесовосстановления.

Разработаны специализированные методы подготовки почвы (валообразование, площадковая подготовка на склонах), препятствующие эрозии и зарастанию травой. Для

экстремальных условий подзоны северной тайги Ямало-Ненецкого автономного округа обосновано лесохозяйственное направление рекультивации нарушенных земель с применением торфо-песчаной смеси, что стабилизирует субстрат, повышает плодородие и создает условия для успешного создания лесных культур ивы и сосны.

В области озеленения и расширения биоразнообразия разработана и апробирована система оценки для подбора устойчивых и декоративных древесных интродуцентов. Комплексный анализ 67 видов, сортов и форм на Среднем Урале позволил выделить наиболее перспективные группы растений (отдельные сорта липы, березы, яблони, ели колючей, сосны горной), пригодные для создания эстетичных и устойчивых объектов озеленения в условиях города, в том числе на ограниченных пространствах (стилобаты, паркинги).

Для условий Крайнего Севера (ЯНАО) разработаны и утверждены практические «Рекомендации по созданию и содержанию зеленых насаждений», что является основой для планомерной озеленительной деятельности в экстремальном климате. Исследования в области стимуляции роста (применение фиторегуляторов) и микрклонального размножения направлены на решение проблемы обеспечения качественным посадочным материалом.

Результаты исследований, проведенных в экотоне верхней границы древесной растительности в районах исследований на Южном Урале и Полярном Урале позволили выявить ряд закономерностей формирования и динамики высокогорных древостоев в условиях меняющегося климата.

По данным исследований проведенных на Южном Урале установлена неоднородная во времени экспансии древесной растительности в горную тундру: массовое появление ели на нижних высотных уровнях началось в конце XIX века, на средних – в начале XX века, а устойчивое заселение верхнего, субальпийского уровня стало возможным лишь с середины XX века, и активизировались в его конце.

Исследование позволило раскрыть специфический механизм формирования высокогорных древостоев. В экстремальных условиях (низкие температуры, сильные ветры, маломощные почвы) лесовозобновление носит дискретный характер. Появление и выживание всходов и подроста возможны лишь в короткие временные отрезки с исключительно благоприятными условиями, следующих за семенными годами. Это приводит к формированию ступенчато-разновозрастных древостоев, состоящих из отдельных генераций.

Количественная оценка продуктивности и динамики накопления фитомассы подтвердила значительное снижение биологической продуктивности с высотой: запас

надземной фитомассы падает с 227 т/га на нижнем уровне до 3,5 т/га на верхнем. При этом выявлена тенденция к ускорению накопления фитомассы с 2012 по 2025 гг. на всех высотных уровнях.

Важным практическим результатом стала разработка региональных таблиц возрастной динамики диаметра и высоты для еловых древостоев разных высотных поясов. Полученные нормативы необходимы для корректной таксации и мониторинга высокогорных лесов, где стандартные таблицы, созданные для равнинных условий, неприменимы.

Исследования, проведенные Полярном Урале позволили получить количественную оценку динамики ключевых компонентов чистых лиственничных редкостойных древостоев – древесного яруса и живого напочвенного покрова в условиях современного изменения климата. За короткий период наблюдений (4–5 лет) на большинстве пробных площадей отмечено увеличение как густоты деревьев, так и сомкнутости крон лиственницы.

Количественная оценка текущего периодического прироста фитомассы лиственницы на 16 пробных площадях позволила установить диапазон следующих значений: 0,04–3,30 т/га/год). Максимальные значения получены для леса и редколесьям, минимальные – к тундровым участкам с единичными деревьями. Общий запас фитомассы (надземной и подземной) лиственницы сибирской по данным прямых измерений на пробных площадях достигает примерно 117 тонн/га. Количественная оценка запаса фитомассы живого напочвенного покрова на пробных площадях позволила установить следующий диапазон значений: 0,52–2,79 т/га. Установлено, что в разреженных сообществах («редина», «тундра с отдельно стоящими деревьями») вклад живого напочвенного покрова в ежегодный прирост органического вещества часто превышает вклад древесного яруса.

Таким образом, полученные в ходе исследований данные подтверждают высокую чувствительность лесотундровых экосистем Полярного Урала к климатическим изменениям. Одновременно показана значимая роль живого напочвенного покрова как стабильного компонента, обеспечивающего продуктивность экосистемы на начальных этапах формирования лесного сообщества.

В целом, проведенное исследование убедительно демонстрирует, что экотон верхней границы древесной растительности Южного и Полярного Урала являются высокочувствительными системами для оценки реакции биоты на региональное потепление.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ECMWF Reanalysis v5 (ERA5) // ECMWF Reanalysis v5 (ERA5) : официальный сайт. – URL: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/dataset/ecmwf-reanalysis-v5> (дата обращения: 21.12.2025).
2. Global bioclimatic indicators from 1950 to 2100 derived from climate projections / Copernicus Climate Change Service // Copernicus Climate Data Store (CDS). – Version 1.0. – 2021. – URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/sis-biodiversity-cmip5-global?tab=download> (дата обращения: 24.12.2025).
3. WCRP CMIP5: Beijing Climate Center (BCC) bcc-csm1-1-m model output for the historical experiment // CEDA Archive. – URL: <https://catalogue.ceda.ac.uk/uuid/ef07ead806374d5c85cdcdce62c09e7e/> (дата обращения: 21.12.2025).
4. Wu T., Song L., Li W. [et al.] An overview of BCC climate system model development and application for climate change studies // Acta Meteorologica Sinica. – 2014. – Vol. 28. № 1. – P. 34–56.
5. Xin X.-G., Wu T.-W., Li J.-L. [et al.] How well does BCC\_CSM1.1 reproduce the 20th century climate change over China? // Atmospheric and Oceanic Science Letters. – 2013. – Vol. 6. № 1. – P. 21–26.
6. Xiong Y., Ta Z., Gan M. [et al.] Evaluation of CMIP5 climate models using historical surface air temperatures in Central Asia // Atmosphere. – 2021. – Vol. 12. – № 3. – Art. 308.
7. Silverman B.W. Density estimation for statistics and data analysis. – London: Chapman & Hall, 1986. – 175 p.
8. Wilke C.O. Fundamentals of data visualization: a primer on making informative and compelling figures. – Sebastopol: O'Reilly Media, 2019. – 390 p.
9. Masson-Delmotte V., Zhai P., Pirani A. [et al.] Climate change 2021: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Cambridge: Cambridge University Press, 2021. – Chapter 11.
10. Köppen W. Das geographische System der Klimate // Handbuch der Klimatologie. – Berlin: Gebrüder Borntraeger, 1936. – Bd. 1. – Teil C. – 44 S.
11. Алисов Б.П. Климатические области и районы СССР. – М.: Географгиз, 1956. – 224 с.
12. Бudyko М.И. Климат и жизнь. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 470 с.
13. Widiasih E.R. Dynamics of the Budyko Energy Balance Model // SIAM Journal on Applied Dynamical Systems. – 2013. – Vol. 12. Iss. 4. – DOI: 10.1137/100812306.

14. Wilks D.S. Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. – 3rd ed. – Oxford: Academic Press, 2011. – 676 p.
15. Jain A.K. Data clustering: 50 years beyond K-means // Pattern Recognition Letters. – 2010. – Vol. 31. № 8. – P. 651–666.
16. Лупян Е.А., Барталев С.А., Балашов И.В., Егоров В.А., Ершов Д.В., Кобец Д.А., Сенько К.С., Стыщенко Ф.В., Сычугов И.Г. Спутниковый мониторинг лесных пожаров в XXI веке на территории Российской Федерации // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2017. – Т. 14. № 6. – С. 158–175.
17. Котельников Р.В., Мартынюк П. Показатель для оценки эффективности организации охраны лесов от пожаров // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2021. – № 2 (380). – С. 213–222.
18. National Interagency Fire Center. Fire Information. Statistics. – 2024. – URL: <https://www.nifc.gov/fire-information/statistics/wildfires> (дата обращения: 03.09.2025).
19. Canadian National Fire Database (CNFDB). – 2024. – URL: <https://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca/ha/nfdb?type=poly> (дата обращения: 03.09.2025).
20. Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (UCDM – Рослесхоз). – URL: <https://nffc.aviales.ru/main-pages/index.shtml> (дата обращения: 03.09.2025).
21. Ерицов А.М., Безденежных И.В., Залесов С.В. Необходимость координации усилий по совершенствованию охраны лесов от пожаров // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2025. – Вып. 253. – С. 22–33.
22. Куксин Г.В., Секерин И.М., Ерицов А.М., Залесов С.В. Анализ фактической горимости лесов по федеральным округам Российской Федерации и пути ее минимизации // Хвойные бореальной зоны. – 2025. – Т. XLIII. – № 3. – С. 67–75.
23. Секерин И.М., Секерин А.М., Куксин Г.В., Залесов С.В., Магасумова А.Г. Анализ горимости лесов Забайкальского края за 2022–2024 годы // Международный научно-исследовательский журнал. – 2025. – № 3.
24. Кузнецов Л.Е., Залесов С.В. Совершенствование плана противопожарного обустройства лесов в Тюменской области // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2025. – С. 73–82.
25. Определение природной пожарной опасности в лесу: методические рекомендации / С.М. Ванский [и др.]. – Ленинград: ЛенНИИЛХ, 1981. – 50 с.
26. Ерицов А.М., Залесов С.В., Кузнецов Л.Е., Секерин И.М., Щеплягин П.В. Использование взрывчатых веществ при тушении торфяных пожаров // Эффективный ответ

на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2025. – С. 41–50.

27. Секерин И.М., Годовалов Г.А., Ерицов А.М., Залесов С.В., Крехтунов А.А. Шкала классов пожарной опасности по условиям погоды для Свердловской области // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2025. – № 1 (81). – С. 96–101.

28. Куксин Г.В., Крючковская Л.А., Залесов С.В. Экспериментальные исследования зажигания торфа от непотушенных окурков // Сибирский лесной журнал. – 2025. – № 5. – С. 109–119.

29. Агафонова Т.Н., Итешина Н.М., Залесов С.В. Состояние еловых насаждений в Удмуртской Республике // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2025. – № 2 (82). – С. 36–42.

30. Агафонова Т.Н., Залесов С.В., Итешина Н.М., Семенова М.Е. Санитарное состояние еловых древостоев по густоте и запасу // Международный научно-исследовательский журнал. – 2025. – № 3. – DOI: 10.60797/IRJ.2025.153.67.

31. Чермных А.И., Безденежных И.В., Жижин С.М., Залесов С.В., Осипенко А.Е., Панин И.А. Методика анализа лесотаксационных баз данных // Леса России и хозяйство в них. – 2025. – № 1 (92). – С. 81–90.

32. Иванчина Л.А., Залесов С.В. Влияние размера деревьев ели на их устойчивость в условиях ельника зеленомошного // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2018. – Вып. 51. – С. 34–37.

33. Иванчина Л.А., Залесов С.В., Косенкова Е.И. Влияние размера деревьев ели на их устойчивость в условиях Прикамья // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. – 2018. – № 1 (49). – С. 147–153.

34. Предеина И.В., Залесов С.В., Итешина Н.М., Попов А.С., Семенова М.Е. Снижение возраста спелости как способ повышения продуктивности лесов // Хвойные бореальной зоны. – 2025. – Т. XLIII. – № 2. – С. 143–150.

35. Белов Л.А., Гавриленко А.Н., Залесов С.В., Предеина И.В. Опыт реформирования производных березняков в кедровники // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии. – 2025. – № 2 (79). – С. 52–59.

36. Белов Л.А., Башегуров К.А., Безденежных И.В., Залесов С.В., Итешина Н.М. Лесоводственная эффективность использования машин ЛП-19 // Лесной вестник / Forestry Bulletin. – 2015. – Т. 29. – № 2. – С. 18–29.

37. Залесов С.В., Семенова М.Е., Сураев П.Н., Короткова А.А., Роговский С.В. Проблемы современного лесопользования // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2025. – С. 67–72.
38. Залесов С.В., Предеина И.В., Итешина Н.М., Чынгожоев Н.М., Бунькова Н.П. Интенсификация ведения лесного хозяйства как основа современного лесопользования // Леса России и хозяйство в них. – 2025. – № 4 (95). – С. 86–94.
39. Кузнецов Л.Е., Залесов С.В. Биологический метод борьбы с сибирским шелкопрядом // Леса России и хозяйство в них. – 2025. – № 1 (92). – С. 138–148.
40. Об утверждении правил лесовосстановления, формы, состава, порядка согласования проекта лесовосстановления, оснований для отказа в его согласовании, а также требований к формату в электронной форме проекта лесовосстановления" : приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации 29.12.2021 № 1024. – URL: <https://base.garant.ru/403517664/> (дата обращения: 10.12.2025).
41. Осипенко А.Е., Попов А.С., Залесов С.В., Магасумова А.Г. Подготовка почвы под лесные культуры // Леса России и хозяйство в них. – 2025. – № 4 (95). – С. 117–126.
42. Осипенко А.Е., Залесов С.В., Башегуров К.А. Эффективность создания культур сосны обыкновенной // Известия вузов. Лесной журнал. – 2025. – № 4. – С. 64–76.
43. Осипенко А.Е., Осипенко Р.А., Залесов С.В. Производственный опыт создания культур сосны обыкновенной // Лесной вестник / Forestry Bulletin. – 2025. – Т. 29. – № 4. – С. 5–18.
44. Беспалов Ю.В., Игнатовский О.А., Осипенко А.Е., Залесов С.В. Обеспеченность подростом и обоснование вида рубок // Леса России и хозяйство в них. – 2025. – № 4 (95). – С. 4–11.
45. Данчева А.В., Залесов С.В., Назарова В.В. Особенности естественного лесовозобновления в городских лесах Тюмени // Леса России и хозяйство в них. – 2025. – № 2 (93). – С. 4–15.
46. Чынгожоев Н.М., Арстанбек уулу Н., Манасова Ж.И., Залесов С.В. Эффективность создания лесных культур луночным методом // Вестник Ижевской ГСХА. – 2025. – № 2 (82). – С. 89–97.
47. Чынгожоев Н.М., Залесов С.В., Арстанбек уулу Н., Манасова Ж.И. Адаптация лесовосстановительных технологий к условиям высокогорья // Вигоровские чтения. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2025. – С. 136–140.

48. Чынгожоев Н.М., Залесов С.В. Эффективность искусственного лесовосстановления в Иссык-Кульском лесхозе // Вестник Ижевской ГСХА. – 2025. – № 3 (83). – С. 79–87.
49. Данчева А.В., Залесов С.В., Рапопорт К.Э., Янишева А.Р. Особенности лесовосстановительного процесса гарей малых площадей // Известия СПб ЛТА. – 2025. – Вып. 252. – С. 40–54.
50. Башегуров К.А., Гавриленко А.Н., Розинкина Е.П., Попов А.С., Залесов С.В., Предеина И.В. Естественное лесовосстановление на вырубках // Известия вузов. Лесной журнал. – 2025. – № 1. – С. 58–70.
51. Розинкина Е.П. Лесная рекультивация нарушенных земель в условиях подзоны Северной тайги ЯНАО : дис. ... канд. с.-х. наук (спец. 4.1.6). – Екатеринбург, 2025. – 135 с.
52. Астратова Г.В., Мехренцев А.В., Понамарева Л.И. [и др.] Качество жизни: вчера, сегодня, завтра, актуальные проблемы вступления России в ВТО. – Екатеринбург: Изд-во ГК «Стратегия позитиваТМ», 2012. – 470 с.
53. Мехренцев А.В., Хрущева М.И., Залесов С.В. [и др.] Качество жизни: проблемы и перспективы XXI века. – Екатеринбург: Изд-во ГК «Стратегия позитиваТМ», 2013. – 532 с.
54. Куприянов А.Н. Интродукция растений : учебное пособие. – Кемерово: Кузбасвуиздат, 2004. – 94 с.
55. Гусев А.В., Залесов С.В., Сарсекова Д.Н. Методика определения перспективности интродукции древесных растений // Социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса в рамках концепции 2020. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2009. – Ч. 2. – С. 272–275.
56. Залесов С.В., Платонов Е.П., Гусев А.В. Перспективность древесных интродуцентов для озеленения в условиях средней подзоны тайги Западной Сибири // Аграрный вестник Урала. – 2011. – № 4 (83). – С. 56–58.
57. Емельянова О.Ю., Масалова Л.Н., Фирсов А.Н. Оценка степени декоративности древесных растений : методические указания. – Орел: ВНИИСПК, 2021. – 26 с.
58. Крекова Я.А., Залесов С.В. Перспективные интродуценты для расширения видового разнообразия березняков в Северном Казахстане // Лесной вестник / Forestry Bulletin. – 2025. – Т. 29. – № 5. – С. 75–85.
59. Крекова Я.А., Залесов С.В., Чеботько Н.К. Комплексная оценка декоративности спиреи (*Spiraea L.*) в северной части Казахстана // Природообустройство. – 2025. – № 4. – С. 117–124.

60. Крекова Я.А., Рахимжанов А.Н., Залесов С.В. Опыт интродукции древесных растений при создании санитарно-защитной зоны г. Астаны // Вигоровские чтения. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2025. – С. 274–280.
61. Крекова Я.А., Чебатько Н.К., Залесов С.В. Эффективность использования природных стимуляторов на укореняемость черенков чубушника // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2025. – № 2 (82). – С. 57–64.
62. Залесов С.В., Кайзер Н.В., Крекова Я.А., Мартюшов П.А., Попов А.С. Ошибки при озеленении северных населенных пунктов // Леса России и хозяйство в них. – 2024. – № 4 (91). – С. 30–37.
63. Коростелева М.В. Оценка перспективности интродукции древесных растений для озеленения на Среднем Урале : дис. ... канд. с.-х. наук (спец. 4.1.6). – Екатеринбург, 2025. – 299 с.
64. Попов А.С., Кайзер Н.В., Мартюшов П.А. [и др.] Рекомендации по созданию и содержанию зеленых насаждений в населенных пунктах Ямало-Ненецкого автономного округа. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2025. – 135 с.
65. Лутай С.С., Старыгин Л.А., Залесов С.В. Влияние фиторегулятора из побегов ивы остролистной (*Salix acutifolia* Willd.) на всхожесть семян лиственных пород // Международный научно-исследовательский журнал. – 2025. – № 7 (157). 88.
66. Лутай С.С., Старыгин Л.А., Дауленова М.Ж., Кочегаров И.С., Залесов С.В. Перспективность инкрустации семян органоминеральными композитами // Леса России и хозяйство в них. – 2025. – № 3 (94). – С. 4–11.
67. Марковская А.Н., Мартюшова Е.Г., Мартюшов П.А., Тесля Д.Е., Залесов С.В. Результаты клонального микроразмножения *Lonicera tatarica* L. // Леса России и хозяйство в них. – 2025. – № 1 (92). – С. 62–68.
68. Kullman L. Rapid recent range margin rise of tree and shrub species in the Swedish Scandes // Journal of Ecology. – 2002. – Vol. 90. – P. 68–77.
69. Camarero J.J., Gutiérrez E., Fortin M.-J. Spatial patterns of plant richness across treeline ecotones in the Pyrenees // Global Ecology and Biogeography. – 2006. – Vol. 15. – P. 182–191.
70. Shiyatov S.G., Terent'ev M.M., Fomin V.V., Zimmermann N.E. Altitudinal and horizontal shifts of forest boundaries in the Polar Urals // Russian Journal of Ecology. – 2007. – Vol. 38. – P. 223–227.
71. Bakker J., Olivera M.M., Hooghiemstra H. Holocene environmental change at the upper forest line in northern Ecuador // The Holocene. – 2008. – Vol. 18. – P. 877–893.

72. Kharuk V.I., Im S.T., Dvinskaya M.L. Forest–tundra ecotone response to climate change in the Western Sayan Mountains // *Scandinavian Journal of Forest Research*. – 2010. – Vol. 25. – P. 224–233.
73. Dufour-Tremblay G., Lévesque E., Boudreau S. Dynamics at the treeline in eastern subarctic Québec // *Environmental Research Letters*. – 2012. – Vol. 7. No. 4. – P. 044038.
74. Bryn A., Potthoff K. Elevational treeline dynamics in Norwegian mountain areas // *Landscape Ecology*. – 2018. – Vol. 33. – P. 1225–1245.
75. Mamet S.D., Brown C.D., Trant A.J., Laroque C.P. Shifting global *Larix* distributions // *Journal of Biogeography*. – 2019. – Vol. 46. – P. 30–44.
76. Горчаковский П.Л., Шиятов С.Г. Фитоиндикация условий среды и природных процессов в высокогорьях. – М.: Наука, 1958. – 208 с.
77. Шиятов С.Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале. – М.: Наука, 1986. – 136 с.
78. Усольцев В.А., Нагимов З.Я. Методы таксации фитомассы древостоев. – Свердловск: РИО УЛТИ, 1988. – 46 с.
79. Усольцев В.А., Нагимов З.Я. Исследование вертикально-фракционного распределения фитомассы древостоев. – Свердловск: УЛТИ, 1989. – 33 с.
80. Шиятов С.Г. Динамика древесной и кустарниковой растительности в горах Полярного Урала. – Екатеринбург: УрО РАН, 2009. – 219 с.
81. Григорьев А.А., Моисеев П.А., Нагимов З.Я. Формирование древостоев в высокогорьях Приполярного Урала. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. – 170 с.
82. Голубева Е.И., Рис Г.У., Зимин М.В., Ковальчук М.Л., Тимохина Ю.И. Динамика флористического состава и границ высотных поясов // *Вестник Московского университета. Сер. 5. География*. – 2022. – № 1. – С. 58–68.
83. Назимова Д.И., Кошкарлова В.Л., Данилина Д.М., Коновалова М.Е. Пространственно-временная динамика темнохвойных лесов юга Приенисейской Сибири // *Известия РАН. Серия географическая*. – 2023. – Т. 87. – № 8. – С. 1224–1237.
84. Григорьев А.А., Вьюхин С.О., Шалаумова Ю.В. [и др.] Структура и динамика древостоев *Pinus sibirica* на верхнем пределе произрастания // *Известия РАН. Серия географическая*. – 2024. – Т. 88. – № 3. – С. 321–336.
85. Горяева А.В. Оценка естественного возобновления ели и лиственницы в высокогорьях Урала : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Екатеринбург, 2008. – 24 с.
86. Комин Г.Е., Семечкина И.В. Возрастная структура древостоев и принципы ее типизации // *Лесоведение*. – 1970. – № 2. – С. 24–33.

87. Hagedorn F., Dawes M.A., Bubnov M.O. [et al.] Latitudinal decline in stand biomass at the elevational treeline in the Urals // *Journal of Biogeography*. – 2020. – Vol. 47. – P. 1827–1842.
88. Шевелев С.Л. Пути совершенствования нормативной базы таксации хвойных древостоев Средней Сибири // *Хвойные бореальной зоны*. – 2007. – № 4–5. – С. 358–361.
89. Булыгина О.Н., Коршунова Н.Н., Кузнецова В.Н., Разуваев В.Н., Трофименко Л.Т. Анализ изменчивости климата на территории России // *Труды ВНИИГМИ-МЦД*. – 2000. – Вып. 167. – С. 3–15.
90. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / под ред. В.М. Катцова. – СПб.: Научные технологии, 2022. – 124 с.
91. Онищенко В.В., Дега Н.С. Эколого-географическая толерантность горного лесообразования // *Экологические проблемы использования горных лесов*. – Майкоп, 2022. – С. 324–331.
92. Кузьмичев В.В. Закономерности динамики древостоев: принципы и модели. – Новосибирск: Наука, 1977. – 160 с.
93. Рогозин М.В., Разин Г.С. Развитие древостоев: модели, законы, гипотезы. – Пермь: ПГНИУ, 2015. – 277 с.
94. Дубенок Н.Н., Лебедев А.В., Чистяков С.А. Возрастные изменения березовых древостоев // *Тимирязевский биологический журнал*. – 2024. – Т. 2. № 1. – С. 6–21.
95. Таксация леса. Ход роста насаждений : учебное пособие / И.С. Сальникова [и др.]. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2020. – 130 с.
96. Хлюстов В.К. Новые модели типов роста древостоев // *Актуальные проблемы лесного комплекса*. – 2022. – Вып. 62. – С. 90–95.
97. Wong C.M., Lertzman K.P. Errors in estimating tree age // *Canadian Journal of Forest Research*. – 2001. – Vol. 31. – P. 1262–1271.
98. Elliott G.P., Kipfmueller K.F. Multi-scale influences of slope aspect on treeline dynamics // *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*. – 2018. – Vol. 42. – P. 45–56.
99. Мазепа В.С., Шиятов С.Г. Динамика верхней границы леса на Полярном Урале // *Вопросы географии*. – 2014. – Т. 137. – С. 290.
100. Devi N.M., Kukarskih V.V., Galimova A.A. [et al.] Climate change evidence in tree growth at the Polar Urals treeline // *Forest Ecosystems*. – 2020. – Vol. 7.
101. National Forest Inventory. NFI Photo Plot Data Dictionary for Second Remeasurement. – 2016. – URL: [https://www.fia.fs.usda.gov/library/database-documentation/current/ver80/FIADB%20User%20Guide%20P2\\_8-0.pdf](https://www.fia.fs.usda.gov/library/database-documentation/current/ver80/FIADB%20User%20Guide%20P2_8-0.pdf) (дата обращения: 15.12.2025).

102. Андреева Е.Н., Баккал И.Ю., Горшков В.В. [и др.] Методы изучения лесных сообществ. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет, 2002. – 240 с.

103. Горбунова А.М., Горбунов Л.С., Веселкин Д.В. Изменение запасов зеленых и лишайниковых кормов в южных тундрах Ямала // Экология. – 2023. – № 2. – С. 83–93.

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**  
**Библиографический список публикаций и патентных документов,**  
**полученных в результате выполнения НИР (справочное)**

*Публикации в научных журналах:*

*Публикации в научных журналах, входящих в текущий «Белый список» (УБС)*

**УБС 1**

Башегуров К.А., Гавриленко А.Н., Розинкина Е.П., Попов А.С., Залесов С.В., Предеина И.В. Естественное лесовосстановление на вырубках в северо-таежном равнинном районе Западной Сибири // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2025. – № 1. – С. 58–70.

**УБС 2**

Крекова Я.А., Залесов С.В., Чеботько Н.К. Комплексная оценка декоративности спиреи (*Spiraea* L.) в северной части Казахстана // Природообустройство. – 2025. – № 4. – С. 117–124.

Данчева А.В., Залесов С.В., Рапопорт К.Э., Янишева А.Р. Особенности лесовосстановительного процесса гарей малых площадей в лесостепной и таежной зонах Тюменской области // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2025. – Вып. 252. – С. 40–54.

Ерицов А.М., Безденежных И.В., Залесов С.В. Необходимость координации усилий по совершенствованию охраны лесов от пожаров // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2025. – Вып. 253. – С. 22–33.

**УБС 3**

Белов Л.А., Башегуров К.А., Безденежных И.В., Залесов С.В., Итешина Н.М. Лесоводственная эффективность использования валочно-пакетирующих машин ЛП-19 при проведении чересполосных постепенных рубок в производных березняках // Лесной вестник / Forestry Bulletin. – 2025. – Т. 29. № 2. – С. 18–29.

Крекова Я.А., Залесов С.В. Перспективные интродуценты для расширения видового разнообразия березняков в Северном Казахстане // Лесной вестник / Forestry Bulletin. – 2025. – Т. 29. № 5. – С. 75-85.

Нагимов З. Я., Григорьев А. А., Балакин Д. С., Бартыш А. А., Моисеев П. А., Шевелина И. В. Запасы надземной фитомассы и депонированного углерода в древостоях ели в высокогорьях Южного Урала // Сибирский лесной журнал. – 2025. – № 4. – С. 56–67.

Куксин Г.В., Крючковская Л.А., Залесов С.В. Экспериментальные исследования зажигания торфа от непотушенных окурков на осушенных болотах в зоне бореальных лесов // Сибирский лесной журнал. – 2025. – № 5. – С. 109–119.

Предеина И.В., Залесов С.В., Итешина Н.М., Попов А.С., Семенова М.Е. Снижение возраста спелости как способ повышения продуктивности лесов и минимизации рисков при выращивании еловых насаждений // Хвойные бореальной зоны. – 2025. – Т. XLIII. № 2. – С. 143–150.

Куксин Г.В., Секерин И.М., Ерицов А.М., Залесов С.В. Анализ фактической горимости лесов по федеральным округам Российской Федерации и пути ее минимизации // Хвойные бореальной зоны. – 2025. – Т. XLIII. № 3. – С. 67–75.

#### **УБС 4**

Белов Л.А., Гавриленко А.Н., Залесов С.В., Предеина И.В. Опыт реформирования производных березняков в кедровники // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – 2025. – № 2 (79). – С. 52–59.

Секерин И.М., Годовалов Г.А., Ерицов А.М., Залесов С.В., Кректунов А.А. Шкала классов пожарной опасности по условиям погоды для Свердловской области // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2025. – № 1 (81). – С. 96–101.

Агафонова Т.Н., Итешина Н.М., Залесов С.В. Состояние еловых насаждений в Удмуртской Республике // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2025. – № 2 (82). – С. 36–42.

Крекова Я.А., Чебатько Н.К., Залесов С.В. Эффективность использования природных стимуляторов на укореняемость черенков чубушника // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2025. – № 2 (82). – С. 57–64.

Чынгожоев Н.М., Артсанбек уулу Н., Манасова Ж.И., Залесов С.В. Эффективность создания лесных культур луночным методом // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2025. – № 2 (82). – С. 89–97.

Чынгожоев Н.М., Залесов С.В. Эффективность искусственного лесовосстановления в Иссык-Кульском лесхозе Республики Кыргызстан // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2025. – № 3 (83). – С. 79–87.

Марковская А.Н., Мартюшова Е.Г., Мартюшов П.А., Тесля Д.Е., Залесов С.В. Результаты клонального микроразмножения *Lonicera tatarica* L. // Леса России и хозяйство в них. – 2025. – № 1 (92). – С. 62–68.

Чермных А.И., Безденежных И.В., Жижин С.М., Залесов С.В., Осипенко А.Е., Панин И.А. Методика анализа лесотаксационных баз данных // Леса России и хозяйство в них. – 2025. – № 1 (92). – С. 81–90.

Кузнецов Л.Е., Залесов С.В. Биологический метод борьбы с сибирским шелкопрядом на территории Тюменской области // Леса России и хозяйство в них. – 2025. – № 1 (92). – С. 138–148.

Данчева А.В., Залесов С.В., Назарова В.В. Особенности естественного лесовозобновления сосновых насаждений в условиях городских лесов города Тюмени (на примере парка «Гилевская роща» // Леса России и хозяйство в них. – 2025. – № 2 (93). – С. 4–15.

Лутай С.С., Старыгин Л.А., Дауленова М.Ж., Кочегаров И.С., Залесов С.В. Перспективность инкрустации семян органоминеральными композитами // Леса России и хозяйство в них. – 2025. – № 3 (94). – С. 4–11.

Беспалов Ю.В., Игнатовский О.А., Осипенко А.Е., Залесов С.В. Обеспеченность подростом и обоснование вида рубок спелых и перестойных насаждений в ленточных борах Алтая // Леса России и хозяйство в них. – 2025. – № 4 (95). – С. 4–11.

Залесов С.В., Предеина И.В., Итешина Н.М., Чынгожоев Н.М., Бунькова Н.П. Интенсификация ведения лесного хозяйства как основа современного лесопользования // Леса России и хозяйство в них. – 2025. – № 4 (95). – С. 86–94.

Осипенко А.Е., Попов А.С., Залесов С.В., Магасумова А.Г. Подготовка почвы под лесные культуры в Западно-Сибирском подтаежно-лесостепном районе // Леса России и хозяйство в них. – 2025. – № 4 (95). – С. 117–126.

***Публикации в научных изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования***

Секерин И.М., Секерин А.М., Куксин Г.В., Залесов С.В., Магасумова А.Г. Анализ горимости лесов Забайкальского края за 2022-2024 годы // Международный научно-исследовательский журнал. – 2025. – № 3. – URL: <https://research-journal.org/media/articles/17462.pdf> (дата обращения 11.12.2025)

Агафонова Т.Н., Залесов С.В., Итешина Н.М., Семенова М.Е. Санитарное состояние еловых древостоев по густоте и запасу // Международный научно-исследовательский журнал. – 2025. – № 3. – URL: <https://research-journal.org/media/articles/16956.pdf> (дата обращения 12.12.2025)

Лутай С.С., Старыгин Л.А., Залесов С.В. Влияние фиторегулятора из побегов ивы остролистной (*Salix acutifolia* Willd.) на всхожесть семян деревьев лиственных пород // Международный научно-исследовательский журнал. – 2025. – № 7 (157). – URL: <https://research-journal.org/media/articles/19292.pdf> (дата обращения 15.12.2025)

***Публикации в материалах сборников конференций:***

Ерицов А.М., Залесов С.В., Кузнецов Л.Е., Секерин И.М., Щеплягин П.В. Использование взрывчатых веществ при тушении торфяных пожаров // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: Материалы XVI Международной научно-технической конференции. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2025. – С. 41–50.

Кузнецов Л.Е., Залесов С.В. Совершенствование плана противопожарного обустройства лесов в Тюменской области // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: Материалы XVI Международной научно-технической конференции. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2025. – С. 73–82.

Абишев К.Б., Шевелина И.В., Демидова А.В., Нагимов З.Я., Воробьева Т.С. Оценка точности определения основных таксационных показателей деревьев мобильным лазерным 3D сканером Л-Скан Нано // Лесные экосистемы в условиях меняющегося климата: проблемы и перспективы : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 110-летию кафедры лесоводства, лесной таксации и лесоустройства и 95-летию ВГЛТУ. – Воронеж: ВГЛТУ, 2025. – С. 80–84.

Балакин Д.С., Нагимов З.Я., Моисеев П.А., Григорьев А.А., Вьюхин С.О. Особенности формирования древостоев ели в высокогорьях южного Урала // Лесные экосистемы в условиях меняющегося климата: проблемы и перспективы: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 110-летию кафедры лесоводства, лесной таксации и лесоустройства и 95-летию ВГЛТУ. – Воронеж: ВГЛТУ, 2025. – С. 142–148.

Чынгожоев Н.М., Залесов С.В., Арстанбек уулу Н., Манасова Ж.И. Адаптация лесовосстановительных технологий к природным условиям высокогорья Ак-Суйского ущелья Тянь-Шаня // Вигоровские чтения: материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием, посвященной 75-летию Урал. сада лечебных культур им. проф. Л.И. Вигорова. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2025. – С. 136–140.

Крекова Я.А., Рахимжанов А.Н., Залесов С.В. Опыт интродукции древесных растений при создании санитарно-защитной зоны г. Астаны // Вигоровские чтения: материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием, посвященной 75-летию Урал. сада лечебных культур им. проф. Л.И. Вигорова – Екатеринбург: УГЛТУ, 2025. – С. 274–280.

Шевелина И. В., Абишев К. Б., Демидова А. В. Использование мобильного лазерного 3D-сканера «Л-СКАН НАНО» в городских озеленительных посадках // Вигоровские чтения: материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием, посвященной 75-летию Урал. сада лечебных культур им. проф. Л.И. Вигорова – Екатеринбург: УГЛТУ, 2025. – С. 268–273.

***Доклады по теме научного исследования на российских и международных научных конференциях:***

Agapitov E.M Spatiotemporal dynamics and genetic structure features of siberian larch populations in the «forest-tundra» ecotone in the Polar Urals under contemporary climate change / Renewable resources: forest biomass processing technologies, chemistry, medicine (Saint Petersburg, 25 September 2025 y.) - [https://spbftu.ru/uploads/conference/English\\_conf/ProgramRR\\_2025.pdf](https://spbftu.ru/uploads/conference/English_conf/ProgramRR_2025.pdf)

Фомин В.В. Климатогенная динамика и особенности генетической структуры популяции лиственницы сибирской вблизи верхнего предела ее произрастания на Полярном Урале в условиях прошлого и современного изменения климата // Экобиотех-2025: VIII Всероссийская конференции с международным участием (г. Уфа 4 октября 2025 г.) - [http://ufaras.ru/?page\\_id=27915](http://ufaras.ru/?page_id=27915)

Фомин В.В. Научные исследования и разработки Уральского государственного лесотехнического университета // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: XVI Международная научно-техническая конференция (г. Екатеринбург 23 апреля 2025 г.) - [https://usfeu.ru/deyatelnost/nauchnaya-deyatelnost-ugltu/konferencii-ugltu/xiii-mezhdunarodnaya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya-effektiv/xvi-mezhdunarodnaya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya-effektivn/?edit\\_off=true](https://usfeu.ru/deyatelnost/nauchnaya-deyatelnost-ugltu/konferencii-ugltu/xiii-mezhdunarodnaya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya-effektiv/xvi-mezhdunarodnaya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya-effektivn/?edit_off=true)

Бунькова Н.П. Показатели подроста и подлеска под влиянием рекреационного воздействия в условиях Шарташского лесного парка // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: XVI Международная научно-техническая конференция (г. Екатеринбург 23 апреля 2025 г.) - <https://usfeu.ru/deyatelnost/nauchnaya-deyatelnost-ugltu/konferencii-ugltu/xiii->

[mezhdunarodnaya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya-effektiv/xvi-mezhdunarodnaya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya-effektivn/?edit\\_off=true](https://usfeu.ru/deyatelnost/nauchnaya-deyatelnost-ugltu/konferencii-ugltu/xiii-mezhdunarodnaya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya-effektiv/xvi-mezhdunarodnaya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya-effektivn/?edit_off=true)

Залесов С.В. Проблемы современного лесопользования // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: XVI Международная научно-техническая конференция (г. Екатеринбург 23 апреля 2025 г.) - [https://usfeu.ru/deyatelnost/nauchnaya-deyatelnost-ugltu/konferencii-ugltu/xiii-mezhdunarodnaya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya-effektiv/xvi-mezhdunarodnaya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya-effektivn/?edit\\_off=true](https://usfeu.ru/deyatelnost/nauchnaya-deyatelnost-ugltu/konferencii-ugltu/xiii-mezhdunarodnaya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya-effektiv/xvi-mezhdunarodnaya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya-effektivn/?edit_off=true) .

## **ПРИЛОЖЕНИЕ Б**

### **Диссертационные работы на соискание ученой степени кандидата наук, подготовленные в рамках выполнения НИР (справочное)**

1. Коростелева М.В. Оценка перспективности интродукции древесных растений для озеленения на Среднем Урале: диссертация канд. с.-х. наук: 4.1.6 / Коростелева Мария Валерьевна. – Екатеринбург, 2025. – 299 с.

**ПРИЛОЖЕНИЕ В**  
**Выписка из протокола заседания научно-технического совета**  
**ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»**  
**(справочное)**



Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
**«Уральский государственный  
лесотехнический университет»**  
(УГЛТУ)

**ВЫПИСКА ИЗ ПРОТОКОЛА**

29.12.2025 № 91

г. Екатеринбург

Заседания НТС УГЛТУ

Председатель: Фомин В.В., проректор по НР и ИД  
Секретарь: Глазырин В.В., начальник патентного отдела

Присутствовали: проректор по НР и ИД Фомин В.В., профессор Глухих В.В., директор института ХТИ Первова И.Г., зав. кафедрой Газеев М.В., начальник патентного отдела Глазырин В.В., начальник УНИД Магасумова А.Г., главный специалист сектора организации и сопровождения научной и инновационной деятельности Сафронов А.И., зав. кафедрой Залесов С.В., профессор Герц Э.Ф., директор института ИЛП Нагимов З.Я.

**ПОВЕСТКА ДНЯ:**

1. О выполнении фундаментальных научных исследований в 2025 г. в соответствии с Соглашением Минобрнауки России на выполнение государственного задания от 29.12.2022 № 075-00838-23-00 по теме «Естественно-научные и технологические аспекты рационального использования, прогнозирования и управления лесными ресурсами на основе генетического подхода к классификации типов леса в условиях современного изменения климата и антропогенных воздействий» (номер госрегистрации темы FEUG-2023-0002)

**СЛУШАЛИ:**

В.В. Фомина о выполнении работ в рамках государственного задания Минобрнауки в 2025 году.

**ОБСУДИЛИ:**

Эффективность работы в рамках государственного задания Минобрнауки в 2025 году.

**РЕШИЛИ:**

1. Признать работу по выполнению фундаментальных научных исследований в 2025 г. в соответствии с Соглашением Минобрнауки России на выполнение государственного задания от 29.12.2022 № 075-00838-23-00 по теме «Естественно-научные и технологические аспекты рационального использования, прогнозирования и управления лесными ресурсами на

основе генетического подхода к классификации типов леса в условиях современного изменения климата и антропогенных воздействий» (номер госрегистрации темы FEUG-2023-0002) удовлетворительной.

2. Утвердить промежуточный научный отчет.

Председатель



В.В. Фомин

Секретарь



В.В. Глазырин