

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(УГЛТУ)

УДК 630.181.28:630.43

Рег. № НИОКТР 123041100013-0

Рег. № ИКРБС



УТВЕРЖДАЮ

Ректор УГЛТУ

канд. с.-х. наук, доцент

Платонов Е.П.

« 12 » 12 2024 г.

ОТЧЕТ
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:

КЛИМАТОГЕННАЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА
ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ПУТИ АДАПТАЦИИ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА
К ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА
(промежуточный, этап 2)

№ FEUG-2023-0002

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

Магасумова 28.12.2024

А.Г. Магасумова

подпись, дата

Научный руководитель
д-р. биол. наук, доцент

Фомин 28.12.2024

В.В. Фомин

подпись, дата

Екатеринбург 2024

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

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

В.В. Фомин
(введение; заключение; раздел 1
подраздел 1.1;
раздел 2
подраздел 2.2)

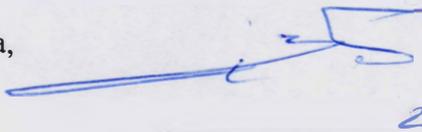
 28.12.24

подпись, дата

Исполнители темы:

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

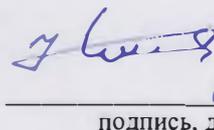
С.В. Залесов
(раздел 2)

 27.12.24

подпись, дата

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

З.Я. Нагимов
(раздел 1
подраздел 1.2)

 27.12.24

подпись, дата

Заведующий лабораторией геоинформационных технологий
Института экологии растений и животных УрО РАН,
д-р биол. наук

П.А. Моисеев
(раздел 1
подраздел 1.2)

 27.12.24

подпись, дата

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

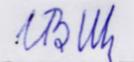
О.Е. Черепанова
(раздел 1
пункт 1.1.1)

 28.12.24

подпись, дата

Заведующий кафедрой лесной таксации и лесоустройства,
канд. с.-х. наук, доцент

И.В. Шевелина
(раздел 1
подраздел 1.2)

 27.12.24

подпись, дата

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

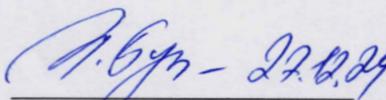
А.Г. Магасумова
(раздел 2
подраздел 2.1)

 27.12.24

подпись, дата

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

Н.П. Бунькова
(раздел 2
подраздел 2.1)

 27.12.24

подпись, дата

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

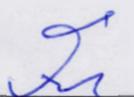
Г.А. Годовалов
(раздел 2
подраздел 2.2)

 27.12.24

подпись, дата

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

И.А. Панин
(раздел 2
подраздел 2.1)

 29.12.24

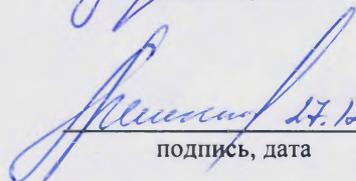
подпись, дата

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


27.12.24
подпись, дата

А.В. Суслов
(раздел 1 пункты
1.2.2 – 1.2.4)

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


27.12.24
подпись, дата

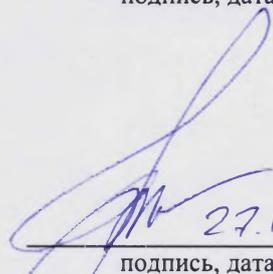
Т.С. Воробьева
(раздел 1 пункты
1.2.2 – 1.2.4)

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


27.12.24
подпись, дата

А.А. Бартыш
(раздел 1 пункты
1.2.2 – 1.2.4)

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


27.12.24
подпись, дата

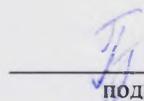
А.А. Григорьев
(раздел 1 пункты
1.2.2 – 1.2.4)

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


27.12.24
подпись, дата

А.П. Михайлович
(раздел 1,
подраздел 1.1)

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


27.12.24
подпись, дата

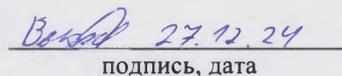
Д.Ю. Голиков
(раздел 1,
подраздел 1.1)

Научный сотрудник лаборатории
биотехнологии и популяционной генетики
Ботанического сада УрО РАН


27.12.24
подпись, дата

С.О. Медведева
(раздел 1
пункт 1.1.1)

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


27.12.24
подпись, дата

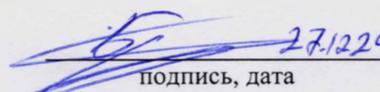
С.О. Вьюхин
(раздел 1 пункты
1.2.2 – 1.2.4)

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


27.12.24
подпись, дата

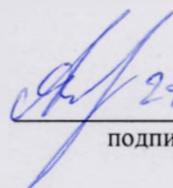
Д.С. Балакин
(раздел 1 пункты
1.2.2 – 1.2.4)

Ассистент кафедры лесоводства


27.12.24
подпись, дата

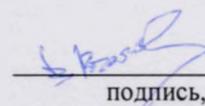
К.А. Башегуров
(раздел 2
подраздел 2.1)

Ассистент кафедры экологии и природопользования

 27.12.24
подпись, дата

Е.М. Агапитов
(раздел 1,
подраздел 1.1)

Ассистент кафедры экологии и природопользования

 27.12.24
подпись, дата

В.Е. Рогачев
(раздел 1,
подраздел 1.1)

Преподаватель Уральского лесотехнического колледжа

 27.12.24
подпись, дата

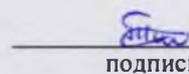
Д.Д. Стратонов
(раздел 1
пункт 1.1.2)

Начальник отдела администрирования и эксплуатации компьютерных сетей

 27.12.24
подпись, дата

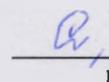
С.П. Паршин
(раздел 1,
подраздел 1.1)

Инженер

 27.12.24
подпись, дата

А.С. Тимофеев
(раздел 1 пункты
1.2.2 – 1.2.4)

Инженер

 27.12.24
подпись, дата

Л.Е. Рогачев
(раздел 1,
подраздел 1.1)

Лаборант-исследователь

27.12.24  (АС Кор)
подпись, дата

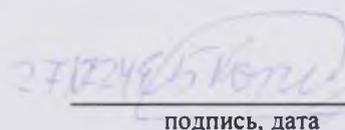
А.С. Коритняк
(раздел 1
пункт 1.1.2)

Лаборант-исследователь

 27.12.2024
подпись, дата

Е.А. Костоусова
(раздел 1,
подраздел 1.1)

Лаборант-исследователь

27.12.24 
подпись, дата

Е.Б. Коритняк
(раздел 1
пункт 1.1.1)

Нормоконтроль

 28.12.2024
подпись, дата

С.А. Медведев

РЕФЕРАТ

Отчет 107 с., 1 книга, 23 рис., 17 табл., 153 источников, 3 прил.

ЛЕСНЫЕ И ЛЕСОТУНДРОВЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, КЛИМАТОГЕННАЯ ДИНАМИКА, УРАЛ, ОПТИМИЗАЦИЯ ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ, ТОРФЯНЫЕ ПОЖАРЫ

В ходе выполнения второго этапа комплексного проекта по исследованию закономерностей развития лесных и лесотундровых экосистем Уральского региона в условиях современного изменения климата и антропогенных воздействий разной природы и силы были изучены закономерности формирования и роста древесной растительности, а также изменения их структуры и фитомассы древостоев в верхней части горно-лесного пояса Урала на двух мониторинговых полигонах на Полярном (горный массив Рай-Из) и Южном (горный массив Иремель) Урале в связи с современными изменениями климата. Проведена количественная оценка динамики древесной растительности вблизи верхнего предела ее произрастания и темпов расширения площади, занимаемых лесными и лесотундровыми сообществами, обеспечивающими длительное депонирование углерода. Получены количественные оценки величины депонирования углерода лиственничными и еловыми редкостойными древостоями. В районе исследований на Полярном Урале выполнены молекулярно-генетические исследования лиственницы сибирской в экотоне верхней границы древесной растительности, позволившие оценить генетическое разнообразие популяции, сформировавшей в условиях прошлого похолодания (Малый ледниковый период) и современного потепления изменения климата. Разработаны и предложены производству решения по совершенствованию лесного хозяйства в условиях меняющегося климата. На основе исследований лесоводственной эффективности чересполосных постепенных рубок экспериментально доказано, что указанные рубки позволяют переформировать производные березовые насаждения в коренные хвойные, не прибегая к искусственному лесовосстановлению. Полученный результат является одним из важных практических результатов проекта, связанный с развитием идей генетического подхода к классификации типов леса и созданием на его основе природоподобных технологий. Замена сплошнолесосечных рубок выборочными позволяет сократить оборот рубки и существенно повысить продуктивность лесов. Проведенные исследования позволили рекомендовать, для ускорения лесовосстановления гарей в условиях лесотундры и подзоны северной тайги гари посев семян хвойных пород. Кроме того, рекомендуется

ввести изменения в нормативно-технические документы для Западно-Сибирского района притундровых лесов и редкостойной тайги, а также Западно-Сибирского северо-таежного равнинного лесного районов, добавив в число основных лесных древесных пород березы повислую (*Betula pendula* Roth.) и березу пушистую (*B. pubescens* Ehrh.). Разработан оригинальный способ тушения торфяных пожаров, который вошел в действующие нормативные документы и уже начал широко применяться при тушении торфяных пожаров. Для производства предложены уточнения в шкалу классов пожарной опасности по условиям погоды для Ханты-Мансийского автономного округа – Югры и способ тушения торфяных пожаров в зимний период, база данных о количестве лесных пожаров по субъектам УрФО за период с 2001 по 2022 гг. Полученные результаты передовому мировому уровню исследований в данной области.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1 Климатогенная пространственно-временная динамика древесной растительности вблизи верхнего предела ее произрастания на Полярном и Южном Урале.....	11
1.1 Климатогенная пространственно-временная динамика и особенности генетической структуры популяции лиственницы сибирской вблизи верхнего предела произрастания древесной растительности на Полярном Урале	11
1.1.1 Объекты и методика исследований пространственно-временной динамики лиственницы сибирской на Полярном Урале	11
1.1.2 Особенности климатогенной пространственно-временной динамики лиственницы сибирской на Полярном Урале во второй половине XX – начале XXI веков.....	16
1.2 Особенности структуры древостоев в высотном градиенте на Южном Урале.....	25
1.2.1 Объект и методика исследований древесной растительности на Южном Урале.....	25
1.2.2 Современная структура древостоев ели в высокогорьях горы Малый Иремель	29
1.2.3 Запасы надземной фитомассы и депонированного углерода в древостоях ели в экотоне верхней границы леса на горе Малый Иремель.....	45
1.2.4 Количественные и качественные показатели шишек и семян ели сибирской в высокогорьях Южного Урала	59
2 Пути адаптации лесного хозяйства к изменению климата.....	63
2.1 Снижение климатических рисков путем совершенствования лесоводственных мероприятий	63
2.2 Совершенствование охраны лесов от пожаров в условиях меняющегося климата.....	72
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	77
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	83
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	98
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	105
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	106

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность и новизна темы исследований обусловлены необходимостью изучения влияния современного изменения климата на лесные экосистемы и оптимизации лесопользования в этих условиях. Проведение научных исследований в данной области позволят углубить наше понимание процессов их климатогенной трансформации, а также разработать рекомендации по ведению лесного хозяйства в изменяющихся условиях среды. В рамках комплексного научно-исследовательского проекта реализован междисциплинарный подход, который открывает возможности для сопряжения данных фундаментальных исследований в области изучения лесообразовательного процесса и технологических аспектов неистощимого рационального использования лесных ресурсов в качестве элементов природоподобных технологий ведения лесного хозяйства.

Методологической основой реализуемого проекта является генетический подход к классификации типов леса Б.А. Ивашкевича – Б.П. Колесникова – одного из самых совершенных лесных типологий, рассматривающих тип леса как объект в пространстве и времени. Учет особенностей лесообразовательного процесса при проведении лесохозяйственных мероприятий, способствующих естественному его течению, позволяет создавать природоподобные технологии ведения лесного хозяйства, обеспечивающие формирование устойчивых и высокопродуктивных лесных насаждений, оптимально использующих весь комплекс почвенно-климатических факторов. Проект реализуется в виде блоков (уровней), отражающих переход от фундаментального к прикладному уровням исследований и разработок.

Целью проекта является исследование закономерностей роста древесной растительности и развития лесных и лесотундровых экосистем Уральского региона в условиях современного изменения климата и антропогенных воздействий разной природы и силы. В рамках второго (промежуточного) этапа проекта были запланированы и полностью выполнены следующие задачи из общего перечня (из 5 задач) на период 2023-2027 годы:

- 1) Изучены закономерности формирования и роста древесной растительности, изменения их структуры и фитомассы древостоев в верхней части горно-лесного пояса Урала на двух мониторинговых полигонах на Полярном (горный массив Рай-Из) и Южном (горный массив Ирмель) в связи с современными изменениями климата, проведена количественная оценка динамики верхней границы леса и темпов расширения площади, занимаемых лесными и лесотундровыми сообществами, обеспечивающими длительное депонирование углерода (номер задачи в заявке на проект – 1);

2) Выполнены молекулярно-генетические исследования лиственницы сибирской, произрастающей в районе исследований на Полярном Урале (номер задачи в заявке на проект – 5);

3) Проведены исследования, направленные на разработку предложений по совершенствованию нормативно-правовых документов в области лесопользования, лесовосстановления и лесоразведения на основе максимального использования потенциальных природных возможностей формирования древесной растительности на непокрытых лесной растительностью и нарушенных землях на модельных участках в Уральском федеральном округе (номер задачи в заявке на проект – 4).

Выбор районов исследований в рамках первой задачи обусловлен тем, что высокогорья используется в качестве областей для изучения ранней реакции древесной растительности на региональное изменение климата: проводится изучение особенностей лесообразовательного процесса, связанных с экспансией древесной растительности в горную тундру, также разрабатываются и апробируются методики, связанные с углероддепонирующей функцией лесных и лесотундровых экосистем в условиях современного изменения климата.

Проведение молекулярно-генетических исследований позволяют углубить представления о сукцессионных процессах в экотоне лес-тундра основного вида – лесообразователя в районе исследований в ходе средневекового похолодания (с конца XIII до конца XIX века) и последующего за ним современного потепления климата (с конца XIX века до настоящего времени). Данный блок исследований открывает возможности для дополнения содержания понятие «генетический» (от «генезис») в генетических классификациях типов леса: добавлением в нее данных молекулярно-генетических исследований, позволяющих оценить генетическую изменчивость популяции вида-лесообразователя в условиях прошлого и современного изменения климата.

Изучение закономерностей лесовосстановления и лесоразведения на основе максимального использования потенциальных природных возможностей формирования древесной растительности является одним из важных элементов совершенствования рациональных систем ведения лесного хозяйства в условиях современного изменения климата.

В рамках выполнения комплексного проекта разработаны и предложены производству решения по совершенствованию лесного хозяйства в условиях меняющегося климата: снижение возраста рубки в еловых насаждениях арендных участков крупных ЦБК; использование чересполосных постепенных рубок для переформирования производных березовых насаждений в коренные хвойные; разработаны рекомендации для

условий лесотундры и подзоны северной тайги по ускорению лесовосстановлению гарей путем посева семян хвойных пород. Разработан оригинальный способ тушения торфяных пожаров, который уже нашел широкое применение на основе введенных нормативных документов.

1 Климатогенная пространственно-временная динамика древесной растительности вблизи верхнего предела ее произрастания на Полярном и Южном Урале

1.1 Климатогенная пространственно-временная динамика и особенности генетической структуры популяции лиственницы сибирской вблизи верхнего предела произрастания древесной растительности на Полярном Урале

Древесная растительность вблизи верхнего предела ее произрастания является одним из чувствительных индикаторов для оценки реакции биоты на региональное изменение климата [1–12].

Интенсивное развитие технологий получения и обработки космических снимков высокого пространственного разрешения открыли позволяют получать и анализировать данные о пространственном положении древесных растений в разные моменты времени. Традиционные технологии получения аэроснимков высокого пространственного разрешения при помощи пилотируемых летательных аппаратов в сочетании с данными космической съемки открывают дополнительные возможности для проведения ретроспективного анализа пространственно-временной динамики древесной растительности [13].

На полярном Урале процесс постепенного снижения верхней границы леса в ходе средневекового похолодания, которое продолжалось с конца XIII до конца XIX веков [14] сменил процесс экспансии древесной растительности в горную тундру, запущенный в ходе современного потепления климата в начале XX века [15]. Поэтому вопросы мониторинга изменений, которые происходят в экотоне верхней границы древесной растительности, количественной оценки сдвига верхней границы леса, с также оценки изменений структуры популяций основных видов-лесообразователей являются актуальными.

Цель работы – анализ пространственно-временной динамики древесной растительности вблизи верхнего предела ее произрастания с середины 1960-х до середины 2010-х годов и оценка генетического разнообразия популяции лиственницы сибирской.

1.1.1 Объекты и методика исследований пространственно-временной динамики лиственницы сибирской на Полярном Урале

Исследуемая территория – участок юго-восточного макросклона горного массива Рай-Из (Полярный Урал, Россия) находятся в пределах 66.7935° – 66.8383° с.ш., 65.4976° – 65.6614° в.д. (рис. 1). С точки зрения особенностей рельефа района исследований можно

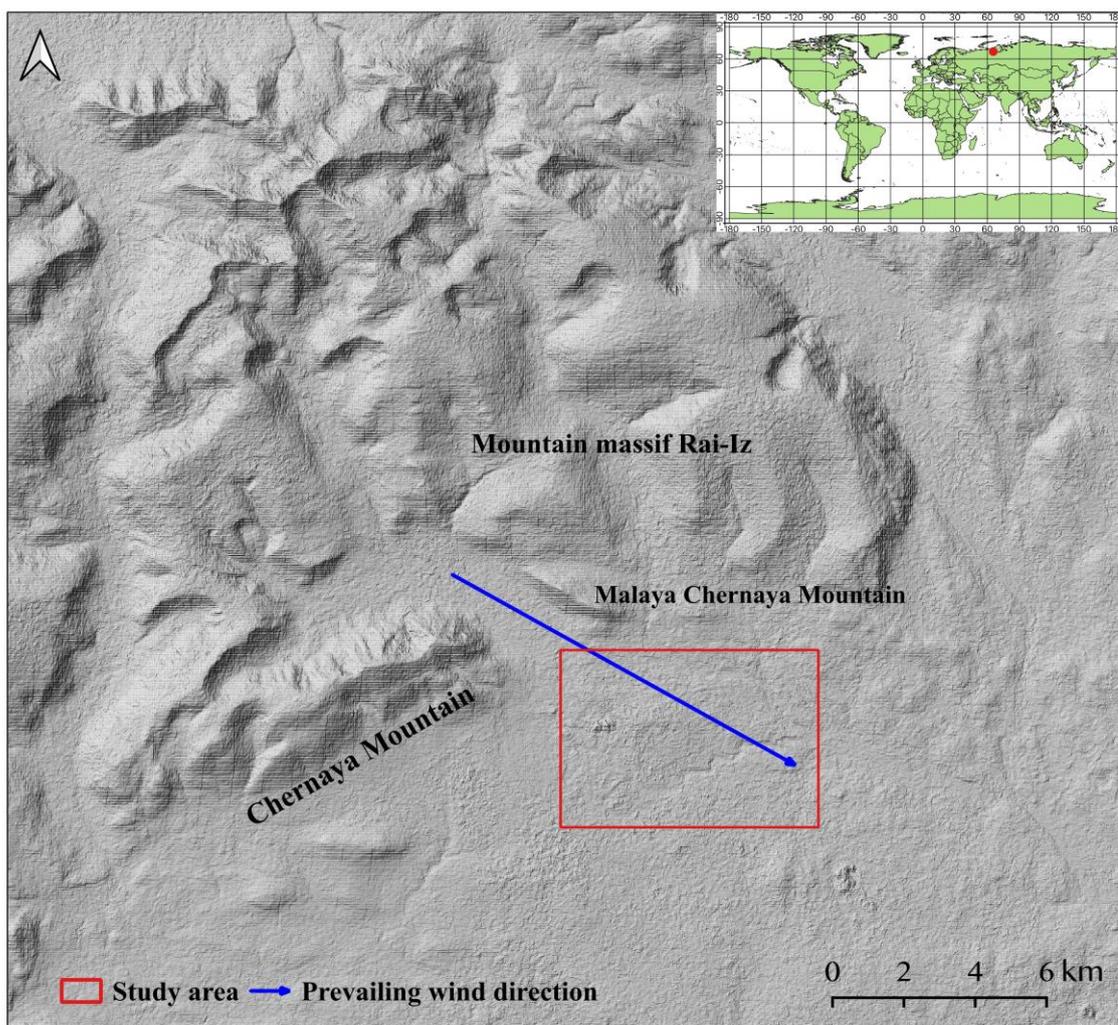


Рисунок 1 – Картограмма местоположения района исследований на карте мира и относительно крупных форм рельефа с обозначением преобладающего направления ветров

выделить два участка – юго-западный (А) и северо-восточный (Б) (рис. 2). Минимальная высота местности на участке А равна 169 м, на участке Б – 122 м. Максимальная высота в районе исследований – 313 метра над ур. м.

Участок А представляет собой котловину, ограниченный рекой Енгаю, правый берег которой является моренным валом – правая боковая и конечная морена. С северо-восточной стороны данный участок ограничен левой боковой мореной по верхней части которой через высоту 313 м проведена граница между районами А и Б. В котловине участка А находится большое количество бугров и впадин, а также вытянутых гряд и ложбин. Гидрографическая сеть, кроме реки Енгаю представлена несколькими небольшими ручьями, впадающими в нее, и большим количеством временных водотоков. На этом участке находится озеро Ярейты и многочисленные относительно небольшие водоемы, часть из которых пересыхает в летний период.

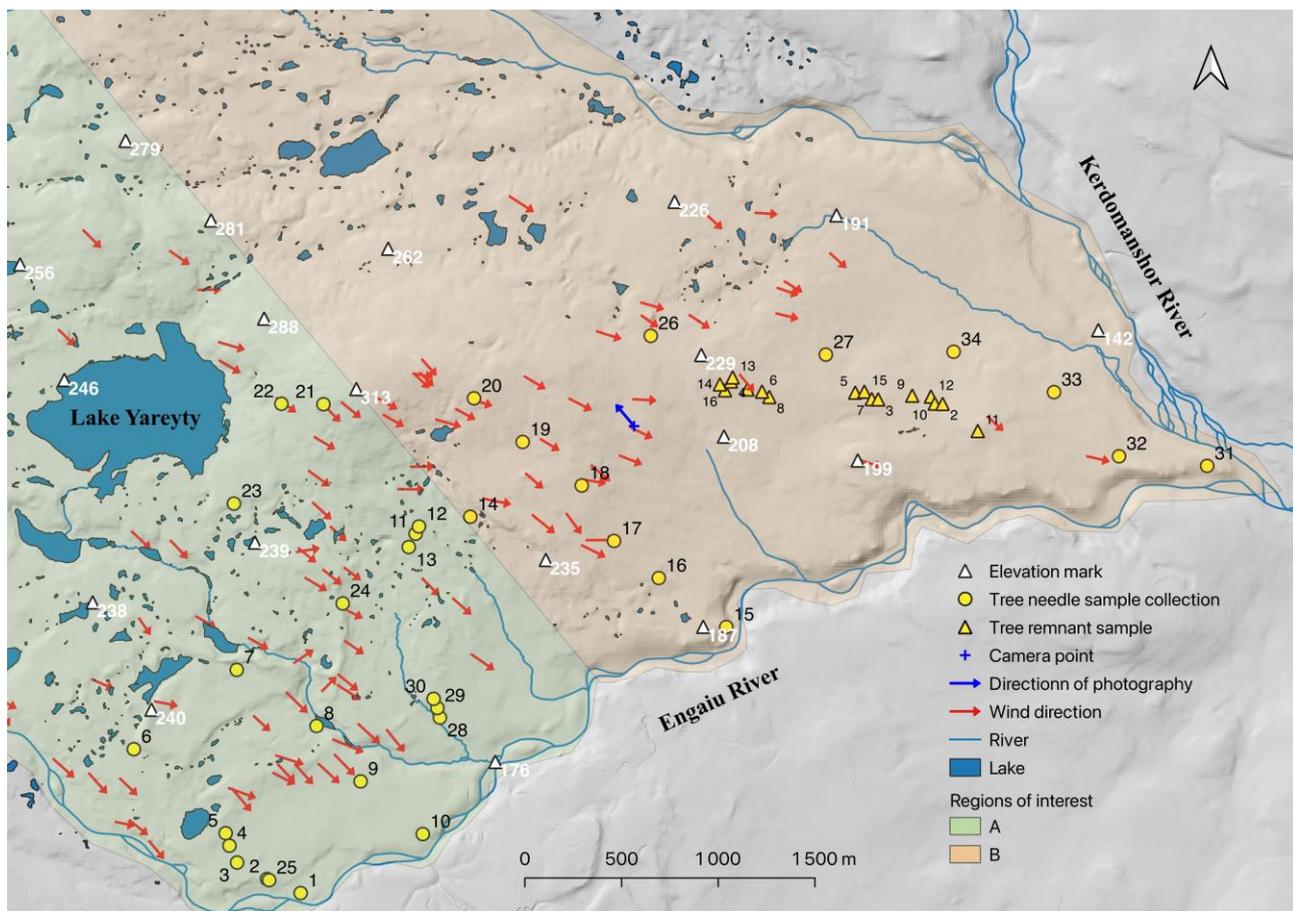


Рисунок 2 – Картограмма района исследований с обозначением мест сбора образцов хвои для проведения молекулярно-генетического анализа, образцов древесных остатков, а также мест измерения преобладающих ветров по флагообразности крон деревьев лиственницы сибирской. Район условно разделен на два участка отличающихся по характеру рельефа

Рельеф участка Б (рис. 2) менее выраженный и представляет собой в основном пологий склон с более плавными переходами выпуклых и вогнутых форм рельефа. С юго-востока данный участок ограничен рекой Енгау, с северо-востока – рекой Кердоманшор. По его территории протекают два ручья, которые впадают в реку Енгау, а в северной его части также находится несколько небольших водоемов.

На исследуемой территории преобладают чистые редкостойные древостои, представленные лиственницей сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.), в нижней его части вблизи реки Енгау иногда встречаются ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.) и береза извилистая (*Betula tortuosa* Ledeb.). В подлеске в основном встречается карликовая береза (*Betula nana* L.) и можжевельник сибирский (*Juniperus sibirica* Bugsd.), в травяно-кустарничковом ярусе преобладает голубика (*Vaccinium uliginosum* L.), а напочвенном покрове – зеленые мхи и лишайники [15, 16].

В качестве источника данных о местоположении древесной растительности в районе исследований были использованы полутонные аэроснимки 1962 (восточная часть района)

и 1964 (западная часть района) годов, 1985 и 2003 годов, а также спутниковый снимок высокого пространственного разрешения 2015 года, взятый в информационной системе maps.yandex.ru (Yandex Inc.). Они были геопривязаны в геоинформационной системе QGIS (www.qgis.org). Пространственное разрешение аэро- и космоснимков позволяет дешифрировать деревья, высотой более 4 метров. В QGIS цифрованием были созданы векторные точечные слои, каждая точка которых соответствует местоположению дерева в первой половине 1960-х и середине 2010-х годов.

Климатические условия Полярного Урала способствовали сохранению фрагментов стволов и корней деревьев, произраставших на исследуемой территории и погибших в ходе средневекового похолодания с конца XIII до конца XIX веков [14].

В районе исследований были проведены работы по определению местоположения 12130 древесных остатков в верхней части экотона (рис. 3). Выбор наземного метода картирования древесных остатков вместо дистанционных методов их поиска, например, при помощи малоразмерного летательного аппарата, обусловлен трудностью их обнаружения с воздуха на участках с густыми зарослями карликовой березы (*Betula nana* L.). Местоположение каждого погибшего дерева определяли при помощи GPS-приемника Etrex 10 (Garmin Schaffhausen, Switzerland).

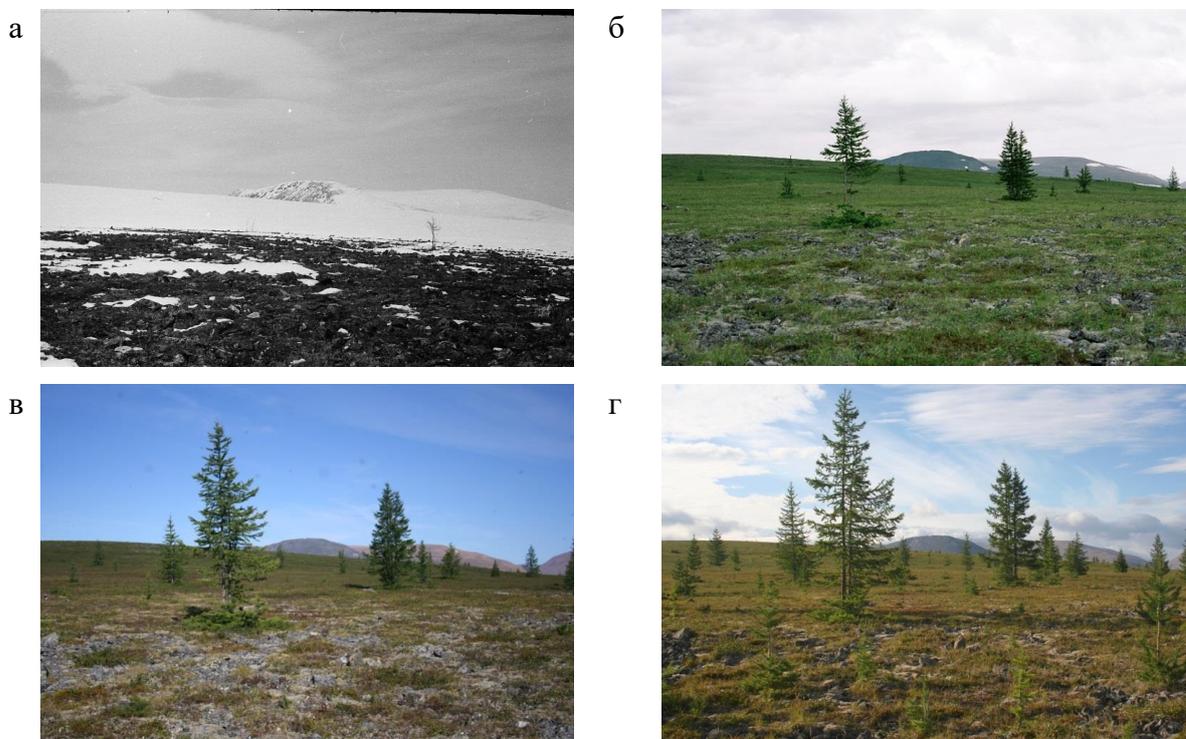


Рисунок 3 – Повторные ландшафтные фотографии участка района исследований, сделанных с точки фотосъемки номер 1045 Шиятовым С.Г. 08.04.1962 (а), 05.07.2005 (б), и Фоминым В.В. 09.08.2015 (в) и 16.08.2023 (г). На дальнем плане видна вершина горы Малая Черная (слева) и вершины горного массива Рай-Из (справа)

Направление преобладающих ветров на исследуемой территории определяли с помощью геодезического компаса по флагообразности крон деревьев или направлению упавших деревьев в результате ветровала (рис. 2).

На участке Б на трансекте были взяты образцы древесных остатков для определения их возраста и года гибели. Выбор участка для сбора образцов был обусловлен тем, что он является одним из наиболее продуваемых ветром, так как находится на линии, которая проходит через своеобразные «ворота» между горой Черная и Малая Черная (рис. 1). Прохождение воздушных масс через них способствует формированию сильных ветров северо-западного направления, который перераспределяет снег на данном участке. Как будет показано ниже вдоль этой линии сформировалась полоса с меньшим количеством деревьев по сравнению с соседними участками. Также в пределах этой полосы обнаружено и закартировано достаточно большое, по сравнению с соседними с ней участками, количество остатков деревьев, произраставших здесь в прошлом. Это означает, что в прошлом преобладающее направление ветров было таким же, и воздействие ветра и снега формировало суровые для выживания и роста древесных растений условия. Для того, чтобы проверить период жизни и год гибели деревьев, произраставших здесь в прошлом проведено определение возраста и года гибели дерева определяли при помощи дендрохронологического комплекса Lintab (Rinntech Inc., Heidelberg, Germany).

В ходе полевых работ были взяты образцы хвои с 34 деревьев из популяции лиственницы сибирской на исследуемой территории (рис. 2). Выделение ДНК проводили СТАВ-методом [17]. Для анализа были использованы пары праймеров к хлоропластным микросателлитным локусам (cpSSR) Pt26081, Pt9393, Pt9833, для которых ранее на данной территории уже был показан полиморфизм у рода *Larix* [18]. А также исследованы 2 изменчивых фрагмента мтДНК UBC460, и R11 [18, 19].

Фрагмент UBC460 обработан рестриктазой TaqI и продукты рестрикции визуализированы с помощью ПААГ (с последующим окрашиванием $AgNO_3$). Остальные фрагменты визуализированы на ПААГ без применения рестриктаз. Температурный профиль ПЦР реакции состоял из первоначальной денатурации при $94^{\circ}C$ в течение 5 мин и 35 циклов амплификации: $94^{\circ}C$ - 30с, $55^{\circ}C$ - 45с, $72^{\circ}C$ - 30с; далее следовала финальная элонгация в течение 7 мин. Статистическая обработка результатов выполнялась с помощью программы Arlequine 3.5.2 [20].

Обработку, анализ и моделирование данных, полученных в ходе наземных измерений на пробных площадях, проводили в среде R и с использованием языка программирования R (The R Foundation, Austria, Vienna, <https://www.r-project.org/>).

1.1.2 Особенности климатогенной пространственно-временной динамики лиственницы сибирской на Полярном Урале во второй половине XX – начале XXI веков

На рис. 3 приведены повторные фотографии, сделанные в 1962, 2005, 2015 и 2023 годах с точки фотосъемки (рис. 2). Эти фотографии позволяют визуальнo оценить изменения, которые произошли в данной части района исследований за последние шесть десятилетий. На фото последних лет можно видеть наличие большого количества молодого поколения лиственницы сибирской. Если в начале 1960-х годов на данном участке произрастали четыре экземпляра лиственницы, высоту которых можно оценить примерно до 1 – 1,5 метров, то в настоящее время количество деревьев и подростa составляет несколько десятков экземпляров.

На рис. 4 приведены картосхема, созданная по результатам дешифрирования космо- и аэроснимков и картирования древесных остатков. На ней можно видеть то, что за пять десятилетий в экотоне происходил процесс экспансии лиственницы в горную тундру и лесотундру. При этом участки А и Б, выделенные по характеру рельефа, также отличаются как по динамике процесса экспансии древесной растительности в тундру и лесотундру, так и по количеству древесных остатков. На участке А в начале 1960-х годов деревья занимают более высокое положение в рельефе, чем на участке Б. Данный факт можно объяснить сильным влиянием ветра северо-западного направления и снега на древесную растительность (рис. 1). На картосхеме, приведенной на рис. 1, это направление обозначено синей стрелкой от участка между горами Черная и малая Черная до места, в котором река Кердоманшор впадает в реку Енгаю. На рис. 4 этом менее облесенный участок по данным расположения деревьев в 1960-х годах, а также расположению остатков деревьев в пределах относительно узкой полосы, доходящей до берега реки Енгаю.

Возраст, год появления и гибели деревьев, образцы которых были собраны на этой полосе (рис. 2) приведены в таблице 1. Данные таблицы свидетельствуют о том, что возраст деревьев, произраставших и погибших на этом участке в прошлом, лежит в интервале от 60 до 207 лет. При этом дата их появления варьирует в интервале от 1552 до 1695 года, а гибели от 1670 до 1799 года.

По результатам дешифрирования деревьев по космо- и аэроснимкам их количество в первой половине 1960-х и середине 2010-годов составило 25814 и 115877 штук соответственно. При этом участки А и Б (рис. 2) отличаются как по особенностям распределения молодых деревьев, так и по распределению древесных остатков (рис. 3).

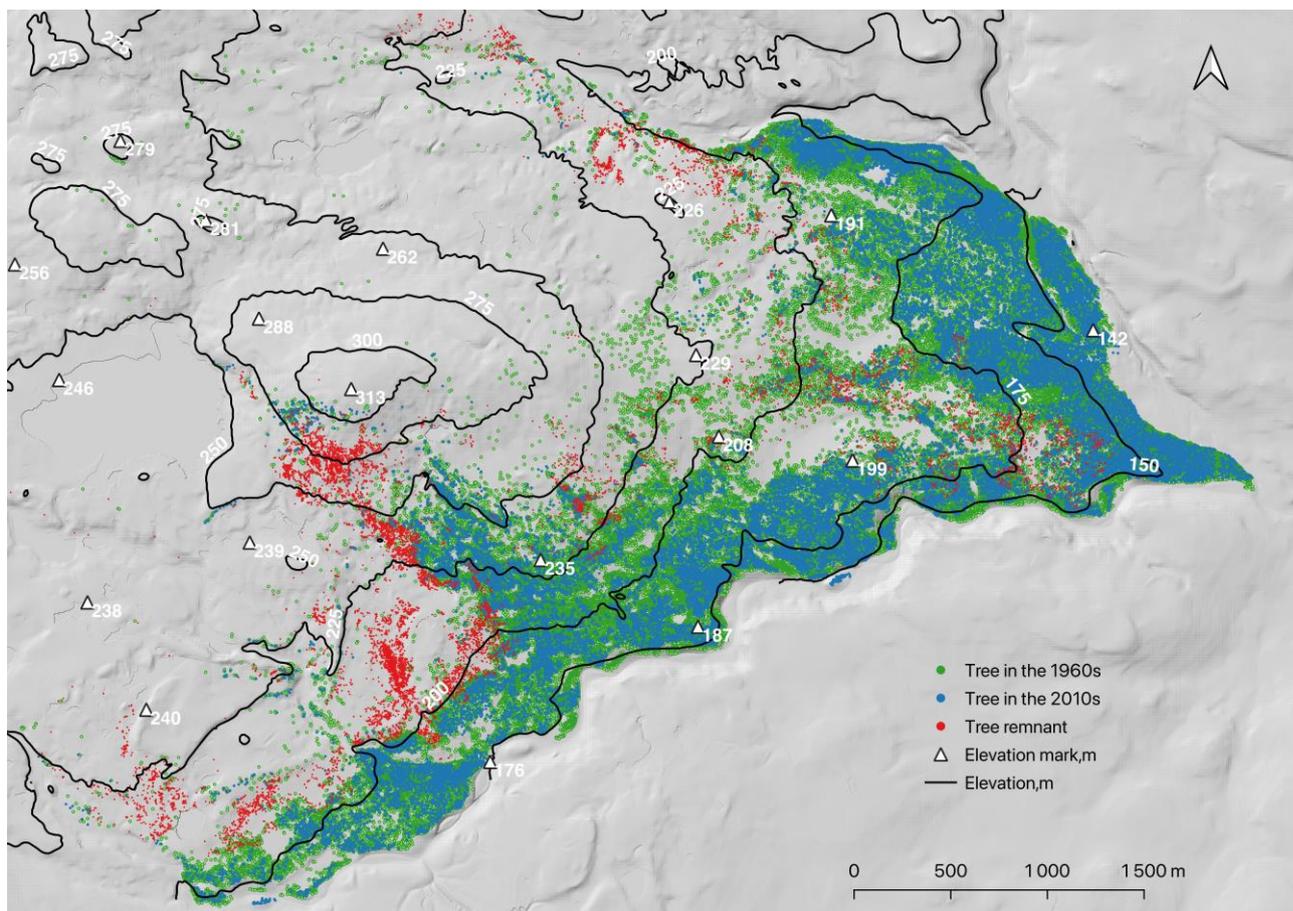


Рисунок 4 – Картограмма размещения деревьев лиственницы сибирской в начале 1960-х и середине 2010-х, а также остатков деревьев, погибших в ходе Малого ледникового периода

Таблица 1 – Год появления, гибели и возраст деревьев лиственницы сибирской, произраставших в экотоне древесной растительности на участке района исследований с сильным ветровым воздействием

Номер	Год появления	Год гибели	Возраст, лет
1	1552	1759	207
2	1622	1793	171
3	1572	1742	170
4	1642	1799	157
5	1569	1718	149
6	1603	1745	142
7	1583	1719	136
8	1613	1734	121
9	1589	1705	116
10	1668	1781	113
11	1559	1670	111
12	1665	1772	107
13	1618	1717	99
14	1614	1704	90
15	1695	1767	72
16	1612	1672	60

На участке Б количество деревьев, появившихся на необлесенных участках склона значительно больше, чем на участке А. Для древесных остатков наблюдается обратная закономерность. На участке А их количество значительно больше, чем на участке Б.

На основе анализа данных, представленных на картосхеме на рис. 4 можно заключить, что, в целом, в первой половине 1960-х годов на участке Б местоположение деревьев было ниже, чем на участке А. Это можно видеть по расположению деревьев и изолиний высот местности. При этом участок Б характеризуется значительно большим количеством деревьев молодого поколения на более высоких участках склона по сравнению с участком А.

На рис. 4 можно видеть, что на участке Б наибольшее количество молодых деревьев появилось в пределах полосы, ограниченной изолиниями 175 и 250 метров, а на участке А наибольшее количество молодых деревьев сосредоточено в пределах диапазона высот 200 – 225 метров.

Местоположение деревьев, с которых собраны образцы хвои для проведения молекулярно-генетических исследований, представлены на картосхеме на рис. 2. Высота деревьев варьировала от 3,12 до 15 метров, диаметр ствола у шейки корня от 9,9 до 58,8 см, а диаметр на высоте груди 4,6 до 29,6 см.

Количество выявленных гаплотипов составило 13. При этом в локусе Pt26081 выявлено 3 аллеля, в локусе Pt9833 – 4 аллеля, в локусе Pt9393 – 3 аллеля (табл. 2).

Таблица 2 – Характеристика изменчивости изученных локусов сpSSR

Локус	Аллель	Частота аллели
Pt26081	3	0,029
	4	0,706
	5	0,265
Pt9833	1	0,029
	2	0,176
	3	0,412
	4	0,382
Pt9393	1	0,324
	2	0,647
	3	0,029

Генетическое разнообразие для данной выборки составил $H_e = 0,9127 \pm 0,0276$. Наиболее частыми являются гаплотипы H2 (23% выборки) и H10 – 11%. Для гаплотипов H5, H7, H9 и H12 встречаемость составила 9%, для H1, H2, H6 – 6%, для H4, H8, H11, H13 – 3% соответственно. На первые 6 гаплотипов, перечисленных выше, приходится 70% выборки. Географическое распределение гаплотипов показано на картосхеме, приведенной на рис. 4.

Таким образом, для данной выборки обнаружена высокая изменчивость, характерная в целом для рода и находящаяся в пределах *crSSR* изменчивости других хвойных.

Оценка маркеров мтДНК выявило низкую изменчивость между образцами, выделили только 2 митотипа (R1 и R2). Митотип R2, вероятно, отличается от R1 наличием инсерции [18] и был обнаружен только у одного образца под номером 33 на участке вблизи слияния рек Кердоманшор и Енгаю (рис. 2).

Сравнительный анализ количества деревьев в начале 1960-х годов и середине 2010-х свидетельствует о более чем четырехкратном увеличении количества деревьев в районе исследований за пятидесятилетний период. Разрешающая способность космо- и аэроснимков, которые были использованы в исследовании, позволяют надежно дешифровать крупные деревья [13]. Триггером, запустившим процесс смен тундровых сообществ на лесотундровые лесотундровых на лесные, стало региональное потепление климата, которое наблюдается на Полярном Урале [21] с конца XIX – начала XX века. Об интенсивном появлении молодого поколения лиственницы сибирской верхней части экотона можно судить по историческим ландшафтным фотографиям, на которых видны те экземпляры, которые нельзя определить на космо- и аэроснимках.

Исторические повторные ландшафтные фотографии, приведенные на рис. 3, свидетельствуют о том, что если учитывать количество экземпляров молодого поколения лиственницы сибирской в верхней части экотона менее 4 метров, то изменение количества экземпляров лиственницы за период с начала 1960-х до настоящего времени будет значительно больше, чем почти 4,4-кратное изменение количества деревьев, оцененное по космо- и аэроснимкам.

Из этого можно сделать вывод, что несмотря на то, что, на многих участках крупные деревья лиственницы сибирской еще не появилась в тех местах, на которых она произрастала в прошлом, молодое поколение лиственницы последних десять лет уже начало занимать такие местообитания. Для того, чтобы получить картину распределения экземпляров лиственницы с высотой менее 4 метров требуется привлечение данных дистанционного зондирования сверхвысокого пространственного разрешения, которые могут быть получены с использованием сенсоров RGB- или мультиспектральных камер, а также лидаров, размещенных на беспилотных летательных аппаратах.

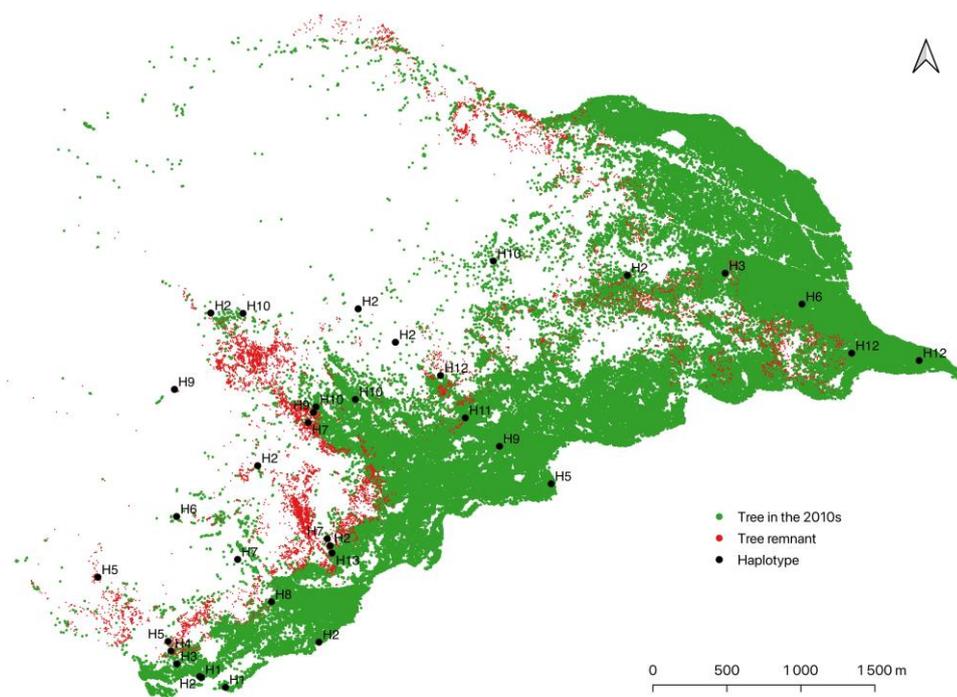
Значительное влияние на распределение деревьев лиственницы сибирской в пространстве района исследований оказывает ветер и снег. Оно проявляется в виде неравномерного распределения снега: сдувания с верхних частей бугров и гряд, скопления в понижениях и на заветренных участках за полосами и группами деревьев, которые выступают в качестве частично продуваемого барьера.

По мере появления новых деревьев на необлесенном участке склона (расширение группы или полосы деревьев в сторону, противоположную движению ветра) сдвигается и полоса со скоплением снега за ними, снижая глубину снежного покрова на ранее заснеженных участках.

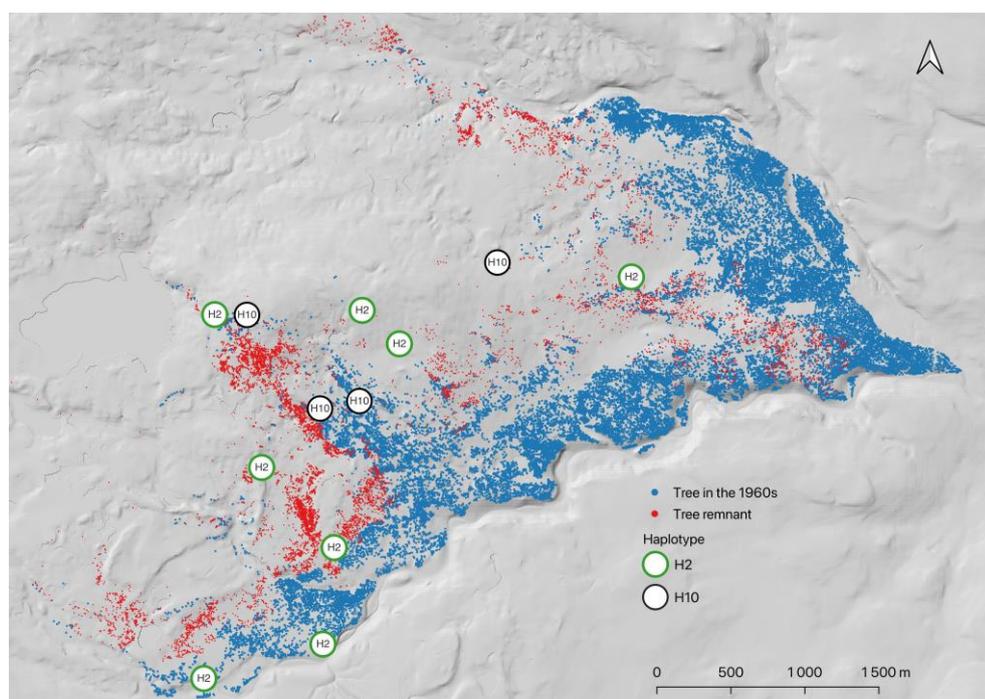
В результате такого взаимодействия ветра и снега, рельефа и групп деревьев формируется неоднородная пространственная структура распределения деревьев лиственницы, в том числе и появление ее молодого поколения. Данный эффект хорошо виден на картосхемах в виде полосчатой структуры – чередование полос с деревьями и беслесными участками (рис. 4 и 5). Последние под защитой от ветра и снега из барьера деревьев постепенно зарастают деревьями. Негативное воздействие ветра и снега на молодое поколение проявляется: в виде снеговой корразии, приводящей к шлифовке и обдиранию коры у ствола и ветвей молодых экземпляров лиственницы, избыточной или недостаточной глубины снежного покрова [13].

Необходимость учета особенностей рельефа при исследовании пространственно-временной динамики древесной растительности продемонстрирована на примере двух участков А и Б (рис. 2). На участке Б можно видеть ярко выраженный процесс экспансии молодого поколения лиственницы вверх по пологому склону. Участок А представляет собой «чашу» с большим количеством бугров и впадин, по периметру которой на верхних участках моренных отложений в начале 1960-х годов произрастала древесная растительность. Поэтому появление деревьев лиственницы сибирской происходило на необлесенных участках, в том числе таких, положение, которых в рельефе может быть ниже, чем высота участков с более старшими деревьями. В таком случае экспансия деревьев в горную тундру может не иметь заметного высотного сдвига, при том, что процесс идет в направлении явно неблагоприятной с точки зрения воздействия на древесную растительность факторов. О последнем свидетельствует большое количество остатков деревьев погибших в ходе Малого ледникового периода (рис. 3).

Неоднородность пространственной структуры популяции лиственницы сибирской сформировалась в ходе средневекового похолодания с конца XIII до конца XIX веков и последующего современного потепления в XX – начале XXI веков. При этом вопрос генетической изменчивости популяции в меняющихся условиях оставался открытым. Высокая изменчивость маркеров хпДНК, ранее показана как у покрытосеменных, так и голосеменных. Данный факт является причиной выбора этого маркера для филогеографических исследований, однако у хвойных хпДНК передается по отцовской линии через пыльцу и часто не позволяет сделать выводы о генетической структуре географически близких популяций вследствие распространения пыльцы на дальние



а



б

Рисунок 5 – Картосхема распределения гаплотипов деревьев с данными о местоположении древесных остатков и современных деревьев в середине 2010-х годов (а), в также картосхема наиболее часто встречающихся гаплотипов H2 и H10, совмещенная с данными о местоположении древесных остатков и деревьев в начале 1960-х годов (б)

расстояния [22]. В отличие от хпДНК, мтДНК передается через семена и показывает относительно низкий уровень изменчивости, следовательно эффективна для изучения процессов расселения и миграции в региональном масштабе [23]. В работе [19] для региона, географически близкого к исследованному нами, показаны гаплотипы S0 и S1 (аналогичные обнаруженному нами R1), необходимо учитывать, что в данной работе было взято больше локусов, поэтому сравнение проводилось только по локусам UBC460 и R11.

На рис. 5а приведена картосхема, на которую выведены гаплотипы H2 и H10. На ней можно видеть, что в районе самой высокой точки на исследованной территории - возвышенности с высотой 313 м обнаружены оба этих гаплотипа. На участке А гаплотип H2 встречается в верхней и нижней частях экотона. На участке Б в верхней части экотона встречаются оба этих гаплотипа. Такое распределение гаплотипов в пространстве в сочетании с большим количеством древесных остатков на данной возвышенности и групп живых деревьев на юго-западной верхней части склона, которые изменили стланниковую форму на многоствольную, может свидетельствовать о наличии рефугиума вблизи вершины 313 м [24].

Таким образом, генетическая структура популяции Полярного Урала близка к генетическому профилю популяций лиственницы, произрастающей в данном регионе [18]. Однако для выявления каких-либо генетических линий требуется расширение числа регионов мтДНК, в первую очередь, разработанных и апробированных митохондриальных минисателлитных маркеров [25].

В районе исследований ранее была проведена аэрофотосъемка при помощи беспилотных летательных аппаратов. На полученных изображениях сверхвысокого пространственного разрешения в ходе текущего этапа проекта было завершено дешифрирование крон экземпляров лиственницы сибирской. С использованием ранее полученных результатов по реконструкции возрастных интервалов лиственницы сибирской по радиусу их крон [26] на основе данных наземных измерений на 16 пробных площадях создана картосхема размещения экземпляров лиственницы сибирской (228812 экземпляров), которые могут быть отнесены к двум возрастным интервалам: 1 – 40 и свыше 40 лет (рис. 6). На данном рисунке видно, что молодое поколение лиственницы сибирской (82763 экземпляра), в основном, расположено в верхней части экотона верхней границы древесной растительности, что подтверждает ранее установленный факт экспансии лиственницы сибирской в горную тундру.

На основе аллометрических уравнений [27, 28] для данного района исследований проведена оценка фитомассы (надземной, подземной и общей) и пула углерода для всех деревьев на 16 пробных площадях, заложенных в градиенте высоты на исследуемой территории (рис. 6). Результаты оценки величины фитомассы лиственницы сибирской и содержания углерода в ней приведены в таблице 3.

По количеству экземпляров молодое поколение лиственницы сибирской составляет 36% от общего количества экземпляров, распознанных на аэроснимках сверхвысокого пространственного разрешения. При этом по отличия по содержанию углерода в древесине

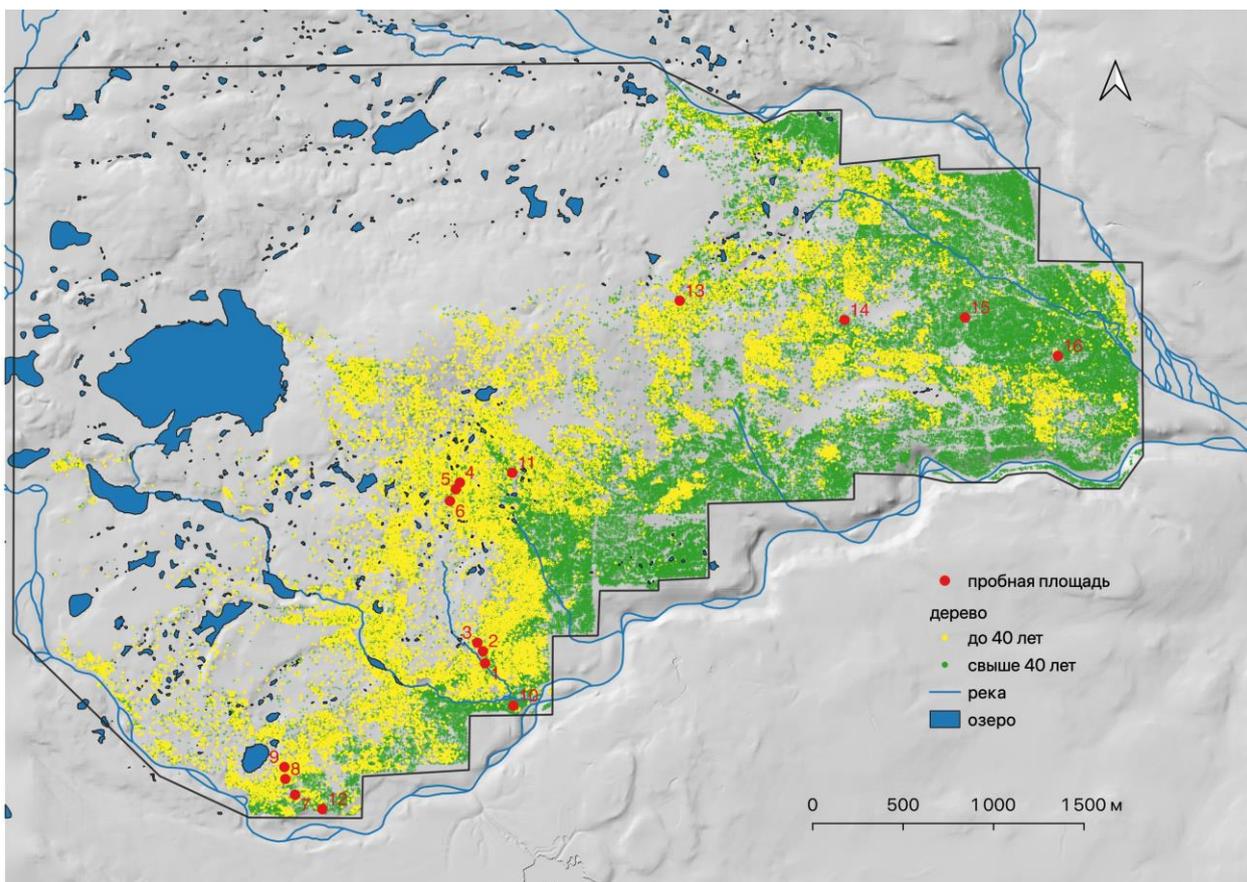


Рисунок 6 – Картограмма распределения двух возрастных поколений (1 – 40 и свыше 40 лет) экземпляров лиственницы. Реконструкция возрастных поколений выполнена с использованием данных наземных измерений биометрических параметров на круговых пробных площадях

в градиенте высоты по высотным профилям от пробных площадей от 10 до 3, от 12 до 9 и от 16 до 13 значительно сокращается (табл. 3).

Отношение величины фитомассы между ПП 12 и 7, ПП 10 и 1, ПП 16 и 15 лежит в интервале 1,2 до 5,0 раза. Это же соотношение между ПП7 и 8, ПП 1 и 2, ПП 15 и 14 находится в интервале 2,9 – 5,7. Величина отношения общей фитомассы между парами пробных площадей 2 и 3, 14 и 13 составляет 11,9 и 13,2 соответственно, т.е. отличается на порядок. При этом значение данного отношения между ПП 8 и 9, которое составляет 0,7 объясняется тем, что на ПП8 находится только молодое поколение лиственницы (возраст до 44 лет), а на ПП9 произрастает многоствольная лиственница, возраст которой составляет 60 лет. Оно дает существенный вклад в общую фитомассу на данной пробной площади.

Таблица 3 – Величина фитомассы и содержание углерода и CO₂-эквивалента в кг в экземплярах лиственницы сибирской на круговых пробных площадях радиусом 11 метров

Номер ПП	Фитомасса			Содержание углерода			Содержание CO ₂ -эквивалента		
	надземная	подземная	общая	надземная	подземная	общая	надземная	подземная	общая
1	432,0	247,7	679,7	216,0	123,9	339,8	791,9	454,2	1246,1
2	147,2	89,0	236,3	73,6	44,5	118,1	269,9	163,2	433,2
3	11,1	5,3	16,4	5,6	2,6	8,2	20,4	9,6	30,0
4	214,0	130,0	344,0	107,0	65,0	172,0	392,3	238,4	630,7
5	79,2	37,8	117,0	39,6	18,9	58,5	145,2	69,4	214,6
6	17,5	8,2	25,7	8,7	4,1	12,8	32,0	15,1	47,1
7	275,8	174,3	450,1	137,9	87,2	225,1	505,6	319,6	825,2
8	53,4	25,9	79,3	26,7	13,0	39,6	97,8	47,5	145,3
9	69,8	42,4	112,1	34,9	21,2	56,1	127,9	77,7	205,6
10	1308,8	848,6	2157,5	654,4	424,3	1078,7	2399,5	1555,9	3955,4
11	1916,1	1257,4	3173,4	958,0	628,7	1586,7	3512,8	2305,1	5817,9
12	1358,2	889,5	2247,7	679,1	444,8	1123,9	2490,1	1630,8	4120,9
13	58,8	29,7	88,5	29,4	14,8	44,3	107,9	54,4	162,3
14	662,5	393,2	1055,8	331,3	196,6	527,9	1214,6	720,9	1935,5
15	1975,1	1271,5	3246,6	987,6	635,7	1623,3	3621,1	2331,1	5952,1
16	2383,7	1657,7	4041,4	1191,9	828,8	2020,7	4370,2	3039,1	7409,2

1.2 Особенности структуры древостоев в высотном градиенте на Южном Урале

1.2.1 Объект и методика исследований древесной растительности на Южном Урале

Исследования проводились на склонах горного массива Ирмель с географическими координатами: $54^{\circ} 30-34'$ северной широты и $58^{\circ} 49-54'$ восточной долготы. Массив расположен в районе наиболее высоких центральных возвышенностей 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 рис. 7.



Рисунок 7 – Местоположение объекта исследований – горный массив Ирмель (Южный Урал)

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 Иремеле (первый профиль) экспозиция склона юго-западная, а на Большом Иремеле (второй профиль) – северная.

ЭВГДР с учетом сомкнутости крон деревьев делится на несколько подпоясов: отдельных деревьев, реди и редколесий [29]. С учетом этого деления в пределах каждого профиля зафиксированы высотные уровни (табл. 4).

Таблица 4 – Общая характеристика высотных уровней на исследуемых профилях

№ высотного уровня	Малый Иремель		Большой Иремель	
	высота над уровнем моря	тип фитоценоза	высота над уровнем моря	тип фитоценоза
		редина		редина
		редколесье		редколесье
				сомкнутый лес
		сомкнутый лес		

На каждом высотном уровне профилей на одинаковом расстоянии друг от друга заложены от 3 до 6 пересчетных площадок площадью 400 м² (20x20 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 характеристики: 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 подроста. 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, умещающихся 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 [30]. 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.

Возраст растений, определенный по изложенной методике, нельзя считать установленным с точностью до одного года. Однако, на наш взгляд, он является наиболее реальным и позволяет решить поставленные задачи исследования.

Модельные деревья отбирались на первом, третьем и пятом высотных уровнях первого профиля (на Малом Ирмеле). 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 [31, 32]. 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 общей сложности нами за период с 2002 по 2024 годы фитомасса по фракциям определена у 123 модельных деревьев ели.

В 2023-2024 годах в рамках выполнения государственного задания 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» (шифр темы FEUG-2023-0002) были проведены повторные измерения характеристик деревьев для оценки изменений таксационных показателей деревьев и древостоев, произошедших за последние 20 лет на заложенных профилях. Для оценки семенной продуктивности и климатогенной динамики древостоев в высокогорьях Южного Урала осенью урожайного 2023 года нами на данных профилях проведена дополнительная работа по сбору шишек с учетных деревьев: на трех высотных уровнях (первом, втором и третьем) первого профиля с 36 деревьев в количестве 1080 шт. и на двух высотных уровнях (первом и втором) второго профиля – с 24 деревьев в количестве 720 шт.

Объем полевых работ, выполненных на научно-исследовательском стационаре в 2023-2024 годах в рамках государственного задания представлен в табл. 5.

Таблица 5 – Объем полевых работ, выполненных на научно-исследовательском стационаре в 2023 – 2024 годах в рамках государственного задания

Виды работ	Единица измерений	Малый Иремель (MIR)		Большой Иремель	
		в 2023 году	в 2024 году	в 2023 году	в 2024 году
Сбор шишек ели	шт.	1108 с 36 деревьев		720 с 24 деревьев	
Определение лабораторной всхожести, проб	шт.	36			
Оценка всхожести семян	шт.				
Выявление причин не прорастания семян	шт.				
Лидарная съемка высотных профилей	шт.				
Обработка количество собранных 25-ти минут-	шт.				

Виды работ	Единица измерения	Малый Ирмель (MIR)		Большой Ирмель	
		в 2023 году	в 2024 году	в 2023 году	в 2024 году
ных фрагментов по лидарной съемке					
Взятие буровых образцов, измерение ширины годичных колец	шт.				
Повторное фотографирование высотных уровней для анализа изменения ландшафта местности и полноты насаждений	шт.				
Определение естественной всхожести (обмерено количество всходов)	шт.		На 7 высотных уровнях, на 9200 напольных площадках		

Экспериментальный материал, собранный в рамках выполнения государственного задания, и ее математико-статистическая обработка позволили получить новые научные знания о закономерностях формирования деревьев и древостоев ели в экотоне верхней границы леса Южного Урала в условиях современного изменения климата. Это стало возможным в результате проведения повторных учетов и новых исследований на научно-исследовательском стационаре в ходе выполнения государственного задания и сопоставления данных, полученных в разные годы. Основные результаты данных исследований приводятся ниже.

1.2.2 Современная структура древостоев ели в высокогорьях горы Малый Ирмель

На современном этапе изменение климата планеты заметно повысило интерес ученых к изучению и оценке реакции лесной растительности на это глобальное явление. Общеизвестно, что наиболее перспективными объектами при изучении процессов формирования, роста и развития лесных сообществ в условиях потепления климата, являются экосистемы высокоширотных и высокогорных областях, наиболее чувствительные к изменению климатических факторов [29]. В данном аспекте несомненный интерес представляет оценка роста и дифференциации деревьев в древостоях, занимающих разное высотное положение в экотоне верхней границы леса. В настоящее время таких исследований проведено крайне мало. В тоже время их результаты необходимы для оценки смещения верхней границы леса, устойчивости и стабильности

формирующиеся в результате повышения температуры воздуха и изменения режима осадков на ранее не покрытых лесом территориях (горной тундре) насаждений, их экологической и биосферной роли [33–35 и др.]. В этой связи основной целью данной работы явилось исследование особенностей роста и характера дифференциации деревьев ели по основным таксационным характеристикам в экстремальных условиях экотона верхней границы леса в горах Южного Урала.

Экспериментальным материалом исследования послужили данные подеревного учета деревьев на научно-исследовательском стационаре, проведенных нами в 2023-2024 годах. Результаты исследований приведены на примере трех основных высотных уровней первого профиля (Малый Ирмель): первого (на высоте 1360 м над уровнем моря), третьего (на высоте 1310 м) и пятого (на высоте 1260 м).

По материалам, полученным в результате подеревной таксации, для каждого высотного уровня исследуемого профиля устанавливались средние величины основных таксационных показателей: возраста, диаметра на высоте груди, высоты и диаметра кроны деревьев, а также проективного покрытия крон и густоты древостоев. Они приведены в табл. 6.

Таблица 6 – Средние значения таксационных показателей ельников на исследуемых объектах

Высотный уровень	Высота над уровнем моря, м	Диаметр на высоте груди, см	Высота, м	Возраст, лет	Диаметр кроны, м	Площадь проективного покрытия крон, м ² /га	Густота, шт./га
1	1360	8,9±0,82	3,6±0,16	55±4,7	3,1±0,3	216	125
3	1310	15,4±0,66	7,4±0,26	73±3,2	3,3±0,2	1870	925
5	1260	21,2±0,76	10,4±0,27	99±2,4	3,9±0,1	2430	715

Приступая к анализу материалов, представленных в табл. 6, необходимо отметить, что рассчитанные средние величины всех таксационных показателей достоверны на 5-ном уровне ($t_{\text{факт.}} t_{0,05}$) и соответствуют характеризующим ими совокупностям деревьев.

На исследуемом профиле прослеживается заметное снижение средних значений возраста, диаметра и высоты деревьев по мере продвижения в гору.

Уменьшение среднего возраста ели в указанном направлении (с 99 лет до 55) является наглядным свидетельством того, что она на вышележащих уровнях появилась заметно позднее, чем на нижележащих. Этот факт косвенно указывает на неуклонное поднятие

границы леса, начиная с середины прошлого века. Известно, что примерно с этого периода отмечается глобальное повышение средней температуры воздуха. Таким образом, можно сделать предположение, что заселение и формирование древесной растительности на верхних, ранее безлесных высотных уровнях изучаемого профиля, связано с улучшением на них условий для возобновления и роста деревьев, которое произошло в результате позитивного изменения режима осадков и потепление климата на современном этапе. К подобным выводам приходили и другие авторы, проводившие исследования верхней границы леса в разных регионах страны [33–35 и др.].

С повышением высоты над уровнем моря на профиле наблюдается закономерное уменьшение средних значений диаметра и высоты деревьев. По среднему диаметру древостои пятого высотного уровня превосходят древостои первого уровня в 2,4 раза. Различия по средней высоте между древостоями первого и пятого уровней несколько выше, чем по среднему диаметру. Значения этого показателя на пятом уровне выше по сравнению с первым в 2,9 раза. Такое положение, на наш взгляд, объясняется двумя причинами: снижением по мере повышения высоты над уровнем моря возраста деревьев и ухудшением почвенно-климатических условий.

С увеличением высоты над уровнем моря наблюдается также уменьшение среднего диаметра кроны. Этот показатель в древостоях пятого высотного уровня в 1,3 раза больше, чем в древостоях первого уровня.

С высотой над уровнем моря тесно связана площадь проективного покрытия крон. Минимальным значением этого показателя (216 м²/га) характеризуются ельники первого высотного уровня профиля, а максимальным (2430 м²/га) – пятого уровня. Проявляется также тенденция уменьшения густоты древостоев ели с увеличением высоты над уровнем моря.

Все исследуемые древостои ели имеют низкую производительность. Насаждение на первом уровне исследуемого профиля характеризуется Vб классом бонитета, а на третьем и пятом уровнях – Va.

В соответствии с программой исследования на III у всех деревьев ели по буровым кернам определялся их возраст. Эти данные (ряды распределения количества деревьев по возрасту) позволяют оценить степень дифференциации деревьев по возрасту и возрастную структуру ельников на исследуемом профиле. В специальной литературе имеются сведения о том, что возрастное строение древостоев объективно можно оценить только при установлении возраста всех их деревьев [36]. Наши материалы соответствуют эту условию. Результаты математико-статистической обработки рядов распределения деревьев ели по возрасту показаны в табл. 7.

Таблица 7 – Основные статистические показатели рядов распределения деревьев по возрасту в исследуемых ельника

Высотный уровень	Среднее значение, лет	Ошибка среднего, лет	Минимальное значение, лет	Максимальное значение, лет	Коэффициент вариации, %	Показатель асимметрии	Показатель эксцесса	Точность опыта, %
Первый	55	4,7	29	91	34,8	0,42	-1,04	8,4
Третий	73	3,2	26	130	35,9	-0,22	-1,04	4,5
Пятый	99	2,4	52	148	26,5	0,01	-1,17	2,5

Известно, что выборочные наблюдения характеризуются ошибками репрезентативности [37–39 и др.]. По величине ошибки среднего значения можно сделать заключение, насколько вычисленная выборочная средняя отличается от средней генеральной совокупности. Причем на величину ошибки выборочной средней оказывают влияние как однородность собранного материала (чем меньше степень рассеивания отдельных вариантов вокруг своей средней, тем меньше ошибка репрезентативности), так и число измерений (ошибка уменьшается с увеличением числа измерений). Вычисленные и представленные в табл. 7 данные, свидетельствуют, что достоверность средних значений (среднего возраста) на всех исследуемых объектах доказывается на 5%-ном уровне ($t_{\text{факт.}} < t_{0,05}$). При оценке достоверности средних значений возраста с учетом установленного числа степеней свободы в исследуемых рядах по таблице Стьюдента определялась величина критерия $t_{0,05}$ [37]. На основе представленных материалов можно сделать заключение, что выборочные совокупности (объемы эмпирического материала) обеспечивают достаточно устойчивые результаты. Точность опыта соответствует требованиям, предъявляемым при выполнении лесочетных работ. По отдельным объектам этот показатель изменяется от 2,5 до 8,4%.

Представление об изменчивости возраста деревьев и возрастной структуры древостоев можно получить на основе анализа величины амплитуды возраста, характеризующейся пределами изменения данного показателя. В целом, на всех профилях диапазон изменения возраста ели увеличивается с уменьшением абсолютной высоты расположения древостоев. Имеющиеся отклонения от этой закономерности, на наш взгляд, объясняются с особенностями выборки. Наибольшим диапазоном варьирования возраста деревьев (от 26 до 130 лет) характеризуются ельники на третьем уровне исследуемого профиля, а наименьшим (от 29 до 91 года) – ельники первого уровня.

Представленные в табл. 7 материалы показывают, что ельники на исследуемых профилях относятся к категории абсолютно разновозрастных древостоев. Известно, что к

абсолютно разновозрастным относятся древостои, в которых разница в возрасте групп деревьев составляет более двух классов возраста [40].

Средние значения возраста деревьев ели на профиле уменьшаются по мере продвижения в гору: от 55 до 99 лет.

При оценке таксационной структуры древостоев и дифференциации составляющих их деревьев особое внимание уделяется изучению изменчивости (степени вариации) различных характеристик деревьев, устанавливаемой по значению коэффициента варьирования признака [41].

Коэффициент вариации возраста деревьев существенно различается по высотным уровням. Его значения изменяются в диапазоне от 26,5% (на пятом уровне) до 35,9% (на третьем уровне). В лесоводственно-биологических исследованиях для оценки изменчивости показателей растений пользуются эмпирической шкалой уровней изменчивости количественных признаков растений С.А. Мамаева [42]. При сопоставлении значений коэффициента вариации возраста деревьев ели на исследуемых объектах с данными шкалы С.А. Мамаева получены следующие результаты: изменчивость возраста ели на первом и третьем высотных уровнях соответствует высокому уровню (от 31 до 40%) и на пятом – повышенному уровню (от 21 до 30%).

Высокая изменчивость возраста деревьев в экотонах верхней границы леса отмечают и другими исследователями. Так, в высокогорных условиях в ельниках Южного Урала этот показатель изменяется от 21 до 33%, в лиственничниках Приполярного Урала – от 38 до 45%, в лиственничниках Среднего Урала – от 33 до 56% [33–35]. Указанные авторы признают, что степень дифференциации древесных растений по возрасту в высокогорьях существенно выше, чем в равнинных условиях.

Высокая изменчивость возраста деревьев и формирование абсолютно разновозрастных древостоев (с разницей в возрасте групп деревьев более чем на два класса возраста) в экотоне верхней границы леса, главным образом, объясняется складывающимися в верхних частях склонов условиями для лесовозобновления. Несмотря на улучшение климатической обстановки в последние десятилетия, условия для возобновления леса в экотоне остаются крайне сложными. Высокогорья характеризуются жесткими температурным и ветровым режимами, древостои в них отличаются пониженной семенной продуктивностью [43], а почвы – низким плодородием, малой мощностью, неустойчивым режимом увлажнения, высокой каменистостью и скелетностью. В таких условиях появление всходов и самосева не гарантирует их дальнейшего участия в лесовозобновительном процессе. В этом возрасте древесные растения наиболее уязвимы воздействию неблагоприятных экологических факторов и массово гибнут. Только при

определенном (относительно благоприятном) сочетании факторов внешней среды возможны выживание и успешный рост всходов и подроста. В связи с этим процесс лесовозобновления в экотоне растягивается на долгие годы и формируются абсолютно разновозрастные (с разницей в возрасте групп деревьев более чем на два класса возраста) древостои. Таким образом, разновозрастность древостоев в верхней границе леса может рассматриваться как фактор их выживаемости и устойчивости в крайне неблагоприятных лесорастительных условиях.

Форму кривых распределения количества деревьев в исследуемых совокупностях по тем или иным таксационным показателям оценивают на основе показателей асимметрии и эксцесса рядов [44, 37 и др.].

Показатель асимметрии рядов распределения числа деревьев по возрасту имеет разные знаки, изменяется от -0,22 (третий уровень) до 0,42 (первый уровень). На всех уровнях значения этого показателя не достоверны на 5% уровне.

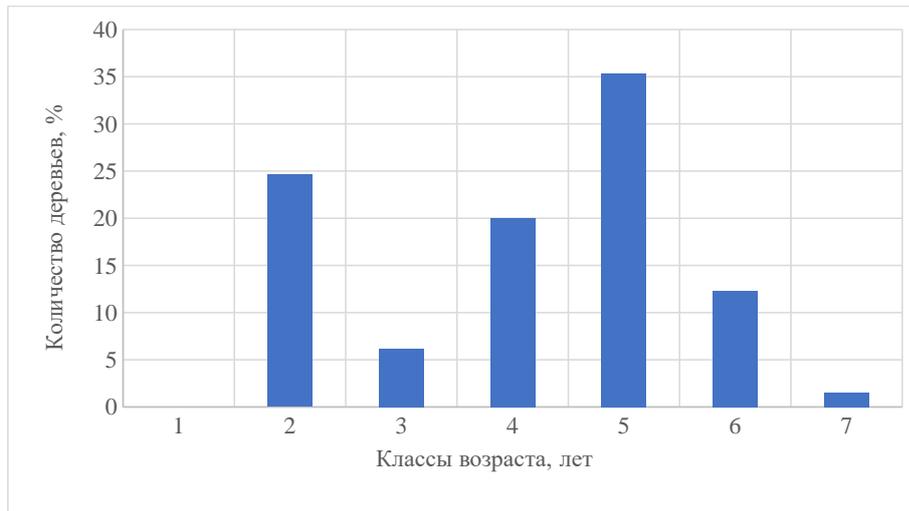
Показатель эксцесса исследуемых рядов во всех случаях имеет отрицательный знак и изменяется от -1,17 (пятый уровень) до -1,04 (первый и третий уровни). Значения этого показателя на третьем и пятом уровнях достоверны на 5% уровне. Абсолютные значения этого показателя свидетельствуют о том, что по крутости эмпирические кривые распределения возраста существенно отличаются от нормальной кривой Гаусса-Лапласа.

По данным табл. 7 четких закономерностей в изменении этих показателей, связанных с высотным положением древостоев, не наблюдается. В целом, по абсолютным значениям показателей асимметрии и эксцесса можно констатировать, что изучаемые эмпирические ряды в подавляющем большинстве случаев существенно отличаются от нормального распределения Гаусса-Лапласа. При такой разновозрастности древостоев это вполне ожидаемый результат.

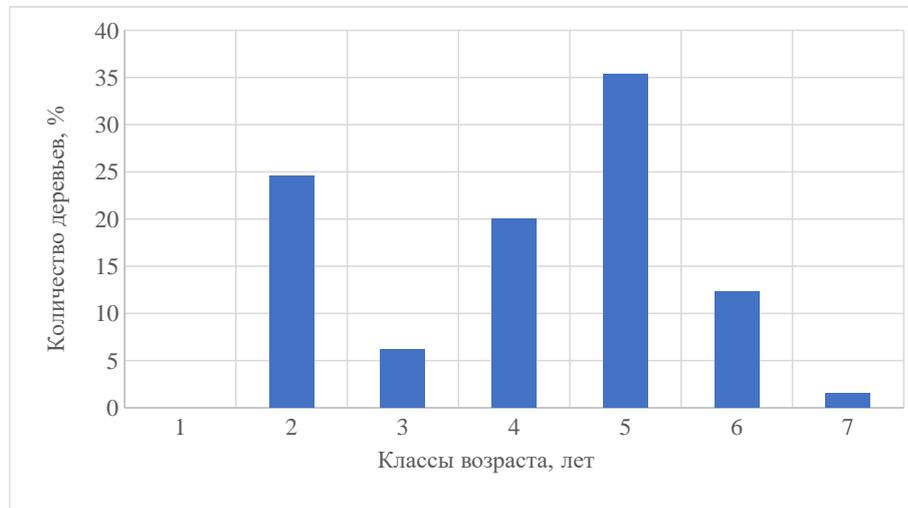
Наглядно распределение деревьев ели по возрасту в разрезе высотных уровней исследуемого профиля показано на рис. 8. При построении графиков деревья были сгруппированы по классам возраста.

Анализ графических данных позволяет достаточно объективно оценить возрастное строение исследуемых древостоев. Большинство исследователей для оценки строения древостоев по возрасту считают наиболее удачной и совершенной схему типов возрастной структуры, предложенную Г.Е. Коминым и И.В. Семечкиным [45, 46]. В зависимости от пространственного размещения деревьев разного возраста и структуры популяций исследуемой породы указанные авторы выделяют шесть типов возрастной структуры древостоев:

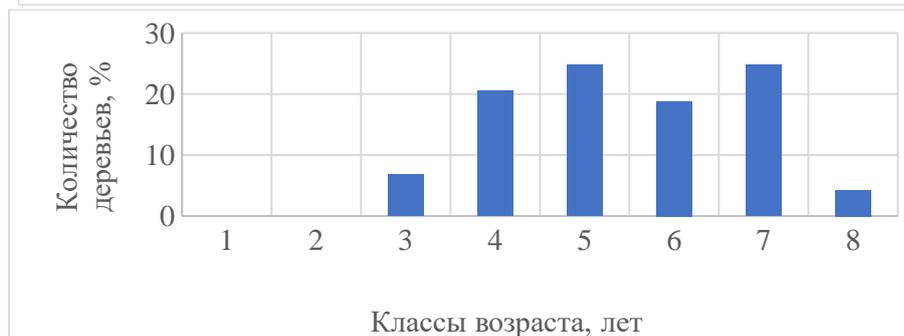
- абсолютно одновозрастные (древостои из деревьев одного возраста);



а



б



в

Рисунок 8 – Распределение количества деревьев ели по классам возраста в разрезе высотных уровней исследуемого профиля: а – первый высотный уровень; б – третий уровень; в – пятый уровень

- условно разновозрастные (древостои образованы одним поколением деревьев, но с большой амплитудой колебания возраста; при этом отсутствует разрыв между молодым и старшим поколениями);

- ступенчато разновозрастные (в древостоях несколько поколений, резко обособленных друг от друга с полным отсутствием промежуточных возрастов);

- циклично разновозрастные (в древостоях несколько поколений без полных разрывов между ними, наблюдается лишь значительное уменьшение количества деревьев с промежуточным возрастом; наличие нескольких максимумов и минимумов в распределении деревьев по возрасту);

- абсолютно разновозрастные (в древостоях несколько поколений, распределение деревьев по возрасту достаточно равномерное (без нарушений), ясно выраженных границ между возрастными поколениями не наблюдается, имеющиеся циклы короткие – до 15 лет).

По мнению этих авторов разновозрастные древостои могут состоять из морфологически выраженных или невыраженных поколений леса.

В соответствии с данной, обобщенной схемой типов возрастной структуры древостоев Г.Е. Комина и И.В. Семечкина [46], в исследуемом экотоне верхней границы леса древостои имеют циклично разновозрастную и абсолютно разновозрастную структуры. Циклично разновозрастными древостоями представлен третий высотный уровень профиля. Древостои первого и пятого уровней с некоторыми допущениями можно отнести к категории абсолютно разновозрастных.

Формирование абсолютно разновозрастных древостоев в жестких лесорастительных условиях отмечалось многими исследователями [45, 47, 48].

П.М. Верхунов и В.Л. Черных [49] выделяют несколько направлений таксационной оценки разновозрастных насаждений:

-разновозрастный древостой рассматривается как единое целое с попыткой установления общих закономерностей в его строении и росте;

-разновозрастный древостой делится на ярусы, отдельные части по признаку спелости или на искусственные группы возраста с определенными интервалами;

-разновозрастный древостой рассматривается как совокупность естественных поколений леса;

-разновозрастный древостой сводится к трем поколениям древостоя и двум поколениям подроста.

Выделение в разновозрастном лесу естественных поколений способствует углубленному познанию особенностей лесообразовательного процесса, объективной оценке закономерностей роста и развития древостоев, обоснованию назначения и проведения тех или иных лесохозяйственных мероприятий.

Некоторые исследователи считают, что таксацию леса по поколениям следует осуществлять только при их морфологической выраженности, в противном случае необходимо проводить синтетическую оценку всего разновозрастного леса [47, 49].

В соответствии с ОСТ 56-108-98 [50] поколение леса – это разновозрастная совокупность лесообразующих древесных растений участка леса, возраст которых может различаться в пределах не более двух классов возраста. В теории и практике лесочетных работ разделение древостоя одной породы на поколения производится по группам возраста, установленным исходя из принятого для породы возраста рубки. Возрастные поколения, относящиеся к молоднякам, средневозрастным, приспевающим частям разновозрастного насаждения, выделяются при доле их участия в составе этого насаждения не менее 20% и (или) при разнице в средних диаметрах древостоев поколений не менее 6 сантиметров. Выделение возрастных поколений, относящихся к спелой и перестойной частям разновозрастного лесного насаждения, осуществляется в случаях, если доля их в общем запасе составляет не менее 20%. При меньшей доле спелая и перестойная части разновозрастного лесного насаждения учитываются как единичные деревья [51].

В целом, на основе представленных выше материалов можно сделать следующее заключение. В верхней границе леса в насаждениях, характеризующихся циклично разновозрастным и абсолютно разновозрастным типами возрастной структуры, исследования особенностей лесообразовательного процесса, формирования, строения, роста и развития древостоев, необходимо проводить с выделением естественных поколений леса. Однако в данных насаждениях возрастные поколения морфологически не выражены, установить их в лесу визуально практически невозможно, объективно их можно выделить только при определении возраста значительного числа деревьев в камеральных условиях.

В частности, для определения среднего возраста древостоев на исследуемых объектах с точностью 10% при вероятности 0,68 (принятой в лесотаксационной практике) с учетом представленных в табл. 7 коэффициентов вариации необходимо провести от 7 (на пятом высотном уровне) до 13 (на третьем уровне профиля) случайных измерений возраста деревьев. Для того, чтобы определить средний возраст с точностью 5% при вероятности 0,68 количество измерений возраста на пятом уровне должно составлять 28, а на третьем – 52. Для достижения такой же точности (5 или 10%) с вероятностью 0,95 количество измерений возраста должно быть увеличено, соответственно, в два раза.

Среднее значение коэффициента вариации возраста деревьев в целом по экотону верхней границы леса (по всем высотным уровням заложенных профилей) составляет 34,4%. Таким образом, при синтетической оценке разновозрастных древостоев в целом по экотону для достижения 10% точности определения среднего диаметра с вероятностью 0,68

необходимо в среднем произвести 12 случайных измерения возраста, а для достижения 5% точности с той же вероятностью – 48 измерений.

Такие результаты нами получены с использованием применяемой для нахождения необходимого числа измерений при случайной выборке формуле:

$$n = (V * t / P_0)^2,$$

где n – необходимое число измерений;

V – коэффициент вариации исследуемого признака, %;

t – критерий (принимается с округлением равным 1, 2 или 3, соответственно при вероятностях 0,68, 0,95 и 0,99);

P₀ – заданная точность результата, %.

В целом, с учетом крайне низких показателей роста и не выраженности возрастных поколений леса в насаждениях, сформировавшихся в экотоне верхней границы леса, при их производственной таксации, на наш взгляд, целесообразна синтетическая оценка всего разновозрастного древостоя.

Диаметр стволов является важнейшим показателем, с которым тесно связаны все основные таксационные характеристики деревьев и древостоев. Поэтому при исследовании строения древостоев главное внимание уделяется анализу рядов распределения деревьев по толщине. Этот ряд, характеризующий степень участия каждой ступени толщины в образовании древостоя, является основной таксационной характеристикой элементов (поколений леса), так как позволяет определить многие другие производные показатели. Результаты статистической оценки рядов распределения количества деревьев ели по диаметру в разрезе высотных уровней профиля приведены в табл. 8.

Таблица 8 – Основные статистические характеристики распределения деревьев ели по диаметру в исследуемых ельниках

Высотный уровень	Среднее значение, см	Ошибка среднего, см	Минимальное значение, см	Максимальное значение, см	Коэффициент вариации, %	Показатель асимметрии	Показатель эксцесса	Точность опыта, %
Первый	8,9	0,82	3,0	20,0	50,3	1,21	0,91	9,2
Третий	15,4	0,66	1,0	37,0	58,3	0,23	-0,81	4,3
Пятый	21,2	0,76	2,0	45,0	42,6	0,51	-0,14	3,6

Приступая к анализу данных табл. 8 необходимо отметить, что достоверность средних значений во всех случаях доказывается на 5%-ном уровне ($t_{факт.} < t_{0,05}$). Точность

опыта по отдельным объектам изменяется от 3,6 до 9,2%. На всех высотных уровнях ошибки среднего диаметра не превышают 10%.

Приведенные в табл. 8 результаты статистического анализа данных определения диаметра деревьев позволяют констатировать следующее. На исследуемом профиле диапазон изменения диаметра стволов ели и средние величины этого показателя закономерно увеличиваются с уменьшением абсолютной высоты расположения древостоев. Наибольшим диапазоном варьирования диаметра деревьев (от 2,0 до 45,0 см) характеризуются ельники на пятом уровне исследуемого профиля, а наименьшим (от 3 до 20,0 см) – ельники первого уровня.

Закономерное уменьшение (с 21,2 до 8,9 см) среднего диаметра древостоев ели с повышением высоты над уровнем моря, как отмечалось выше, обусловлено снижением в этом направлении среднего возраста деревьев и ухудшением лесорастительных условий.

На основе анализа приведенных в табл. 8 значений коэффициента вариации диаметров можно отметить следующее. Ельники на исследуемых объектах характеризуются высокой изменчивостью диаметров стволов. Значения коэффициента вариации этого показателя изменяются в широком интервале от 42,6% (на пятом высотном уровне) до 58,3% (на третьем уровне). В целом наблюдается тенденция увеличения величины коэффициента вариации с повышением высоты над уровнем моря. По шкале С.А. Мамаева [42] изменчивость диаметра стволов ели на всех исследуемых объектах соответствует очень высокому уровню (более 40%).

Чрезвычайно высокая изменчивость диаметра стволов в исследуемых ельниках, на наш взгляд, в первую очередь связана их высокой разновозрастностью. Тенденция повышения варьирования диаметра деревьев с продвижением в гору можно объяснить заметным снижением возраста древостоев ели и ухудшением лесорастительных условий в этом направлении. Общеизвестно, что изменчивость толщины стволов тем выше, чем моложе древостой и жестче экологические условия [52, 41 и др.].

Высокая изменчивость диаметра деревьев в экотонах верхней границы леса отмечают и другими исследователями. Так, в высокогорных условиях в ельниках Южного Урала этот показатель изменяется от 26 до 67%, в лиственничниках Приполярного Урала – от 50 до 55%, в лиственничниках Среднего Урала – от 39 до 60% [33–35].

Несомненный интерес представляет сравнение наших результатов (в экстремальных условиях произрастания лесов) с соответствующими материалами других авторов, полученными в условиях равнинных лесов. По данным многих исследователей изменчивость диаметров деревьев в древостоях зависит от многих факторов: породы, возраста и возрастной структуры древостоев, лесорастительных условий и др. По

сведениям И.И. Гусева [52] в таежной зоне Европейского Севера разновозрастные древостои ели характеризуются весьма широким диапазоном колебания коэффициента вариации толщины стволов.

В молодняках этот показатель достигает 50-60%. При увеличении возраста древостоев от 40 до 220 лет он закономерно уменьшается от 52 до 28%. По данным А.Г. Шавнина [53] в разновозрастных ельниках Среднего Урала этот показатель изменяется в более узких границах – от 35 до 43%. В справочнике «Общесоюзные нормативы для таксации лесов» [54] указано, что коэффициент вариации диаметра стволов в спелых ельниках составляет 24-37%.

Сопоставление наших данных, получаемых при синтетической оценке всего разновозрастного древостоя, с литературными (полученными для элементов леса) при примерно одинаковом возрасте древостоев показывает, что в исследуемых ельниках изменчивость диаметров стволов на 15-20% выше, чем в темнохвойных насаждениях Европейской части страны и Среднего Урала.

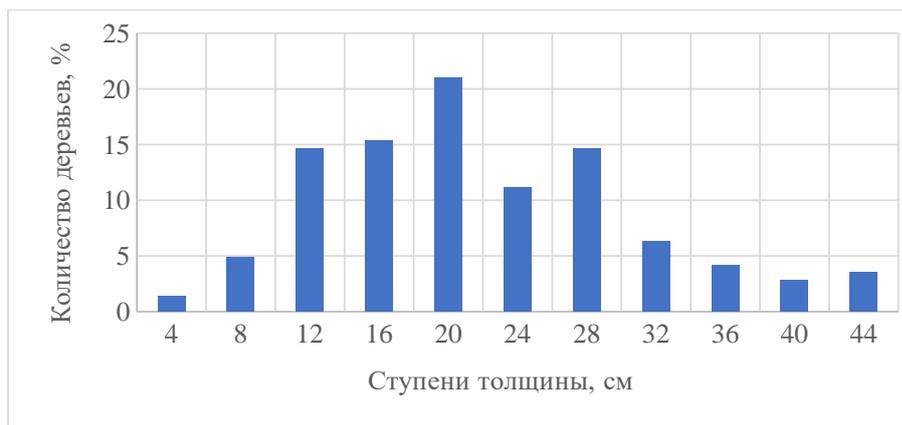
Показатель асимметрии рядов распределения числа деревьев по диаметру во всех случаях имеет положительный знак и изменяется от 0,23 (третий уровень) до 1,21 (первый уровень). Коэффициент эксцесса их изменяется от -0,81 (третий уровень) до 0,91 (первый уровень). В целом, абсолютные значения показателей асимметрии и эксцесса свидетельствуют о том, что эмпирические кривые распределения диаметров существенно отличаются от нормальной кривой Гаусса-Лапласа.

Наглядно распределение деревьев ели по диаметру в разрезе высотных уровней исследуемого профиля показано на рис. 9. При построении графиков деревья были сгруппированы по 4-х сантиметровым ступеням толщины.

Графические данные, представленные на рис. 9, подтверждают ранее сделанный вывод, что исследуемые ряды распределения деревьев по диаметру не могут характеризоваться нормальным законом. Не представляется возможным и разработка одного обобщенного ряда для древостоев всех трех высотных уровней. Ряды на высотных уровнях существенно различаются и по количеству ступеней толщины, и по характеру представленности их деревьями.

Данные табл. 7 и 8 позволяют оценить средний общий прирост по диаметру в целом для древостоев ели в разрезе высотных уровней исследуемого профиля. Этот прирост определяется делением величины таксационного показателя дерева на его возраст, то есть показывает увеличение таксационного показателя в среднем за один год всей жизни дерева.

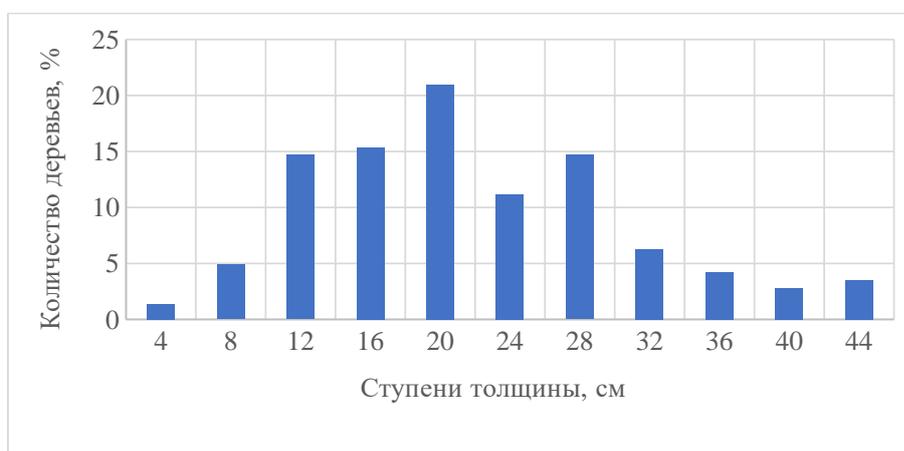
Результаты соответствующих расчетов позволили отметить следующее. Средний общий прирост по диаметру изменяется от 0,16 см на первом высотном уровне до 0,21 см –



а



б



в

Рисунок 9 – Распределение количества деревьев ели по диаметру в разрезе высотных уровней Малого Иремеля: а – первый высотный уровень; б – третий уровень; в – пятый уровень

на пятом. В целом исследуемые ельники характеризуются низкими значениями данного показателя. Наблюдается увеличение величины прироста по мере снижения высотного положения древостоев, несмотря на увеличение в этом направлении их среднего возраста. Известно, что после 90-100-летнего возраста средний общий прирост по диаметру в

сомкнутых ельников V и Va классов бонитета закономерно уменьшается [54]. В нашем случае закономерное увеличение среднего общего прироста с уменьшением высотного положения древостоев объясняется более благоприятными лесорастительными условиями на нижних высотных уровнях по сравнению с верхними.

При синтетической оценке всего разновозрастного древостоя в практическом отношении несомненный интерес представляют данные о необходимом числе измерений диаметров деревьев для достижения определенной точности определения среднего значения данного показателя.

С учетом представленных в табл. 8 коэффициентов вариации по формуле (1) для определения среднего диаметра ели на исследуемых объектах с точностью 10% при вероятности 0,68 необходимо провести от 18 (на пятом высотном уровне) до 34 (на третьем уровне) случайных измерений диаметра деревьев. Для того, чтобы определить средний диаметр с точностью 5% при вероятности 0,68 количество измерений диаметра на первом из указанных объектов должно составлять 73, а на втором – 136. Для достижения такой же точности (5 или 10%) с вероятностью 0,95 количество измерений диаметра должно быть увеличено, соответственно, в два раза.

Среднее значение коэффициента вариации диаметра деревьев в целом по экотону верхней границы леса составляет 55,1%. Таким образом, при синтетической оценке разновозрастных древостоев в целом по экотону для достижения 10% точности определения среднего диаметра с вероятностью 0,68 необходимо в среднем произвести 31 случайное измерение диаметра, а для достижения 5% точности с той же вероятностью – 121 измерение.

В специальной литературе отмечается, что изменчивость высот деревьев в отдельно взятом ярусе (элементе леса) значительно ниже изменчивости их диаметров. В учебниках по лесной таксации варьирование высот обычно характеризуется коэффициентом 6-15% [55, 56 и др.].

При такой изменчивости среднюю высоту при производственной таксации определяют по высотам 3-5 средних по размерам деревьев [51]. Сведений об изменчивости высот и рекомендаций по определению среднего значения данного показателя при синтетической оценке разновозрастного древостоя в специальной литературе крайне мало.

Результаты статистической оценки рядов распределения количества деревьев ели по высоте в разрезе высотных уровней исследуемого профиля приведены в табл. 9.

Анализ статистик распределения высот позволяет отметить следующее. Достоверность средних значений на всех объектах доказывается на 5%-ном уровне ($t_{факт.} < t_{0,05}$). Точность опыта по отдельным высотным уровням изменяется от 2,6 до 4,4%.

Таблица 9 – Основные статистические характеристики распределения деревьев ели по высоте на различных высотных уровнях

Высотный уровень	Среднее значение, м	Ошибка среднего, м	Минимальное значение, м	Максимальное значение, м	Коэффициент вариации, %	Показатель асимметрии	Показатель эксцесса	Точность опыта, %
Первый	3,57	0,16	2,15	5,30	24,7	0,10	-0,65	4,4
Третий	7,37	0,26	1,55	21,10	48,0	0,11	-0,11	3,5
Пятый	10,38	0,27	1,70	16,90	34,3	-0,41	-0,50	2,6

Диапазон изменения высоты деревьев ели и средние величины этого показателя закономерно увеличиваются с уменьшением абсолютной высоты произрастания древостоев относительно уровня моря. Наибольшим диапазоном варьирования высоты деревьев (от 1,55 до 21,10 м) характеризуются ельники на третьем уровне профиля, а наименьшим (от 2,15 до 5,30 м) – ельники первого уровня. Средние значения высоты деревьев ели на изучаемом профиле уменьшаются по мере продвижения в гору: от 10,38 до 3,57 м. Закономерное уменьшение средних значений высоты с повышением высоты над уровнем моря, как и в случае с диаметром, обусловлено снижением в этом направлении среднего возраста деревьев и ухудшением лесорастительных условий.

Ельники на исследуемых объектах характеризуются высокой изменчивостью высоты деревьев. Значения коэффициента вариации этого показателя изменяются в широком интервале от 24,7% (на первом высотном уровне) до 48,0% (на третьем уровне). Устойчивой закономерности в изменении изменчивости высот, связанной с высотным положением древостоев, на исследуемом профиле не наблюдается.

Приведенные материалы свидетельствуют, что степень дифференциации деревьев по высоте на исследуемых объектах существенно ниже, чем по диаметру. Это известный в лесной таксации факт и не требует дополнительных пояснений.

Результаты сопоставления наших материалов с данными шкалы С.А. Мамаева [42] свидетельствуют, что изменчивость высоты стволов ели на первом высотном уровне, соответствует повышенному уровню (от 21 до 30%), на третьем – очень высокому уровню (более 40%), на пятом уровне – высокому (от 31 до 40%). Высокая изменчивость высоты стволов в исследуемых ельниках по сравнению с приведенными в специальной литературе данными, на наш взгляд, в первую очередь связана с высокой разновозрастностью деревьев.

В научной лесоводственно-таксационной литературе общепризнанным и неоспоримым является положение о заметном уменьшении с повышением возраста древостоев варьирования не только диаметров, но и высот деревьев. Причем диапазон

изменения коэффициентов вариации высот в древостоях по исследованиям ряда авторов, значительно шире указанных в учебниках. В молодняках изменчивость высот достигает 59% [52], а в спелых древостоях составляет от 6 до 25% [54].

Сопоставление наших данных, получаемых при синтетической оценке всего разновозрастного древостоя, с литературными (полученными для элементов леса) при примерно одинаковом возрасте древостоев показывает, что в исследуемых ельниках изменчивость высоты стволов находится на уровне данного показателя в темнохвойных насаждениях Европейской Севера.

Коэффициент асимметрии рядов распределения числа деревьев ели по высоте изменяется от -0,41 (пятый высотный уровень) до 0,11 (третий уровень). Значения этого показателя на первом и третьем уровнях не достоверны на 5% уровне.

Коэффициент эксцесса анализируемых рядов изменяется в диапазоне от -0,65 до 0,11. Причем его значения во всех случаях не достоверны. Все ряды распределения высот в исследуемых ельниках плосковершинны.

Исследуемые ельники характеризуются низкими значениями среднего общего прироста по высоте. Этот показатель на первом высотном уровне профиля равняется 6,5 см, на третьем уровне – от 10,1 см, на пятом уровне – 10,5 см. Таким образом, с уменьшением высоты над уровнем моря средний общий прирост по высоте закономерно повышается, несмотря на увеличение возраста древостоев в этом направлении. Причина такого положения была отмечена выше.

Необходимая точность при определении средней высоты ельников обеспечивается при меньшем объеме выборки, чем при определении их среднего диаметра. Исходя из представленных в табл. 9 коэффициентов вариации для определения средней высоты ели на исследуемых объектах с точностью 10% при вероятности 0,68 необходимо провести от 6 (на первом высотном уровне) до 23 (на третьем уровне) случайных измерений высоты деревьев. Для того, чтобы определить среднюю высоту с точностью 5% при этой же вероятности количество измерений высоты на первом из указанных объектов должно составлять 24, а на втором – 92. Для достижения такой же точности (5 или 10%) с вероятностью 0,95 количество измерений высоты должно быть увеличено, соответственно, в два раза.

Среднее значение коэффициента вариации высоты деревьев в целом по экотону верхней границы леса (по всем высотным уровням профиля) составляет 47,2%. Таким образом, при синтетической оценке разновозрастных древостоев в целом по экотону для достижения 10% точности определения средней высоты с вероятностью 0,68 необходимо в

среднем произвести 22 случайных измерений высоты, а для достижения 5% точности с той же вероятностью – 89 измерений.

1.2.3 Запасы надземной фитомассы и депонированного углерода в древостоях ели в экотоне верхней границы леса на горе Малый Ирмель

Исследования фитомассы деревьев и древостоев в ЭВГДР в нашей стране проведены в весьма ограниченном объеме [57, 35, 58]. В тоже время их результаты чрезвычайно важны для оценки биосферной роли насаждений, произрастающих в этих условиях. В частности, отмечаемое многими исследователями повышение верхней границы леса в горах, связанное с современным потеплением климата, свидетельствует о расширении площадей насаждений, обеспечивающих длительное консервирование углерода. Следует отметить, что насаждения в экстремальных условиях высокогорий характеризуются замедленным биологическим круговоротом, в них количество годичного опада преобладает над годичной нормой их разложения. Здесь депонирование углерода происходит не только в биомассе, но и в древесном детрите и гумусе. В этой связи, основной целью настоящих исследований явилось получение количественных данных о запасах надземной фитомассы и депонированного углерода в древостоях ели в условиях ЭВГДР горы Малый Ирмель.

Экспериментальным материалом исследования послужили данные индивидуальных учетов всех деревьев на научно-исследовательском стационаре, проведенных нами в 2002 и 2024 годах, а также материалы таксации 123 модельных деревьев ели с определением их надземной фитомассы в абсолютно сухом состоянии. Исследованиями охвачены древостои ели на трех основных высотных уровнях первого профиля (Малый Ирмель), в которых отбирались модельные деревья.

Определение запасов фракций фитомассы проводилось регрессионным методом [31; 59]. Оно заключалось в следующем. Вначале на основе данных модельных деревьев разрабатывались уравнения связи фитомассы отдельных фракций с диаметром на высоте груди. Затем при помощи этих уравнений определялись конкретные величины фитомассы для каждой ступени толщины по перечету. Перемножением этих величин на выявленные при перечете древостоя числа стволов соответствующих ступеней толщины и последующим суммированием результатов определялись итоговые значения фитомассы данной фракции для таксируемого древостоя. Регрессионный метод позволяет более точно определить запас различных фракций фитомассы и получить полное представление о ее структуре. Кроме того, выравнивание значений фитомассы по ступеням таксационного признака (диаметра стволов) дает возможность составлять таблицы фитомассы на уровне

деревя. Поэтому в наших исследованиях данному методу отдано предпочтение.

При известных условиях местопроизрастания на формирование фитомассы древостоев существенное влияние оказывает их густота. В исследуемом экотоне деревья ели представлены одноствольной и многоствольной формами роста [60]. Многоствольники имеют общую корневую систему и произрастают густыми куртинами. Причем такие куртины могут насчитывать свыше 20 стволов. На рост и развитие деревьев (особенно их крон) оказывают влияние прежде всего ближайшие с ними «соседи», растущие в куртине (био группе). Деревья, расположенные в центре био группы, по сравнению с менее стесненными периферийными, испытывают эффект загущенности. Данное обстоятельство может оказаться существенным фактором, определяющим характер формирования фитомассы у одноствольных и многоствольных деревьев. Поэтому исследования фитомассы деревьев в высокогорьях, на наш взгляд, необходимо проводить с учетом данного факта.

Распределение общего количества модельных деревьев по высотным уровням профиля и формам их роста представлено в табл. 10. Ее данные свидетельствуют, что распределение модельных деревьев по высотным уровням профиля, а в их пределах – по формам роста достаточно равномерное. Это позволяет провести корректную оценку фитомассы деревьев и древостоев с применением регрессионного метода.

Таблица 10 – Распределение общего количества модельных деревьев ели по высотным уровням и формам роста

Высотные уровни	Высота над уровнем моря, м	Количество модельных деревьев, шт.		
		одноствольной формы	многоствольной формы	итого
Первый				
Третий				
Пятый				
	Итого			

В табл. 11 в разрезе высотных уровней профиля представлены данные о количестве стволов ели разных форм роста на 1 га, полученные в разные учетные годы.

Анализ данных табл. 11 позволяет отметить следующее. За анализируемый период общее количество стволов ели разных форм роста на вышележащих уровнях (первом и третьем) заметно увеличилось, а на пятом, наоборот, снизилось. В нашей предыдущей работе было показано, что на исследуемом профиле начиная с середины прошлого столетия наблюдается постепенное поднятие верхней границы леса. Причем, заселение древесной растительности на ранее безлесных участках горной тундры стало возможным в связи с улучшением здесь условий роста подроста и деревьев в результате потепления климата [61].

Таблица 11 – Изменение количества стволов ели разных форм роста на разных высотных уровнях за 22-летний период

Высотные уровни	Количество елей разных форм роста (в числителе – шт./га; в знаменателе – %)					
	много-ствольная	одно-ствольная	итого	много-ствольная	одно-ствольная	итого
	2002 г			2024 г		
Первый	79	29	108	71	79	150
	73	27	100	47	53	100
Третий	640	210	850	515	465	980
	75	25	100	53	47	100
Пятый	725	485	1210	365	370	735
	60	40	100	50	50	100

Увеличение количества стволов в низкополнотных древостоях первого и третьего уровней за анализируемый период свидетельствует, что этот процесс продолжается. Уменьшение густоты древостоев на пятом уровне также вполне объяснимо. Здесь древостои характеризуются достаточно высокой полнотой и сомкнутостью полога, что с одной стороны, мешает росту подроста, а с другой – является причиной более высокого отпада деревьев.

В исследуемых древостоях наблюдается закономерное уменьшение доли стволов деревьев многоствольной формы роста. Особенно это характерно для древостоев, произрастающих на верхних высотных уровнях. Так, на первом уровне она сократилась на 26%, а на третьем – на 22%. Такое положение, на наш взгляд, объясняется улучшением в переходной зоне между лесом и горной тундрой условий роста для подроста и деревьев в результате потепления и увлажнения климата.

Определение запасов фитомассы древостоев на основе фактического распределения деревьев по ступеням диаметра возможно с использованием регрессионных уравнения. Поэтому нами была изучена зависимость массы различных фракций фитомассы (ствол, крона, хвоя) от диаметра стволов. В настоящее время предложено множество уравнений для описания этой зависимости.

Пригодность тех или иных функций, как правило, определяется по наибольшему значению коэффициента детерминации (R^2). Однако, большинство исследователей [37, 62–64] при описании подобных зависимостей используют степенную (аллометрическую) функцию (2), которая логарифмированием может быть приведена к линейному виду (3):

$$y = a x^b$$

$$\ln y = \ln a + b \ln x,$$

Известно, что регрессионные уравнения, построенные на основе линейных связей более наглядны и корректны [65]. Нами при оценке фитомассы деревьев и древостоев предпочтение отдано именно этой функции.

Как отмечалось выше на исследуемом объекте древостои ели сложены из деревьев одноствольной и многоствольной форм роста. Поэтому нами вначале проведена работа по оценке влияния формы роста деревьев на характер исследуемых зависимостей.

На рис. 10 в разрезе высотных уровней представлены зависимости фитомассы стволов деревьев ели одноствольной и многоствольной форм от их диаметра на высоте груди.

Анализ графических данных позволяет констатировать, что изменчивость фитомассы стволов в значительной степени определяется их диаметром на высоте груди. Коэффициенты детерминации исследуемых зависимостей изменяются в диапазоне от 0,729 до 0,937. Причем характер их практически не зависит от формы роста деревьев.

На первом и третьем высотных уровнях все экспериментальные точки образуют единое поле рассеивания, а линии регрессии, полученные по одноствольным и многоствольным деревьям, накладываются одна на другую. На пятом уровне экспериментальные точки и линия регрессии по многоствольным деревьям на графике располагаются несколько выше, чем по одноствольным. Однако различия между одноствольными и многоствольными деревьями по расчетным величинам фитомассы стволов не достоверны.

В этой связи данные по фитомассе стволов одноствольных и многоствольных деревьев в разрезе высотных уровней были объединены в один общий массив. По полученным для каждого высотного уровня массивам модельных деревьев, рассчитаны уравнения зависимости фитомассы стволов (P_c) ели от их диаметров (D), характеристики которых приведены в табл. 12.

Таблица 12 – Характеристика уравнений зависимости фитомассы ствола деревьев ели от их диаметра вида: $P_c = a D^b$

Высотные уровни	Значения коэффициентов		R^2
	a	b	
Первый			
Третий			
Пятый			

Из данных табл. 12 видно, что коэффициенты детерминации разработанных уравнений достаточно высокие, изменяются в диапазоне от 0,855 до 0,898. В целом, можно отметить, что разработанные уравнения адекватны экспериментальным данным и корректно передают характер исследуемых зависимостей. По ним можно рассчитать фитомассу стволов для деревьев ели одноствольной и многоствольной форм любого диаметра.

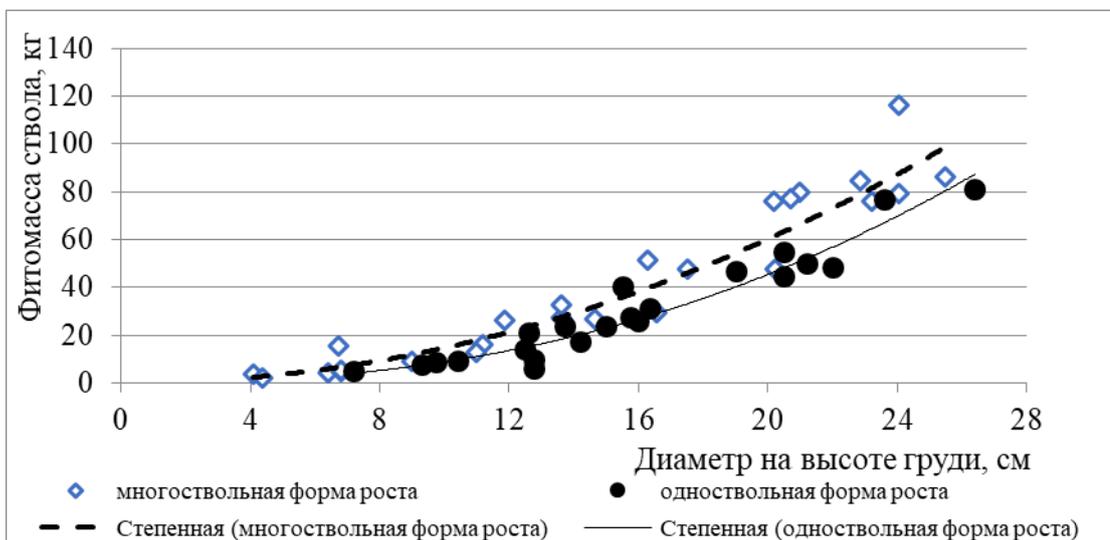
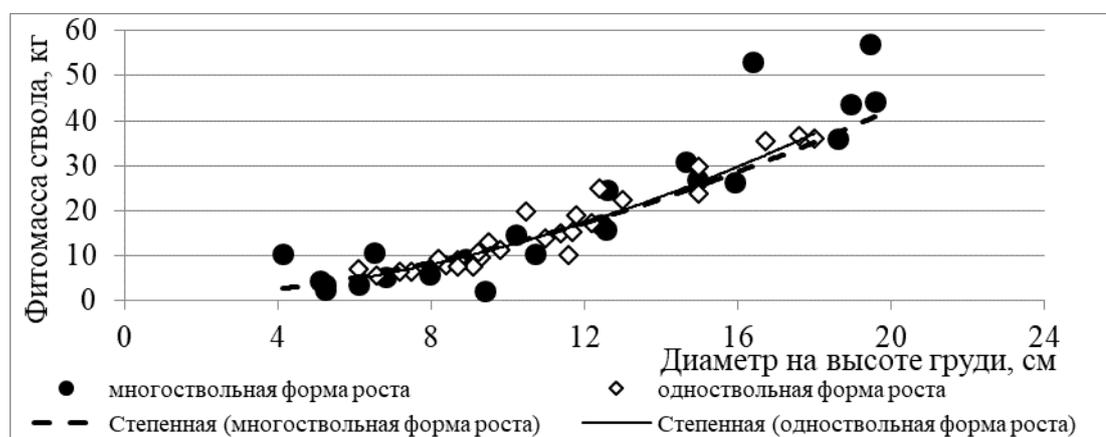
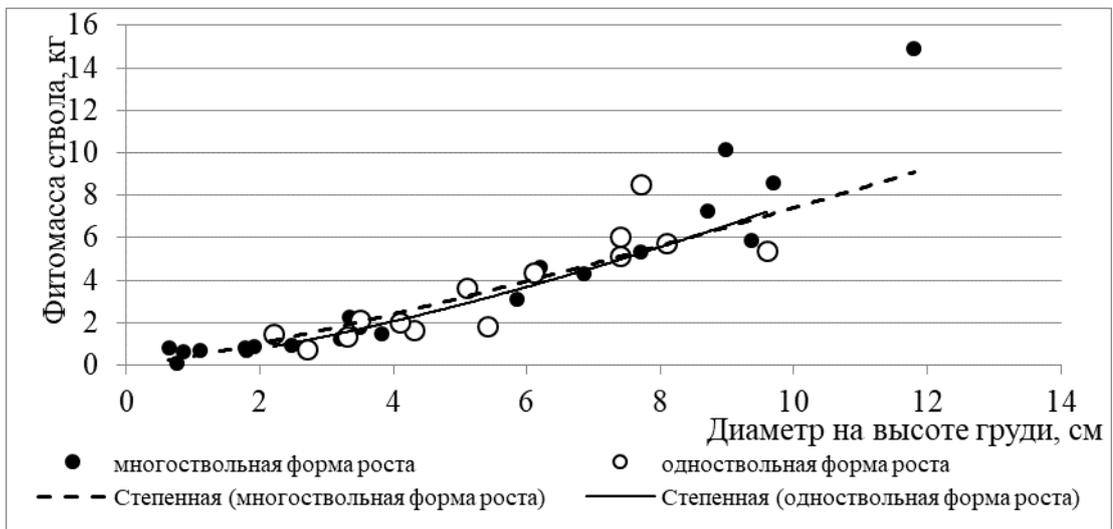


Рисунок 10 – Зависимость фитомассы стволов деревьев ели одноствольной и многоствольной форм от их диаметра на высоте груди в разрезе высотных уровней: а – первый высотный уровень, б – третий, в – пятый

Наглядно расположение линий регрессий фитомассы стволов от их диаметров и их соответствие экспериментальным точкам по отдельным высотным уровням показаны на рис. 11.

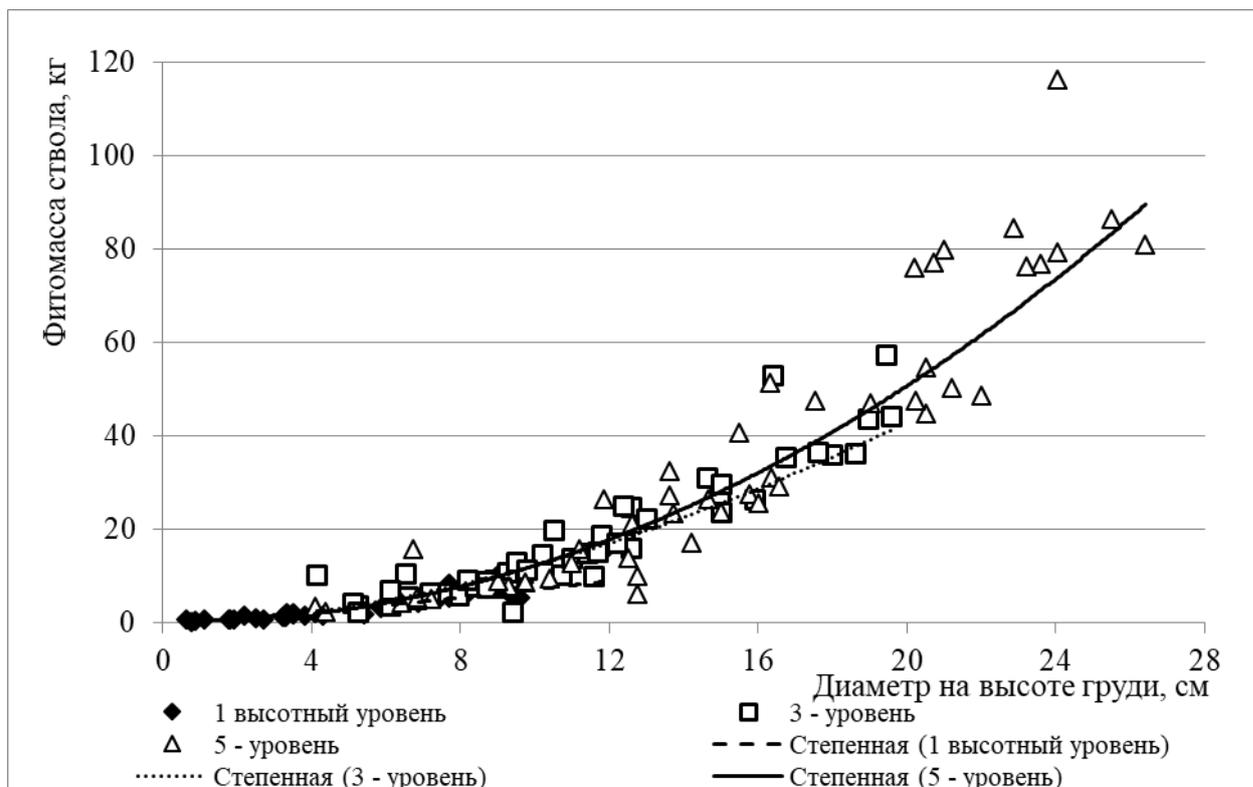


Рисунок 11 – Зависимость фитомассы стволов деревьев ели от диаметра на высоте груди по высотным уровням

Представленные на рисунке 11 материалы свидетельствуют, что линии регрессии фитомассы стволов от их диаметра на нижележащих высотных уровнях на графике располагаются ниже, чем на вышележащих. Таким образом, фитомасса стволов деревьев одинакового диаметра закономерно снижается с повышением высоты над уровнем моря. На наш взгляд это объясняется уменьшением высоты деревьев одинакового диаметра по мере продвижения в гору. Эта закономерность отмечалось нами в предыдущих работах и связана с ухудшением условий для роста деревьев в высоту с увеличением высотного положения древостоев относительно уровня моря [34, 35].

Близкие результаты получены при оценке влияния формы роста деревьев на характер зависимостей фитомассы кроны от диаметра стволов (рис. 12).

Анализ представленных на рисунке 12 материалов позволяет отметить, что теснота зависимости фитомассы кроны деревьев от их диаметра несколько ниже, чем фитомассы стволов от этого показателя. Коэффициенты детерминации исследуемых зависимостей варьируют в диапазоне от 0,719 до 0,930. Одностороннего, существенного влияния жизненной формы деревьев на характер исследуемых зависимостей не обнаруживается.

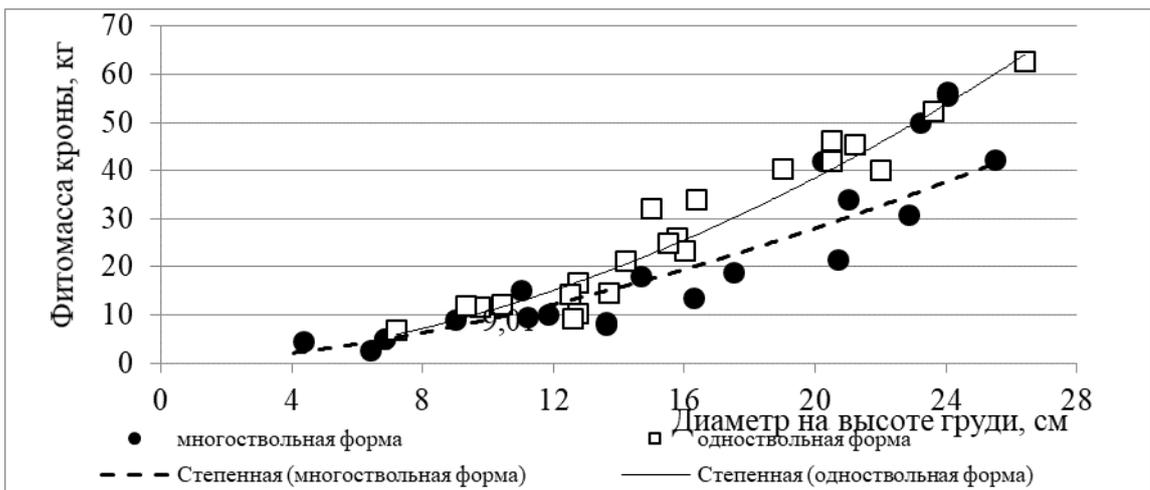
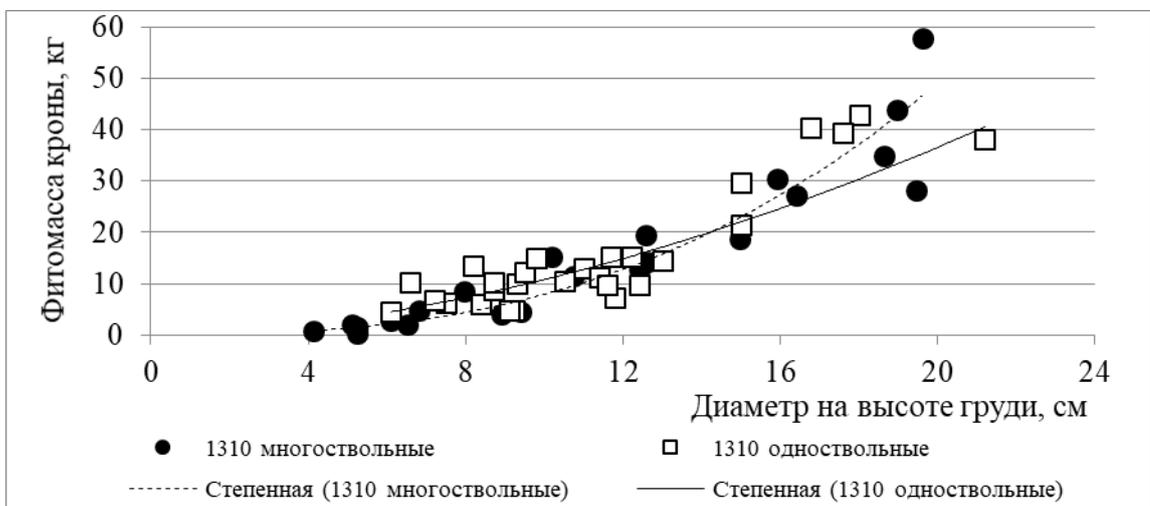
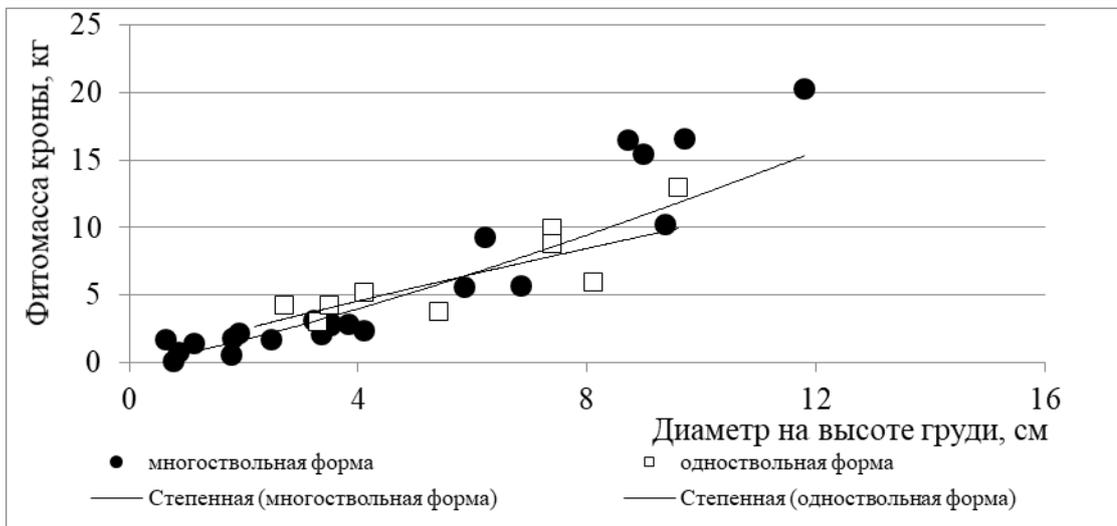


Рисунок 12 – Зависимость фитомассы крон деревьев ели одноствольной и многоствольной форм роста от их диаметра на высоте груди в разрезе высотных уровней: а – первый высотный уровень, б – третий, в – пятый

Поэтому для дальнейших расчетов данные по фитомассе крон одноствольных и многоствольных деревьев в разрезе высотных уровней были объединены в общий массив, как и в случае с фитомассой стволов. По всей совокупности модельных деревьев высотных уровней рассчитаны уравнения зависимости фитомассы крон (P_k) ели от их диаметров (D) вида: $P_k = a D^b$. Характеристики полученных уравнений приведены в табл. 13.

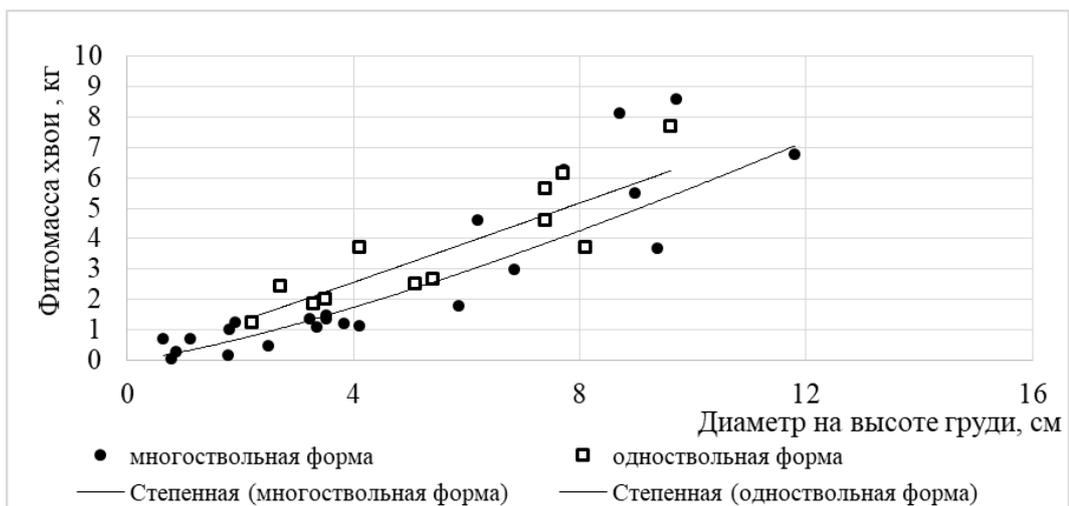
Таблица 13 – Характеристика уравнений зависимости фитомассы крон деревьев ели от их диаметра

Высотные уровни	Значения коэффициентов		R^2
	a	b	
Первый			0,867
Третий			0,855
Пятый			0,851

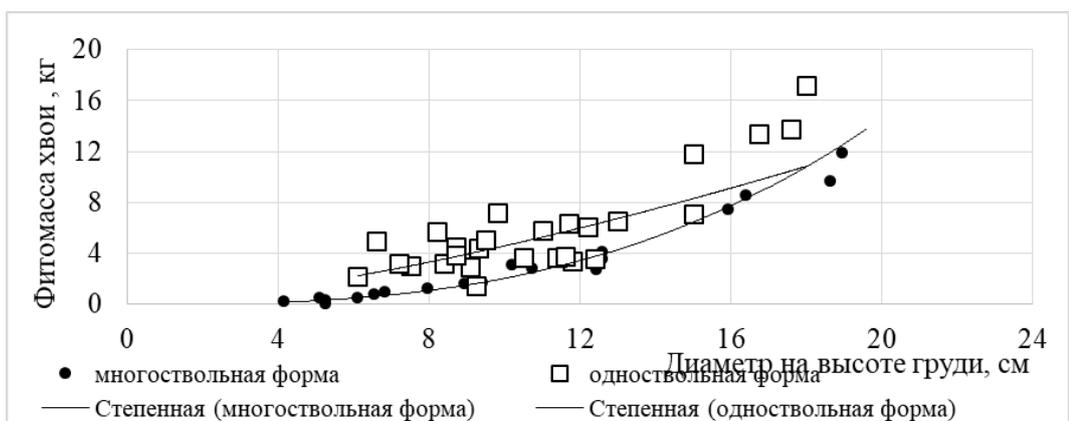
Представленные в табл. 13 уравнения адекватны и корректны экспериментальным материалам. Этот вывод подтверждается высокими значениями коэффициента детерминации при уравнениях. В целом разработанные уравнения, безусловно, обеспечат высокую точность при оценке массы крон деревьев ели одноствольной и многоствольной форм на основе их таксационных диаметров.

Результаты исследований связей фитомассы хвои с диаметром стволов существенно отличаются от рассмотренных выше. Во-первых, изменчивость фитомассы хвои объясняется диаметром стволов в значительно меньшей степени, чем изменчивость массы стволов и крон. В данном случае значения коэффициента детерминации исследуемых зависимостей варьируют в диапазоне от 0,548 до 0,884. Во-вторых, обнаруживается влияние формы роста деревьев на характер связи между массой хвои и диаметром стволов. Наглядное представление об этом можно получить из данных, приведенных на рис. 13.

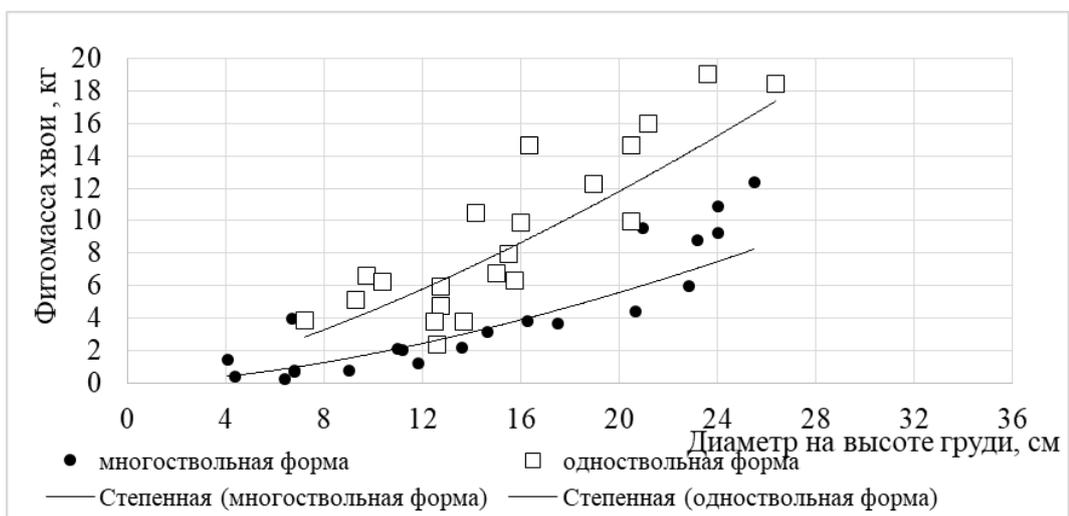
Анализ приведенных на этом рисунке материалов позволяют отметить следующее. Экспериментальные данные по одноствольным деревьям, а также аппроксимирующие их линии, на графиках всех трех высотных уровней располагаются заметно выше, чем аналогичные данные по многоствольным деревьям. Таким образом, при одинаковой толщине стволов фитомасса хвои на одноствольных деревьях выше, чем на многоствольных. Причем такое положение наблюдается на всех высотных уровнях, что позволяет полученный результат оценивать как устойчивую природную закономерность, которую необходимо учитывать при оценке массы хвои в древостоях, сложенных одноствольными и многоствольными деревьями.



а



б



в

Рисунок 13 – Зависимость фитомассы хвои деревьев ели одноствольной и многоствольной форм роста от их диаметра на высоте груди в разрезе высотных уровней: а – первый высотный уровень, б – третий, в – пятый

Такой результат получен нами впервые, и он вполне логичен и объясним. Как отмечалось выше, многоствольники произрастают густыми куртинами. Известно, что

густота является существенным фактором, определяющим развитие ассимиляционного аппарата. Высокая густота ухудшает освещенность и минеральное питание деревьев и негативно влияет на рост хвои. В целом приведенные материалы свидетельствуют в пользу дифференцированной оценки фитомассы хвои по одноствольным и многоствольным деревьям. В этой связи, нами разработаны уравнения зависимости фитомассы хвои (P_x) деревьев от их диаметров (D) в разрезе высотных уровней и жизненных форм деревьев. Характеристики их приведены в табл. 14.

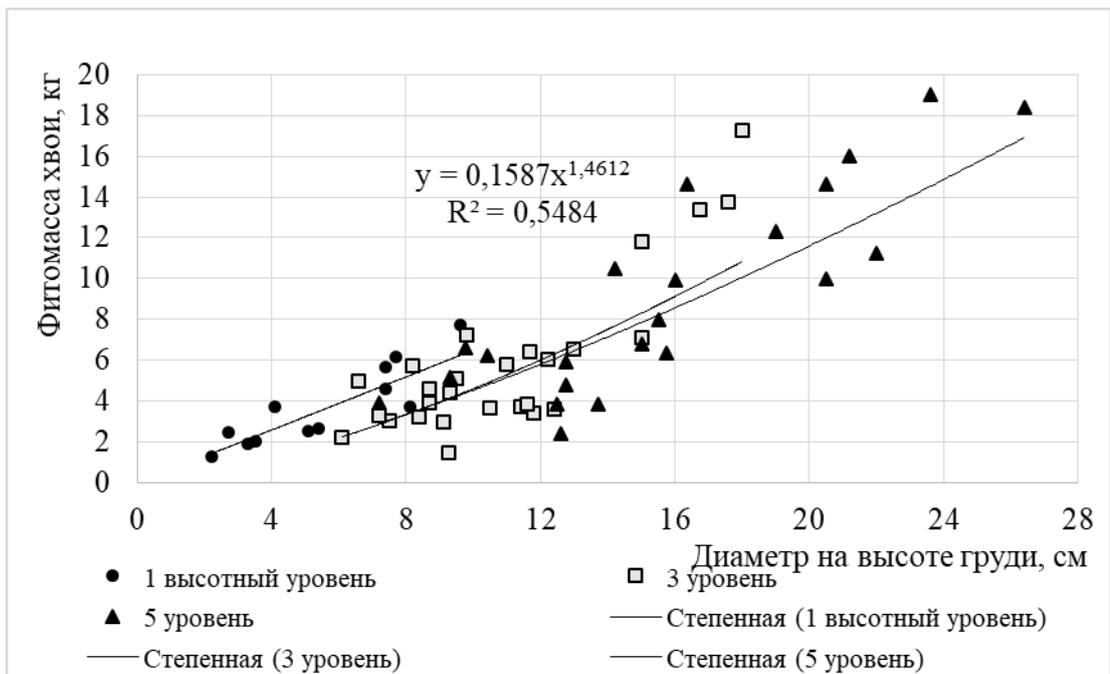
Таблица 14 – Характеристика уравнений зависимости фитомассы хвои деревьев ели от их диаметра вида: $P_x = a D^b$

Высотные уровни	Форма роста деревьев	Параметры уравнений		R^2
		a	b	
Первый	одноствольная			
	многоствольная			
Третий	одноствольная			
	многоствольная			
Пятый	одноствольная			
	многоствольная			

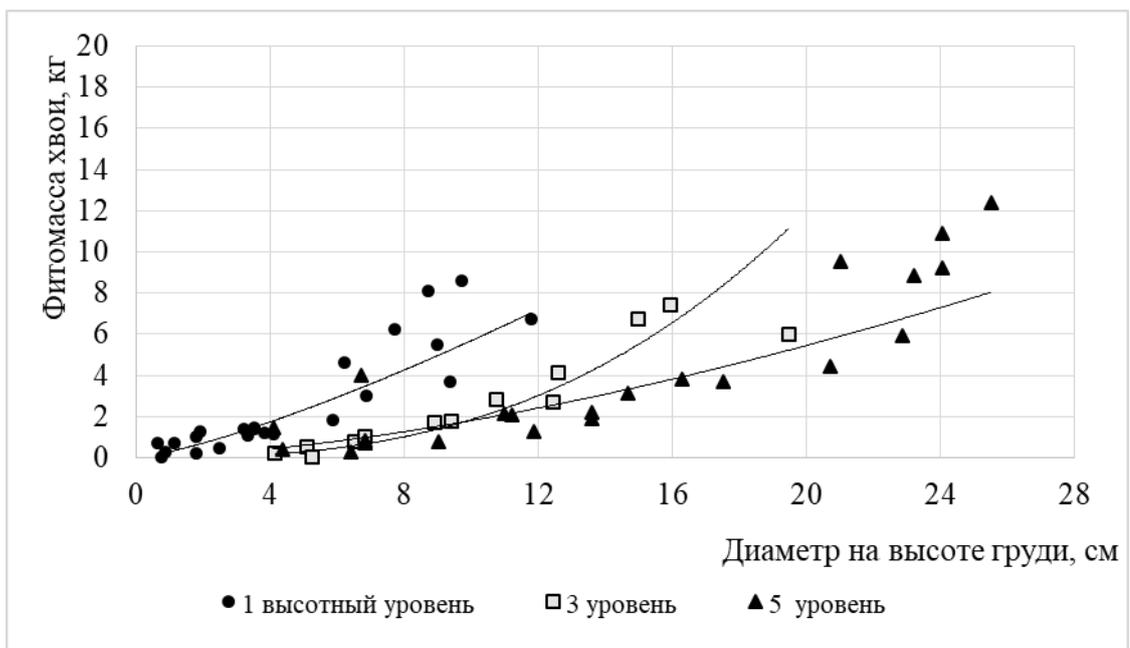
Из данных табл. 14 видно, что коэффициенты детерминации разработанных уравнений достаточно высокие, изменяются в диапазоне от 0,736 до 0,833. В целом, можно отметить, что разработанные уравнения адекватны экспериментальным данным и корректно передают характер исследуемых зависимостей. С использованием соответствующих уравнений можно рассчитать фитомассу хвои одноствольных и многоствольных деревьев ели по их таксационным диаметрам.

На рис. 14 представлены зависимости фитомассы хвои деревьев ели одноствольной и многоствольной форм от их диаметра на высоте груди на разных высотных уровнях исследуемого профиля.

На графиках расположение линий регрессий свидетельствует, что у деревьев (и одноствольной и многоствольной форм) одинаковой толщины фитомасса хвои увеличивается с повышением высоты над уровнем моря. Данное обстоятельство объясняется следующим. Как отмечалось выше, по мере продвижения от нижних высотных уровней к верхним заметно уменьшается возраст деревьев, а также их высота при одинаковом диаметре. В специальной литературе отмечается, что фитомасса деревьев одинакового диаметра тем больше, чем меньше возраст деревьев.



а



б

Рисунок 14 – Зависимость фитомассы хвой деревьев ели разных форм роста от диаметра на высоте груди в разрезе высотных уровней: а – одноствольная форма, б – многоствольная форма

Такое положение объясняется возрастным сдвигом ранга деревьев одних и тех же размеров [63, 41]. В древостоях любого возраста маломерные ступени толщины, как правило, представлены угнетенными деревьями, которые характеризуются слаборазвитыми кронами и, соответственно, малой массой хвой. Ступени толщины, являющиеся в древостоях старшего возраста маломерными, в более молодых древостоях

могут быть средними или даже крупномерными. Таким образом, полученные нами результаты не противоречат литературным данным.

С использованием разработанных уравнений и рядов распределения деревьев по диаметру по состоянию в 2004 и 2024 годах для каждого высотного уровня исследуемого профиля определены запасы фитомассы ели по фракциям (ствол в коре, крона в целом и хвоя). Причем, при определении запасов хвои вначале этот показатель определялся отдельно для одноствольных и многоствольных деревьев, затем полученные результаты складывались. Запас фитомассы ветвей в каждом случае устанавливался как разность между запасами кроны и хвои. Вычисленные значения запасов фракций надземной фитомассы исследуемых еловых древостоев в абсолютно сухом состоянии представлены в табл. 15.

Данные этой таблицы свидетельствуют, что общая надземная фитомасса и масса ее отдельных фракций (стволов в коре, кроны в целом, ветвей и хвои) существенно варьируют по высотным уровням исследуемого профиля. По данным двух учетов (2004 и 2024 годов) общая надземная фитомасса в абсолютно сухом состоянии на разных уровнях составляет от 1109,1 до 81612,0 кг, масса стволов – от 407,0 до 51312,6 кг, масса кроны в целом – от 702,4 до 39321,0 кг и массы хвои – от 335,2 до 10148,6 кг.

Общая надземная фитомасса еловых древостоев на исследуемом профиле существенно увеличивается по мере снижения высоты над уровнем моря. Она на пятом высотном уровне в 61,2 раза больше, чем на первом по данным учета в 2004 году и в 27,4 раза – по данным учета в 2024 году.

Данный результат вполне логичен: при переходе от первого уровня к пятому, во-первых, увеличиваются размеры деревьев, а во-вторых – существенно возрастает густота ельников. По приведенным материалам можно сделать заключение, что за анализируемый период (с 2002 по 2024 годы) надземная фитомасса ельников в редирах (первый уровень) и редколесьях (третий уровень) увеличилась более высокими темпами, чем в сомкнутом лесу (пятый уровень). Так, надземная фитомасса древостоев за период с 2002 по 2024 годы на первом уровне возросла 2,7 раза, на третьем – 1,9 раза, а на пятом – только 1,2 раза. Такое положение можно объяснить, с одной стороны продолжающимся заселением древесной растительностью относительно открытых пространств экотона, а с другой более низким растительностью относительно открытых пространств экотона, а с другой более низким возрастом древостоев на вышележащих уровнях. Известно, что интенсивность продуцирования фитомассы в молодых древостоях значительно выше, чем в старовозрастных [64].

По мнению многих исследователей закономерности формирования, роста и развития древостоев достаточно полно и объективно отображают процентные соотношения фракций надземной фитомассы [66–68, 64]. В этой связи несомненный интерес представляет оценка этих соотношений в зависимости от лесорастительных условий и таксационных характеристик древостоев.

В табл. 15 в знаменателе представлены данные об удельном весе тех или иных фракций в общей надземной фитомассе. Их анализ позволяет отметить, что при прочих равных условиях процентные соотношения фракций надземной фитомассы существенно различаются по высотным уровням. С повышением высоты над уровнем моря закономерно снижается доля стволовой древесины и, соответственно, повышается доля крон в целом и хвои в том числе. Так, по данным учета 2004 года по мере продвижения от пятого уровня к первому удельный вес массы стволов уменьшается с 61,1 до 36,7%, удельный вес массы крон увеличивается с 38,9 до 63,3%, а удельный вес массы хвои – с 9,8 до 30,2%. Примерно такие же соотношения фракций надземной фитомассы древостоев наблюдаются и в 2024 учетном году. При сопоставлении наших данных с литературными [69] при примерно одинаковом возрасте и классе бонитета выявляется, что удельный вес хвои (крон) в надземной фитомассе ельников в высокогорьях заметно выше, чем в равнинных условиях.

В целом, характер изменения соотношений фракций надземной фитомассы с изменением высотного положения древостоев логично вписывается в известные в специальной литературе положения. С повышением высоты над уровнем моря ухудшаются лесорастительные условия и снижается возраст древостоев. Повышение доли массы хвои, а, следовательно, и общей массы крон с ухудшением условий местопроизрастания и уменьшение возраста деревьев является доказанным фактом [64]. Таким образом, нами установлено принципиальное сходство полученных в ЭВГДР данных по формированию надземной фитомассы древостоев с известными в лесоводственно-таксационной литературе положениями при некотором количественном расхождении результатов.

В нашей стране в ранг критериев устойчивого управления лесами возводится эксплуатация лесного покрова в качестве резервуара для стока углерода [70]. В специальной литературе отмечается, что углерод депонирующий потенциал лесных экосистем нашей страны, может принести ей большие выгоды экологического и экономического характера [71].

Представленные в табл. 15 материалы позволяют определить запасы депонированного деревьями ели углерода на единице площади в зависимости от высоты произрастания ельников относительно уровня. В настоящее время запасы углерода принято оценивать на основе абсолютно сухой фитомассы растений с использованием

коэффициентов [72]. Причем, большинство исследователей для определения содержания углерода в абсолютно сухой массе стволов корней и ветвей (без листьев, хвои) применяют коэффициент 0,5 [70]. Для перехода от массы зеленых органов (листьев, хвои) к запасам углерода некоторые исследователи [73] также предлагают коэффициент 0,5, а другие [74] – 0,45. В целом, по данным многих исследователей содержание углерода в различных фракциях фитомассы составляет от 0,45 до 0,53 [75, 76].

В нашей работе для определения запасов депонированного в надземной фитомассе ельников углерода использовались коэффициенты: 0,5 – для абсолютно сухой массы стволов и ветвей и 0,45 – для абсолютно сухой массы хвои. Результаты соответствующих расчетов представлены в табл. 16.

Таблица 16 – Запасы депонированного углерода в надземной фитомассе исследуемых ельников

Высотные уровни	Запасы углерода в фитомассе, кг/га					
	стволов и ветвей		хвои		всего	
	2004 г.	2024 г.	2004 г.	2024 г.	г.	2024 г.
Первый						
Третий						
Пятый						

Следует отметить, что вклад лесов в компенсацию выбросов углекислого газа в атмосферу признана сегодня на международном уровне [77–79]. Углерод депонирующая способность фитоценозов в условиях современных изменений климата становится важной экосистемной услугой по снижению их негативных последствий [71, 80]. Полученные нами материалы могут быть использованы для оценки и прогноза биосферной роли (в частности, углеродного бюджета) лесов, формирующихся на ранее безлесных территориях высокогорий в результате современных изменений климата.

1.2.4 Количественные и качественные показатели шишек и семян ели сибирской в высокогорьях Южного Урала

В настоящее время многие исследователи отмечают повышение в высокогорьях высотного положения верхней границы леса [81, 82, 35]. Состав и структура насаждений, формирующихся на ранее безлесных территориях горной тундры, тесно связаны с начальными этапами возобновления древесных пород. Успешность лесовозобновления во многом определяется семенной продуктивностью древостоев, которая зависит от многих факторов среды и таксационных показателей насаждений [83–85, 43, 86].

Для оценки климатогенной динамики древесной растительности и моделирования процессов ее формирования и роста в высокогорьях, необходимы целенаправленные исследования урожайности, количественных и качественных характеристик шишек и семян в произрастающих в этих условиях насаждениях. В настоящее время вопросы семеношения и семенной продуктивности древостоев на верхней границе леса слабо изучены. В тоже время они представляют собой как научный, так и практический интерес.

Семенная продуктивность хвойных древостоев зависит от таксационных показателей и условий среды, определяющих количественные и качественные показатели шишек и семян. Известно, что в районе исследований периодичность интенсивного плодоношения у деревьев ели сибирской, составляет 3-6 лет. По данным лесных организаций предшествующими урожайными годами на Южном Урале являлись 2017, 2011, 2007 и 2003 годы. Даже в урожайные годы количество шишек у отдельно взятых деревьев и древостоев может резко различаться [87]. Эти различия в том числе связаны с размерами деревьев, их возрастом, густотой и сомкнутостью насаждений.

На исследуемых высотных профилях по мере продвижения в гору размерные показатели деревьев и их возраст, густота и сомкнутость полога древостоев существенно уменьшаются (см. п. 1.2.2). Поэтому возникает необходимость исследования количественных и качественных показателей шишек и семян, а также семенной продуктивности древостоев, отдельно по высотным уровням профилей.

Как отмечалось выше осенью урожайного 2023 года нами на данных профилях проведен сбор шишек с учетных деревьев: на трех высотных уровнях первого профиля с 36 деревьев в количестве 1080 шт. и на двух высотных уровнях второго профиля – с 24 деревьев в количестве 720 шт. (табл. 5).

Параметры шишек и семян устанавливались отдельно для каждого профиля, а в пределах профиля – для высотного уровня. В лабораторных условиях у всех собранных шишек (на высотных уровнях профилей) штангенциркулем были измерены длина и диаметр с точностью 0,1 мм. Взвешивание шишек проводилось на электронных весах с точностью 0,01 гр. Шишки высушивались и после их полного раскрытия из них извлекались семена. Затем семена обескрыливались, определялись их общее количество и масса в шишке.

Оценка качества семян, процент всхожести и интенсивность прорастания их определялись путем проращивания на столе Якобсена [88]. С этой целью по каждому высотному уровню исследуемых профилей отбирались четыре образца по сто семян. Образцы семян помещались на смоченную фильтр-бумагу для проращивания на столе Якобсена.

Количество проросших семян подсчитывалось через определенное количество дней (на 7, 10, 15 и 20 день). Началом проращивания считался день, следующий за днем выкладки. Всхожесть семян в процентах определялась как средний результат по четырем образцам на 20 день, а энергия прорастания – на 10 день. После 20 дня исследований выявлялись причины не прорастания семян путем их взрезывания.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы и обобщения. В ельниках исследуемого экотона верхней границы леса формируются некрупные по длине (средняя длина колеблется от 44,4 до 52,2 см), диаметру (от 24,3 до 29,1 мм) и весу (от 2,52 до 3,59 г.) шишки. Линейные размеры и вес шишек закономерно уменьшаются с увеличением высоты над уровнем моря. Уровень изменчивости диаметра шишек изменяется от низкой до средней, веса шишек – от повышенной до очень высокой, а длины шишек – на всех объектах средний. Четкой зависимости характера варьирования линейных размеров и веса шишек от высоты над уровнем моря нет. На юго-западном склоне экотона складываются более благоприятные условия для развития шишек и семеношения, чем на северном: исследованные параметры шишек на первом склоне существенно выше, чем на втором.

Содержание семян в шишках заметно уменьшается с повышением высоты над уровнем моря. Количество семян в шишке на первом высотном уровне относительно этого показателя на третьем составляет на юго-западном склоне 88,7%, а на северном – всего 58,7%. Средний вес 1000 семян ели сибирской в исследуемом экотоне (от 1,5 до 3,5 г.) заметно меньше, чем в ельниках, произрастающих в равнинных условиях бореальной зоны. При прочих равных условиях этот показатель на юго-западном склоне выше, чем на северном, а в пределах склонов он закономерно увеличивается с уменьшением высоты над уровнем моря.

Всхожесть семян ели сибирской в экотоне верхней границы леса существенно возрастает со снижением высоты над уровнем моря: на юго-западном склоне Ирмеле от 15 до 21%, а на северном – от 3 до 39%. По посевным качествам большая часть семян относится к категории некондиционных. Низкая всхожесть семян ели на исследуемых объектах в основном обусловлена высокой долей пустых семян.

Между количеством семян с одной стороны и длиной, диаметром и весом шишек, с другой, наблюдаются достаточно устойчивые связи, корректно описываемые полиномиальным уравнением. Однако, значения коэффициента детерминации уравнений (изменяющиеся по высотным уровням в диапазоне от 0,303 до 0,652) свидетельствуют, что отдельные параметры шишек (длина, диаметр и вес) не могут в достаточной мере объяснить изменчивость количества семян в шишке.

Варьирование количественных и качественных показателей шишек и семян на исследуемых объектах связано с особенностями почвенно-грунтовых условий, поступления тепла и осадков, температурных колебаний на склонах разных экспозиций, а пределах их – на разных высотных отметках. Наихудшие условия для формирования шишек и семян складываются на верхнем уровне склона северной экспозиции.

В целом, на основе приведенных исследований можно сделать заключение, что в экотоне верхней границы леса участки леса, различающиеся высотой над уровнем моря на 35-50 м и более, по условиям формирования шишек и семян принадлежат к качественно разнородным совокупностям.

Полученные в ходе данного исследования материалы являются отправными для оценки семенной продуктивности древостоев, которую планируется оценить в ходе последующих исследований.

2 Пути адаптации лесного хозяйства к изменению климата

2.1 Снижение климатических рисков путем совершенствования лесоводственных мероприятий

Анализ климатических изменений вызывает необходимость разработки адекватных мер по минимизации негативных последствий аридизации климата. Сложившаяся ситуация требует пересмотра или уточнения нормативно-правовых документов по ведению лесного хозяйства на основе объективных данных о состоянии лесного фонда, его динамике и рисках, возникающих при непринятии новых управленческих решений.

Поскольку изменение климата в различных регионах проявляется по-разному, нами проводились исследования как в условиях северной подзоны тайги и лесотундры, так и в степной зоне. Широкий охват лесорастительных условий позволил получить региональные данные и в дальнейшем использовать их для уточнения региональных нормативно-правовых документов.

Особое внимание было уделено вопросам совершенствования рубок спелых и перестойных насаждений. На основе исследований лесоводственной эффективности чересполосных постепенных рубок в лесном фонде Удмуртской Республике экспериментально доказано, что указанные рубки позволяют переформировать производные березовые насаждения в коренные хвойные, не прибегая к искусственному лесовосстановлению [89, 90, 91, 92].

Замена сплошнолесосечных рубок выборочными не только решает многие экологические вопросы, но и позволяет сократить оборот рубки и существенно повысить продуктивность лесов. При этом переход на выборочную систему рубок основывается на наличии подроста хозяйственно-ценных пород предварительной генерации. Выполненные исследования показали, что подростом предварительной генерации в значительной степени обеспечены спелые и перестойные насаждения в различных регионах нашей страны [93–95]. При этом на обеспеченность подростом существенное влияние оказывают таксационные показатели материнских древостоев и давность лесных пожаров [96, 97].

Наличие под пологом назначаемых в рубку древостоев достаточного количества жизнеспособного подроста предварительной генерации позволило предложить и другие виды выборочных рубок [98, 99]. Кроме того, были разработаны и предложены производству предложения по совершенствованию лесного хозяйства в условиях меняющегося климата [100–105].

Известно, что интегральным показателем экологической роли лесных насаждений является прирост древесины. Именно прирост древесины свидетельствует об объемах

задепонированного в ней углерода, то есть поглощения углекислого газа из атмосферного воздуха и выделение кислорода в процессе фотосинтеза.

Повышая производительность лесных насаждений, мы можем оказывать региональное воздействие на содержание парниковых газов в атмосферном воздухе. При этом следует учитывать, что задепонированный в древесине углерод сохраняется в ней на неопределенно длительный срок. Последнее объясняется длительностью жизни многих древесных растений и последующим использованием продукции, полученной из древесины.

Учитывая важную роль депонирования углерода в древесине нами проанализирована возможность увеличения данного показателя при ведении лесного хозяйства. Общеизвестно, что прирост древесины зависит от многих факторов. В частности, от природно-климатических и лесорастительных условий, а также от биологии древесной породы. В одинаковых лесорастительных условиях прирост насаждений, представленных древостоями одинакового состава, будет в значительной степени определяться их возрастом. В молодом возрасте прирост будет постепенно возрастать, затем при достижении спелости он стабилизируется, а в перестойных насаждениях может быть даже отрицательным, поскольку наблюдается отпад деревьев.

Указанная закономерность подтверждает актуальность и необходимость своевременного назначения рубки древостоев, то есть установления возраста спелости. К сожалению, последний устанавливается без учета наиболее востребованных сортиментов. Так, на арендных участках крупных целлюлозно-бумажных комбинатов, перерабатывающих хвойные балансы, в насаждениях ели I-III классов бонитета установлен возраст спелости 81–100 лет, а в насаждениях более низких классов бонитета возраст спелости установлен в 101–120 лет. При этом естественно, что возраст рубки значительно превышает возраст установленной количественной спелости, поскольку лесопользователь вынужден осваивать лесосечный фонд за значительный временной период с учетом установленной расчетной лесосеки.

Выполненные нами в условиях Западно-Уральского таежного лесного района в границах Пермского края исследования показали, что по материалам лесоустройства выход наиболее востребованного сортимента хвойного пиловочника в еловых насаждениях прекращает увеличиваться, начиная с 61 года (рис. 15). В насаждениях IV и ниже классов бонитета возраст резкого сокращения выхода балансов начинается с 81 года (рис. 16).

Материалы рисунков 15 и 16 свидетельствуют, что согласно материалам лесоустройства, в арендных участках Соликамского ЦБК наиболее оптимальным является возраст технической спелости, установленный по выходу наиболее востребованного сортимента,

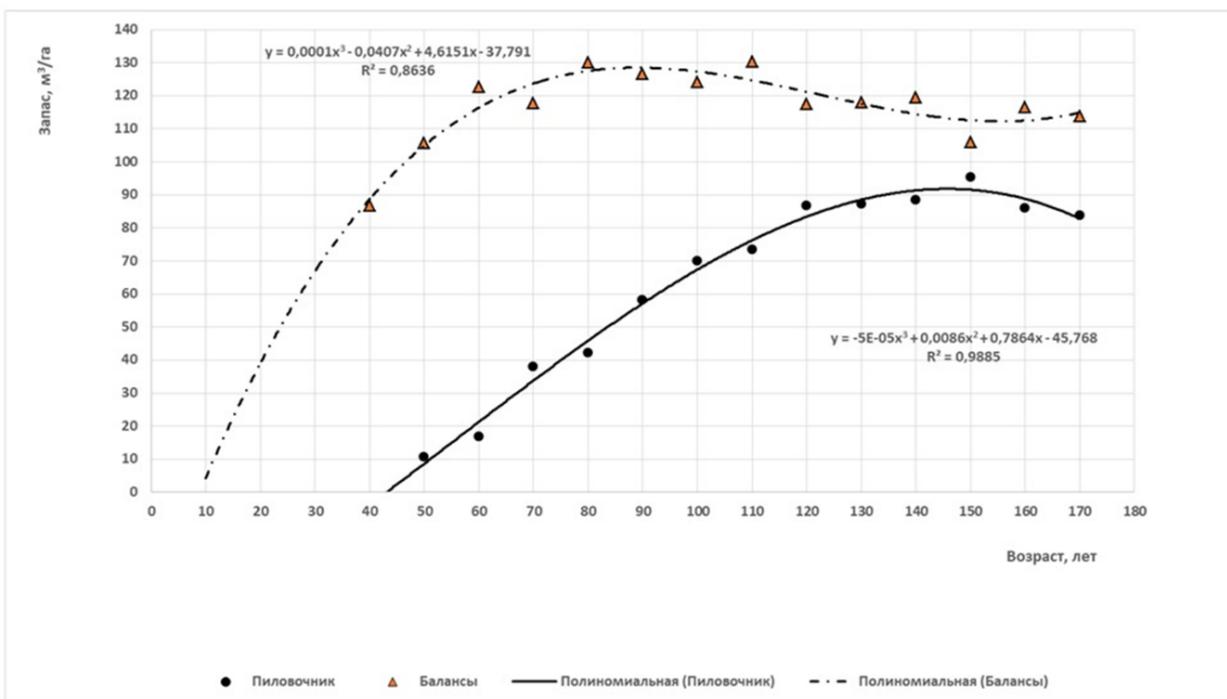


Рисунок 15 – Возрастная динамика основных еловых сортиментов в ельниках естественного происхождения (класс бонитета I-III) – материалы лесоустройства

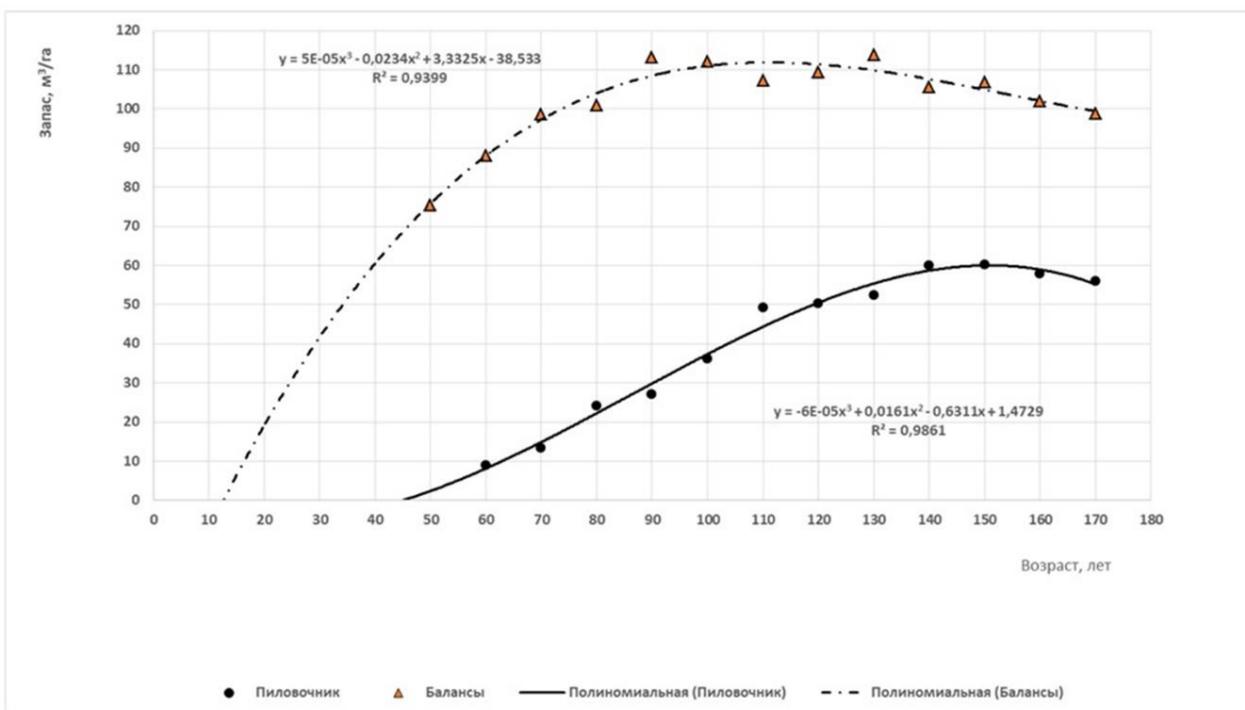


Рисунок 16 – Возрастная динамика основных еловых сортиментов в ельниках естественного происхождения (класс бонитета IV и ниже) – материалы лесоустройства

то есть 61–80 лет для насаждений I–III классов бонитета и 81–100 лет для насаждений IV и ниже классов бонитета.

Установленные возраста технической спелости подтверждаются и материалами заложенных нами пробных площадей (рис. 17 и 18).

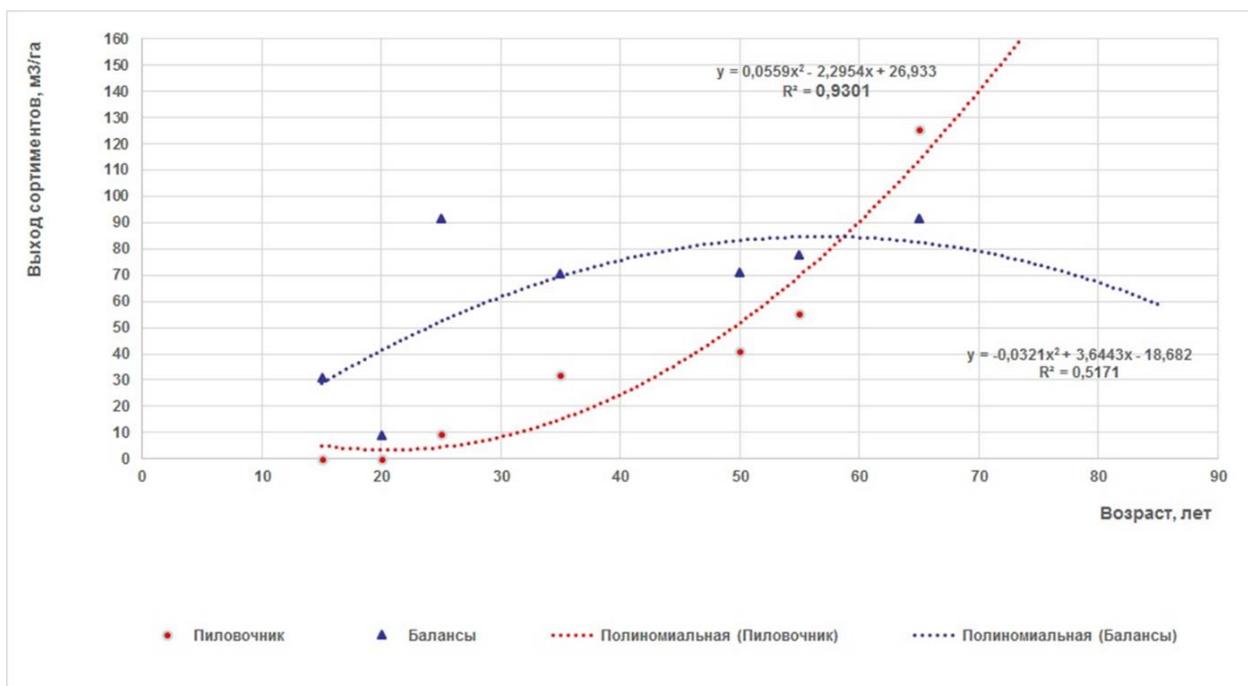


Рисунок 17 – Возрастная динамика основных еловых сортиментов в ельниках естественного происхождения (класс бонитета I-III) – полевые материалы

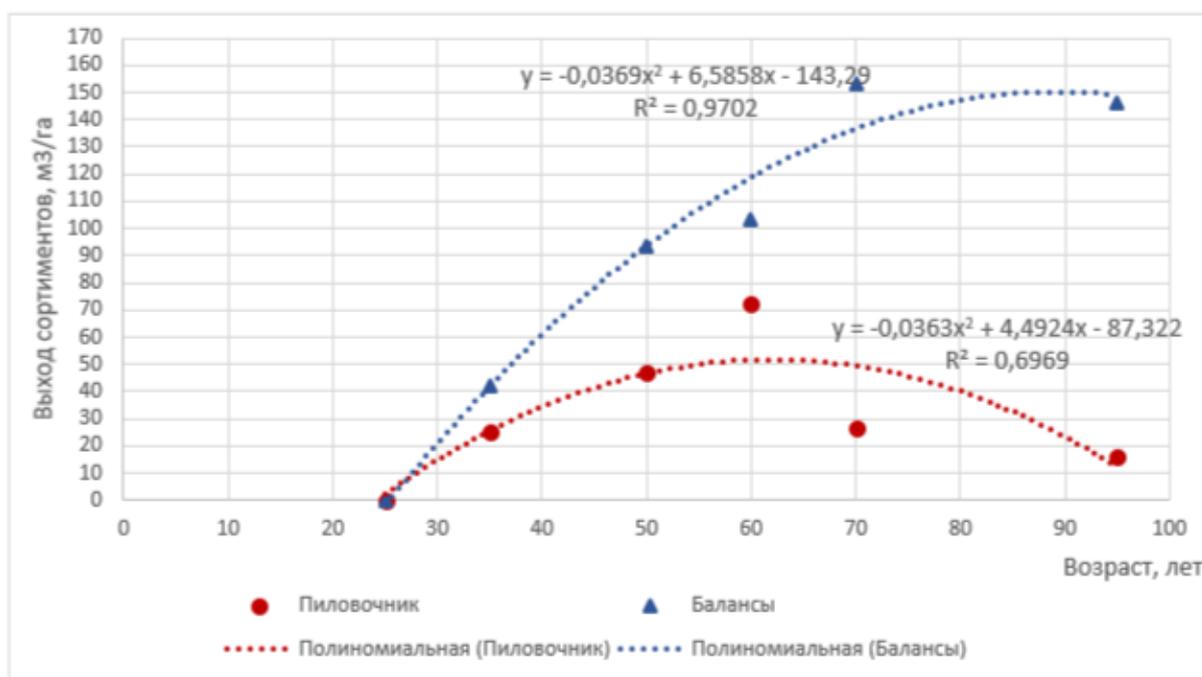


Рисунок 18 – Возрастная динамика основных еловых сортиментов в ельниках естественного происхождения (класс бонитета IV и ниже) – полевые материалы

Снижение возраста рубки в еловых насаждениях арендных участков крупных ЦБК до возраста технической спелости наиболее востребованных сортиментов позволит решить целый ряд экологических и экономических проблем.

Во-первых, снижение возраста рубки 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, поскольку 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 ранее исследованиями [106, 107] 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 преимущественно балансов предотвратит развитие очагов короеда типографа в еловых насаждениях.

В-шестых, увеличение количества продукции, получаемой с единицы площади, за счет уменьшения оборота рубки позволит сократить площадь арендных участков и улучшить логистику доставки сырья к центрам ее переработки. Другими словами, снизится себестоимость конечной продукции переработки хвойных балансов.

Естественно, что снижение возраста рубки путем установления технической спелости по наиболее востребованному сортименту целесообразно только для крупных предприятий с объемом заготавливаемой древесины не менее 500 тыс. м³. Кроме того, следует учитывать изменение в соотношении способов лесовосстановления. Выполненные нами исследования показали, что обеспеченность жизнеспособным подростом еловых насаждений зависит от возраста древостоя и класса бонитета (рис. 19 и 20).

Материалы рисунков 19 и 20 свидетельствуют, что несмотря на различие в продуктивности лесов общие закономерности в обеспеченности подростом хвойных пород являются идентичными. Так, в насаждениях I-III классов бонитета максимальное количество подроста зарегистрировано под пологом 185-летних насаждений, а в насаждениях IV и ниже классов бонитета в 165-летних.

При этом в первом случае густота хвойного жизнеспособного подроста составляет 2,05 тыс. шт./га, а во втором – 2,2 тыс. шт./га. Естественно, что выращивать еловые насаждения до указанного возраста, в целях накопления подроста предварительной генерации, нецелесообразно ни с экономической, ни с экологической точек зрения.

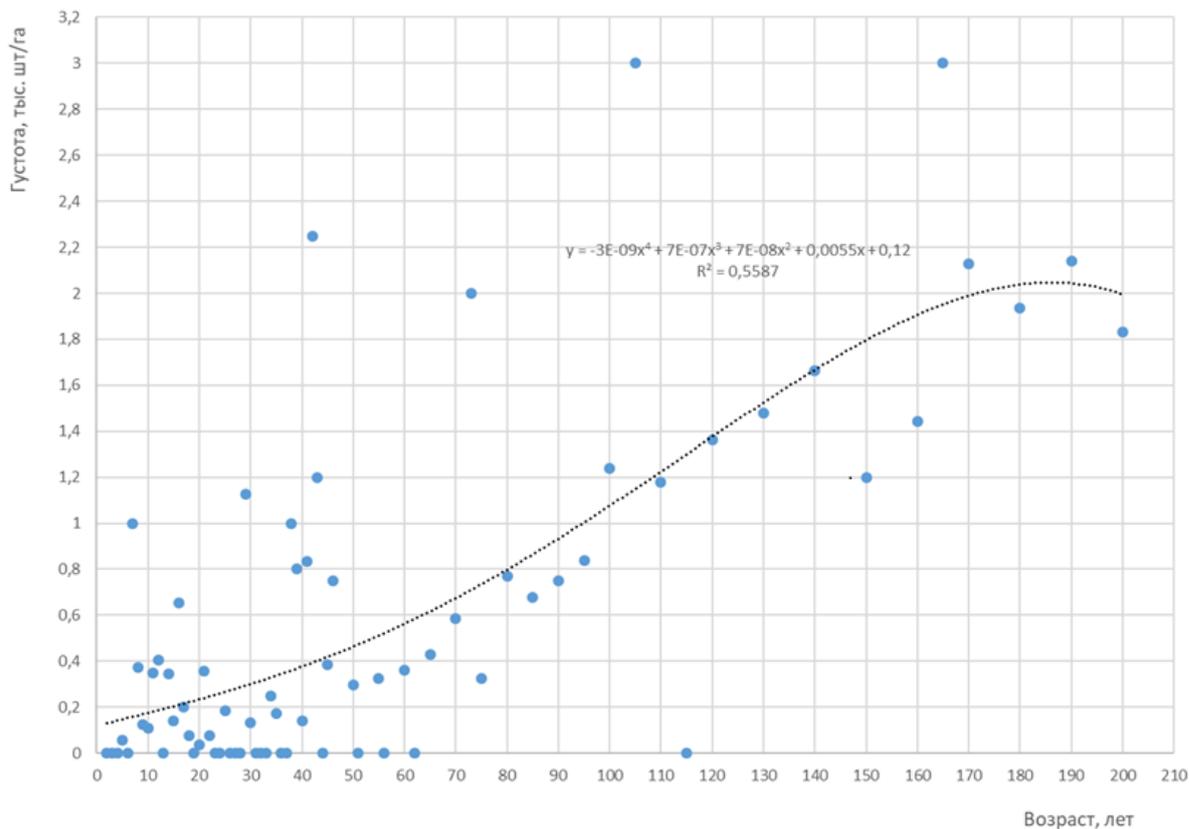


Рисунок 19 – Динамика накопления крупного жизнеспособного подроста в ельниках I–III классов бонитета естественного происхождения – материалы лесоустройства

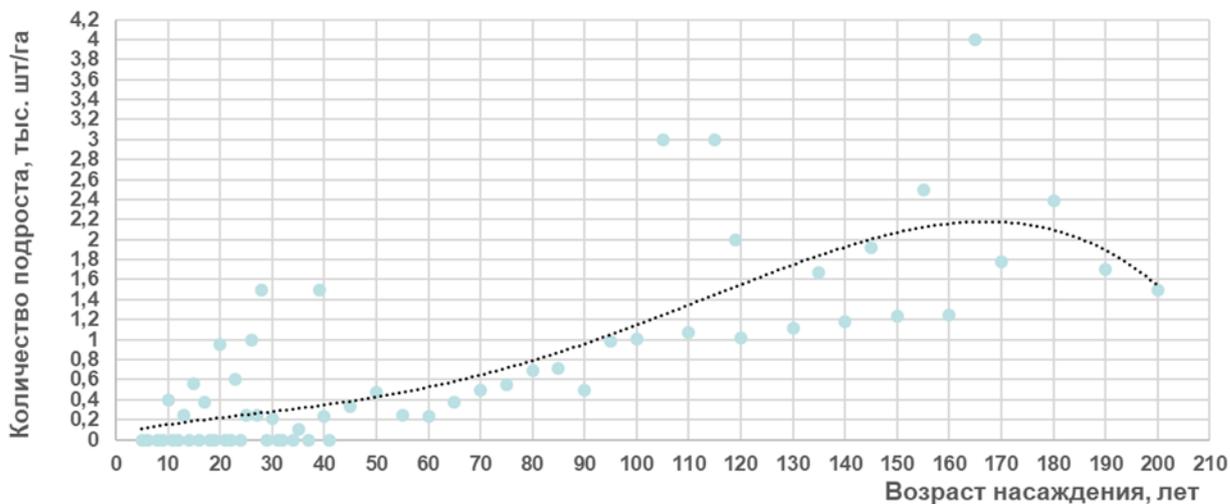


Рисунок 20 – Динамика накопления подроста в еловых насаждениях IV и ниже классов бонитета

Для планирования способа лесовосстановления действующим нормативным документом [108] предусмотрены определенные значения густоты подроста хозяйственно ценных пород. Для еловых насаждений I–III классов бонитета установлены следующие показатели густоты подроста, тыс. шт. /га:

- сохранение подроста – более 1600;

- минерализация почвы – 700–1600;
- комбинированное лесовосстановление – 1100-1500;
- искусственное лесовосстановление – менее 700.

Для еловых насаждений IV и ниже классов бонитета указанные показатели следующие, тыс. шт./га:

- сохранение подроста – более 1400;
- минерализация почвы – 600–1400;
- комбинированное лесовосстановление – 1100–1500;
- искусственное лесовосстановление – менее 600.

Анализ материалов, приведенных на рисунках 19 и 20, свидетельствует, что в еловых насаждениях при ориентации на сохранение подроста рубку следует проводить в насаждениях III и выше классов бонитета в 135 лет, а в насаждениях IV и ниже классов бонитета в 110 лет.

При установлении возраста рубки по технической спелости, рассчитанной на получение балансов, потребуется проводить искусственное лесовосстановление на большинстве вырубок после сплошных лесосечных рубок в еловых насаждениях всех классов бонитета.

Увеличение доли искусственного лесовосстановления позволит, в свою очередь, ускорить получение балансовой древесины, что наглядно прослеживается на материалах рисунка 21, основанных на материалах пробных площадей, заложенных в искусственных еловых насаждениях I–III классов бонитета.

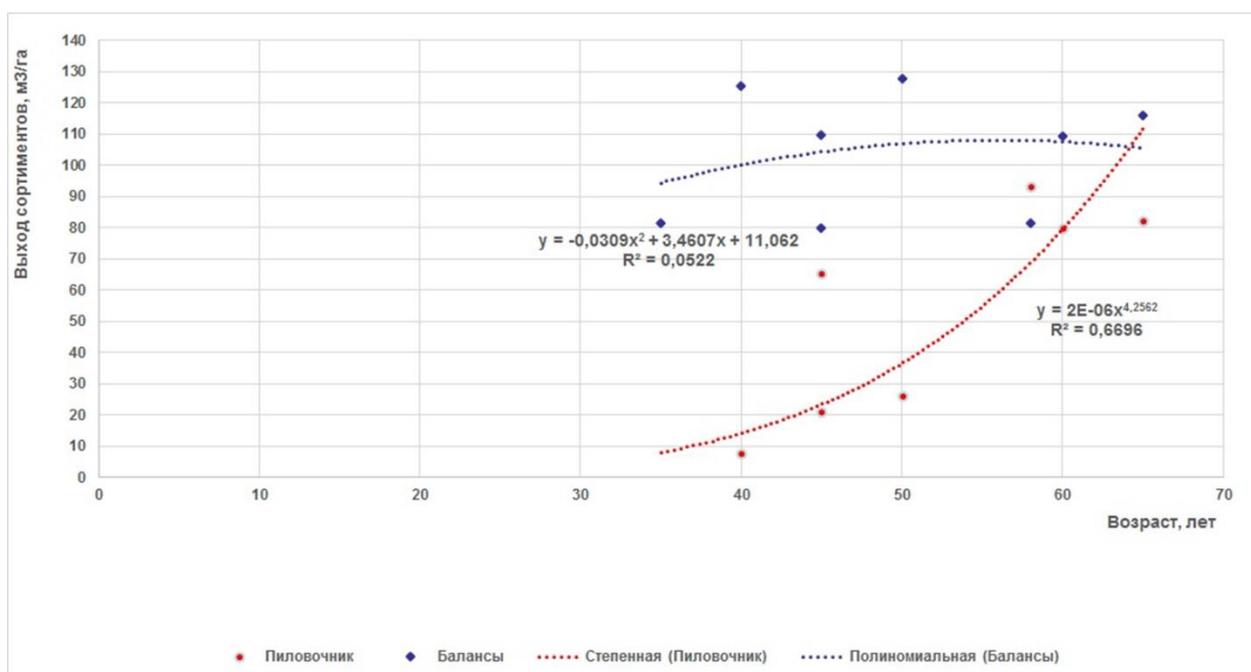


Рисунок 21 – Возрастная динамика основных еловых сортиментов в ельниках искусственного происхождения (класс бонитета I–III) – полевые материалы

Поскольку основой формирования высокопроизводительных устойчивых насаждений является правильно назначенный и качественно выполненный способ лесовосстановления, данному вопросу в проведенных исследованиях было уделено значительное внимание. При этом наши исследования охватывали как вопросы выращивания посадочного материала, так и лесных культур [109–115, 96, 116].

В результате проведенных и опубликованных в указанных работах материалов исследований установлена специфика лесовосстановления в различных регионах нашей страны. В частности, установлено, что в условиях лесотундры и подзоны северной тайги гари зарастают мягколиственными породами, а процесс зарастания гарей хвойными породами растянут во времени и протекает медленно от периферии к центру. Указанное позволяет рекомендовать, для ускорения лесовосстановления гарей, посев семян хвойных пород. Кроме того, рекомендуется ввести изменения в нормативно-технические документы и для Западно-Сибирского района притундровых лесов и редкостойной тайги, а также Западно-Сибирского северо-таежного равнинного лесного районов, добавив в число основных лесных древесных пород березы повислую (*Betula pendula* Roth.) и березу пушистую (*B. pubescens* Ehrh.).

По результатам исследований была подготовлена и успешно защищена диссертационная работа «Эффективность различных способов лесовосстановления в условиях подзоны северной тайги Западной Сибири» [117], а также разработаны и проходят опытно-производственную проверку Рекомендации по лесовосстановлению и лесоразведению на землях лесного фонда в границах Ямало-Ненецкого автономного округа [118].

Поскольку выращивание насаждений целевого состава и назначения невозможно без проведения рубок ухода и санитарно-оздоровительных мероприятий данным вопросам при проведении исследований было уделено повышенное внимание. При этом объектами исследований служили лесные насаждения, испытывающие интенсивное антропогенное воздействие, в частности, рекреационное, а также произрастающие в экстремальных условиях, где изменение климата оказывает наиболее существенное воздействие на лесные насаждения, обуславливая опасность снижения устойчивости или даже их гибели.

Основные результаты исследований по влиянию рекреационных нагрузок на санитарное состояние и устойчивость насаждений различных формаций опубликованы в серии работ [119–124]. В качестве основных предложений производству по повышению устойчивости и рекреационной привлекательности насаждений отмечается необходимость осуществления мониторинга за состоянием насаждений, своевременное проведение

санитарно-оздоровительных мероприятий и введение в состав древостоя и подлеска интродуцентов, прошедших предварительную оценку на уровень их перспективности.

Исследования лесоводственной эффективности рубок ухода производились на территории Республики Казахстан в искусственных насаждениях, созданных в условиях ковыльно-типчаковой степи. В процессе исследований были проанализированы литературные и ведомственные материалы, что позволило в совокупности с материалами собственных исследований предложить производству районирование сосновых лесов Республики Казахстан [125]. Кроме того, различными лесоводственными методами была проанализирована лесоводственная эффективность рубок ухода в искусственных насаждениях различных формаций, что нашло отражение в опубликованных нами работах [126]. Обобщенные результаты выполненных исследований нашли отражение в учебном пособии «Ведение лесного хозяйства в рекреационных лесах» [127], база данных № 2024621752 [128] и № 202 4621909 [129]. По результатам работы выполнена и успешно защищена кандидатская диссертация «Лесоводственная эффективность рубок ухода в искусственных насаждениях санитарно-защитной зоны г. Астаны» [130].

Изменение климатических условий сопровождается усилением антропогенного воздействия на лесные экосистемы. Последнее особенно четко просматривается в районах добычи полезных ископаемых, где нередко формируются нарушенные земли, требующие проведения рекультивационных работ. Выполненные нами исследования [131–136] свидетельствуют о несомненной перспективности лесохозяйственного направления рекультивации и необходимости проведения дальнейших исследований по разработке способов рекультивации, обеспечивающих достижение желаемого результата при минимальных финансовых затратах. Особое внимание при планировании последующих исследований, на наш взгляд, следует уделить установлению эффективности создания карбоновых ферм на нарушенных землях с целью депонирования углерода из углекислого газа, содержащегося в атмосферном воздухе. Учитывая площади нарушенных земель, создание на их основе карбоновых ферм будет существенным вкладом в уменьшение парниковых газов и реализацию климатических проектов.

Одновременно с проведением исследований, направленных на совершенствование лесоводственных мероприятий, нами изучались вопросы установления ресурсов лекарственных и ягодных растений [137, 97, 138, 139]. Поскольку сбор дикоросов является важнейшим направлением повышения продуктивности лесов работы в данном направлении нами будут продолжены. Логично, что изменение климатических условий приведет к изменению нижних ярусов растительности, а следовательно, и к внесению корректив в нормативные документы по установлению их ресурсов.

2.2 Совершенствование охраны лесов от пожаров в условиях меняющегося климата

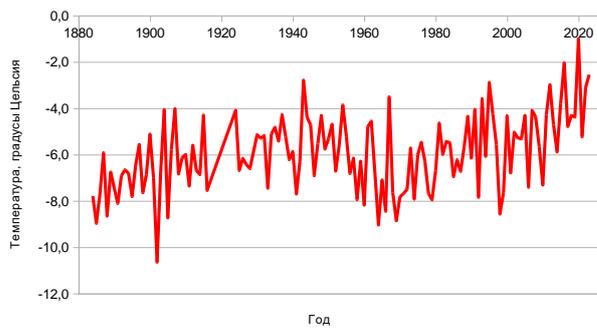
Общеизвестно, что на нашей планете наблюдаются процессы глобального изменения климата, что проявляется в повышении температуры воздуха, уменьшении количества осадков и учащении таких негативных явлений как штормовые ветры. Указанное подтверждается в более раннем наступлении пожароопасного сезона и увеличении показателей фактической горимости лесов [140, 141].

На рис. 22 приведены графики хода среднегодовой температуры и годовой суммы осадков на 4 метеостанциях, расположенных вдоль широтного градиента с севера на юг: г. Салехард (Ямало-Ненецкий автономный округ, Полярный Урал), г. Октябрьский (Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, Западная Сибирь), г. Екатеринбург (Свердловская область, Средний Урал), г. Златоуст (Челябинская область, Южный Урал). Данные получены из архива ВНИИ Гидрометеорологической информации – Мирового центра данных (<http://meteo.ru/>). Временные ряды по количеству осадков доступны с 1967 по 2023 годы. Временные ряды по температуре воздуха на метеостанциях охватывают более длительные периоды наблюдений.

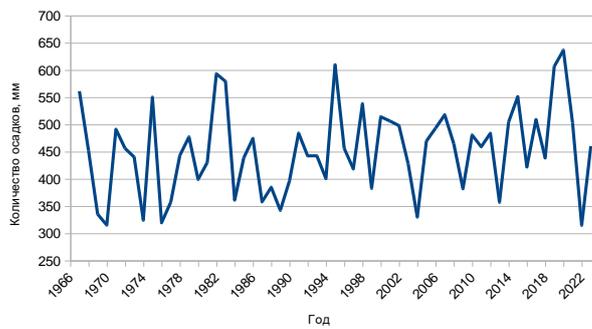
Данные, приведенные на графиках на рис. 22 свидетельствуют о потеплении климата на обширной территории от Южного до Полярного Урала. Наиболее значительное увеличение среднегодовой температуры наблюдается примерно с 1960-х годов до настоящего времени. При этом со второй половины 1960-х годов до настоящего времени не наблюдается тенденции к увеличению или уменьшению количества осадков.

На метеостанциях Екатеринбург и Октябрьский наблюдается тенденция сокращения амплитуды количества осадков в последние годы. Анализ метеоданных по сезонам показал, что примерно с 2010 года начала проявляться тенденция снижения суммы осадков весной и осенью по наблюдениями на метеостанции г. Екатеринбурга. По данным метеостанции г. Октябрьское наблюдается тенденция сокращения общего количества осадков в летний и осенний периоды при их увеличении зимой и летом с начала 2000-х годов до настоящего времени.

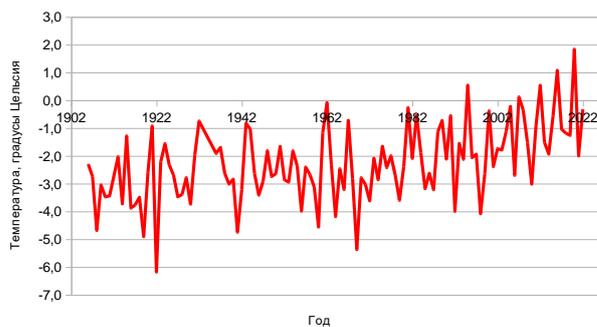
Недостаток осадков при повышении температуры воздуха приводит к ослаблению насаждений, особенно с доминированием древостоев с поверхностной корневой системой. Указанные насаждения интенсивно заселяются хвоелистогрызущими и стволовыми вредителями. При непринятии адекватных мер по совершенствованию лесного хозяйства, заселенные вредителями древостои начинают интенсивно усыхать, что приводит, в свою очередь, к накоплению напочвенных горючих материалов и сухостоя, а, следовательно, к



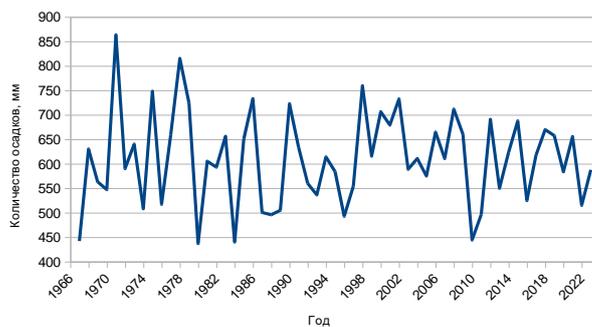
а



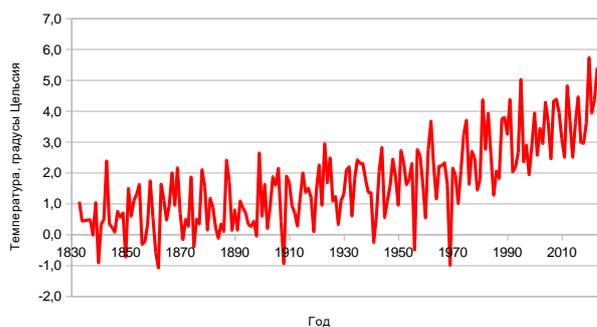
б



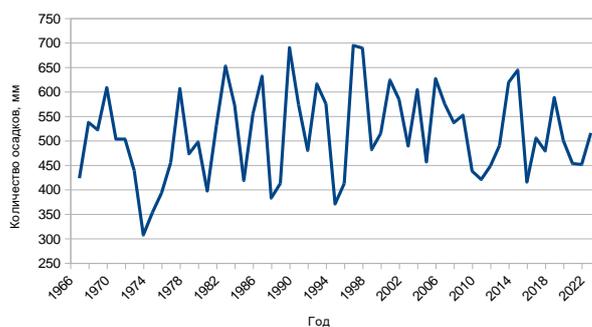
в



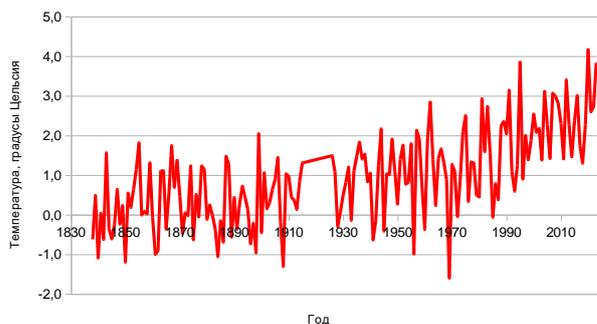
г



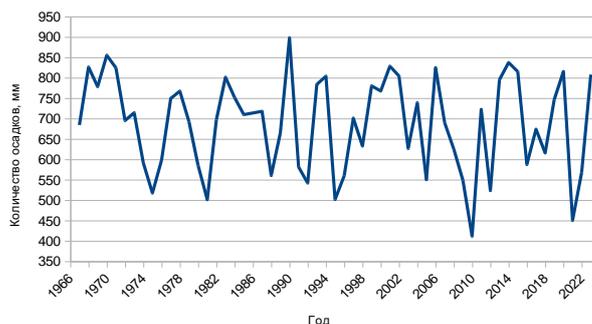
д



е



ж



з

Рисунок 22 – Графики хода среднегодовой температуры и годовой суммы осадков на метеостанциях, расположенных вдоль широтного градиента. Станции расположены с севера на юг (сверху-вниз): Салехард (а, б), Октябрьский (в, г) и Екатеринбург (д, е), Златоуст (ж, з)

резкому повышению потенциальной пожарной опасности. При несвоевременном проведении санитарно-оздоровительных мероприятий и ликвидации захламленности беглые низовые пожары развиваются в устойчивые и приводят к гибели насаждений [142] (рис. 23).



Рисунок 23 – Фотография лесного насаждения, пройденного низовым пожаром

Особую опасность в плане лесных пожаров представляют торфяные пожары. Сокращение количества осадков, наблюдающееся в последние годы, привело в ряде субъектов Российской Федерации к падению уровня грунтовых вод. Так, в Свердловской области уровень грунтовых вод в 2023 г. понизился на 1,5 м. Кроме того, из-за банкротства торфодобывающих предприятий только в Свердловской области было заброшено более 40 тыс. га осушенных торфяников.

При этом осушительные системы на территории указанных торфяников продолжают сбрасывать воду, снижая влажность поверхностных слоев торфа ниже влажности заглубления тления (200%). Последнее привело к тому, что если еще несколько лет назад

торфяные пожары развивались в конце лета – начале осени, как одноочаговые по причине заглублиения тления от костров, разведенных на торфяных почвах, то в последние годы они развиваются из низовых ландшафтных пожаров, проходящих по прошлогоднему травостою в конце апреля - начале мая.

При этом по причине неоднородности массы напочвенных горючих материалов и различной влажности верхних слоев торфа в результате прохода низовых пожаров формируются многоочаговые торфяные пожары, сложность ликвидации которых значительно выше, чем одноочаговых. При этом следует учитывать, что торфяные пожары развиваются вне зависимости от условий погоды, а тление в глубине торфяной залежи протекает при влажности торфа до 500%. Тление торфа может продолжаться круглый год, при этом глубина его прогорания будет до минерального слоя или до уровня грунтовых вод. Примером важности совершенствования тушения торфяных пожаров могут служить данные, приведенные в таблице 17. Из материалов данной таблицы следует, что если еще несколько лет назад их доля не превышала 2,0%, то в 2023 г. она повысилась почти до 10%.

Таблица 17 – Динамика количества торфяных пожаров в Свердловской области за период с 2012 по 2023 гг.

Год	Количество пожаров		
	Общее, шт.	в том числе торфяных	
		шт.	%
2012	1093	3	0,27
2013	421	8	1,90
2014	480	4	0,83
2015	200	0	0
2016	607	9	1,48
2017	304	6	1,97
2018	378	5	1,32
2019	236	2	0,85
2020	423	7	1,65
2021	1185	79	6,67
2022	627	58	9,25
2023	1030	101	9,81
Среднее	582,0	23,5	4,04

Специфика развития очагов торфяных пожаров в зимний период подробно изложена нами в одной из работ [143]. При этом экспериментально установлено, что торфяные пожары в зимний период развиваются не равномерно в форме круга, а по неправильной форме, поскольку скорость продвижения кромки пожара резко увеличивается вдоль корней произрастающих деревьев. Наличие снега не препятствует, а, напротив, способствует повышению интенсивности торфяного пожара.

Горение торфяных пожаров, при несвоевременной их ликвидации, растягивается на многие месяцы и годы и сопровождается значительным экономическим ущербом, а также резким ухудшением экологической обстановки и опасностью для жизни и здоровья населения [144]. Последнее свидетельствует о необходимости оперативного обнаружения торфяных пожаров с использованием современного оборудования и беспилотных летательных аппаратов [145–147].

В процессе исследований разработан оригинальный способ тушения торфяных пожаров, который подробно описан в диссертационной работе «Тушение лесных торфяных пожаров с использованием подтопления очагов тления и подъема уровня грунтовых вод» [148]. Указанный способ вошел в действующие нормативные документы и в 2023-2024 гг. широко применяются при тушении торфяных пожаров.

Для производства предложены также уточнения шкала классов пожарной опасности по условиям погоды для Ханты-Мансийского автономного округа – Югры [149] и способ тушения торфяных пожаров в зимний период [150], база данных о количестве лесных пожаров по субъектам УрФО за период с 2001 по 2022 гг. № 2024622314 [151]. Кроме того, опубликованы два учебных пособия по способам тушения торфяных пожаров [152], а также оборудованию и инструментам для обнаружения и обследования торфяных пожаров [153].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения второго этапа комплексного проекта по исследованию закономерностей роста и развития лесных и лесотундровых экосистем Уральского региона в условиях современного изменения климата и антропогенных воздействий разной природы и силы были запланированы и полностью выполнены следующие из перечня запланированных на весь период выполнения проекта (2023-2027 годы) задачи: 1) изучены закономерности формирования и роста древесной растительности, изменения их структуры и фитомассы древостоев в верхней части горно-лесного пояса Урала на двух мониторинговых полигонах на Полярном (горный массив Рай-Из) и Южном (горный массив Ирмель) в связи с современными изменениями климата, проведена количественная оценка динамики верхней границы леса и темпов расширения площади, занимаемых лесными и лесотундровыми сообществами, обеспечивающими длительное депонирование углерода; 2) выполнены молекулярно-генетические исследования лиственницы сибирской, произрастающей в районе исследований на Полярном Урале; 3) проведены исследования, направленные на разработку предложений по совершенствованию нормативно-правовых документов в области лесопользования, лесовосстановления и лесоразведения на основе максимального использования потенциальных природных возможностей формирования древесной растительности на непокрытых лесной растительностью и нарушенных землях на модельных участках в Уральском федеральном округе.

В рамках решения задачи 1 проведены исследования пространственно-временной динамики лиственницы сибирской в экотоне верхней границы древесной растительности на Полярном Урале с использованием космо- и аэроснимков высокого пространственного разрешения за период с начала 1960-х годов до середины 2010-х годов. Установлено более чем четырехкратное увеличение количества деревьев (высота которых превышает 4 метра) на исследуемой территории за пятидесятилетний период.

Также с использованием ранее полученных при помощи беспилотного летательного аппарата изображений сверхвысокого пространственного разрешения в ходе текущего этапа проекта было завершено дешифрирование крон экземпляров лиственницы сибирской. Проведена реконструкция возрастных интервалов лиственницы сибирской по величине радиуса их крон на основе закономерностей, полученных в ходе наземных измерений биометрических параметров подроста и деревьев лиственницы на 16 пробных площадях. Создана картосхема размещения экземпляров лиственницы сибирской, которые могут быть отнесены к двум возрастным интервалам: 1 – 40 и свыше 40 лет. Молодое поколение лиственницы составляет 36% от общего количества экземпляров, распознанных на аэроснимках сверхвысокого пространственного разрешения. Наибольшее количество

молодых деревьев, в основном, в настоящее время произрастает в верхней части экотона верхней границы древесной растительности, что подтверждает ранее установленный факт экспансии лиственницы сибирской в горную тундру.

Триггером, запустившим данный процесс, является современное региональное потепление климата, которое началось с конца XIX – начала XX века. При этом повторные ландшафтные фотографии, сделанные в районе исследований с одних и тех же точек фотосъемки с начала в 1960-х годов до настоящего времени, свидетельствуют о появлении большого количества экземпляров молодого поколения лиственницы сибирской в верхней части экотона, особенно в течение последних десятилетий. Неоднородность структуры распределения деревьев в пространстве, включая появления нового поколения лиственницы сибирской, необходимо учитывать при оценке изменения ее высотного положения, сегментируя исследуемую территории на участки с характерным паттерном размещения деревьев в пространстве. На основе аллометрических уравнений для данного района исследований проведена оценка фитомассы (надземной, подземной и общей) и пула углерода для всех деревьев на 16 пробных площадях, заложенных в градиенте высоты на исследуемой территории. С повышением высоты над уровнем моря величина фитомассы деревьев кратно снижается при продвижении вверх по склону от одного высотного уровня к другому.

Также в ходе решения задачи 1 в районе исследований на Южном Урале установлена тенденция увеличения общего количество стволов ели разных жизненных форм на более высоких высотных уровнях и снижение на нижележащих. Увеличение количества стволов в низкополнотных древостоях более высоких уровней за анализируемый период свидетельствует о продолжающемся заселении древесной растительностью относительно открытых пространств экотона. В исследуемых древостоях за 20-летний период произошло заметное уменьшение доли стволов деревьев многоствольной формы роста, особенно на верхних высотных уровнях. Такое положение объясняется улучшением в переходной зоне между лесом и горной тундрой условий роста для подроста и деревьев в результате потепления и увлажнения климата.

Ряды распределения деревьев по ступеням толщины заметно различаются по высотным уровням. При продвижении от нижележащих высотных уровней к вышележащим заметно уменьшается диапазон варьирования диаметров и увеличивается количество деревьев в низших ступенях толщины. Зависимости фракций надземной фитомассы деревьев от их диаметра корректно описывается степенной функцией. Влияние формы роста деревьев на характер зависимостей массы стволов и массы крон от диаметра стволов не существенно, что позволяет разработать единые для одноствольных и

многоствольных деревьев оценочные уравнения. Характер зависимости массы хвои от диаметра стволов существенным образом определяется формой роста деревьев. Это требует разработки отдельных для одноствольников и многоствольников уравнений, по оценке массы хвои.

С повышением высоты над уровнем моря у деревьев одинакового диаметра фитомасса стволов закономерно снижается, а фитомасса хвои (и одноствольников и многоствольников) – увеличивается. Такое положение связано с изменением лесорастительных условий, возраста, размеров деревьев, а также возрастным сдвигом ранга деревьев одинаковой толщины. Общая надземная фитомасса еловых древостоев на исследуемом профиле существенно увеличивается по мере снижения высоты над уровнем моря.

За анализируемый период (с 2004 по 2024 годы) надземная фитомасса ельников в редирах верхних уровней (первый уровень) и редколесьях (третий уровень) увеличилась более высокими темпами, чем в сомкнутом лесу (пятый уровень). Так, надземная фитомасса древостоев за период с 2004 по 2024 годы на первом уровне возросла в 2,7 раза, на третьем – 1,9 раза, а на пятом – только 1,2 раза. Такое положение объясняется, с одной стороны продолжающимся заселением древесной растительностью относительно открытых пространств экотона, а с другой более низким возрастом древостоев на вышележащих уровнях.

С повышением высоты над уровнем моря закономерно снижается доля стволовой древесины и, соответственно, повышается доля кроны в целом и хвои в том числе. Причем при примерно одинаковом возрасте и классе бонитета удельный вес хвои (кроны) в надземной фитомассе ельников в высокогорьях заметно выше, чем в равнинных условиях.

В рамках выполнения задачи 2 проведены молекулярно-генетические исследования у образцов хвои, собранной с 34 деревьев, расположенных в разных частях района исследований на Полярном Урале, в ходе которых выявили 13 гаплотипов. Генетическое разнообразие для данной выборки составило $H_e = 0.9127 \pm 0.0276$. Наиболее частыми являются гаплотипы H2 (23% выборки) и H10 — 11%. На эти два гаплотипа, а также гаплотипы H5, H7, H9 и H12 приходится 70% выборки. Генетическая структура популяции исследованной территории на Полярном Урале близка к генетическому профилю популяций лиственницы, произрастающей в данном регионе. Для выявления возможных генетических линий требуется расширение числа регионов мтДНК, в первую очередь, разработанных и апробированных митохондриальных минисателлитных маркеров.

В рамках решения задачи 3 особое внимание было уделено вопросам совершенствования рубок спелых и перестойных насаждений. На основе исследований

лесоводственной эффективности чересполосных постепенных рубок экспериментально доказано, что указанные рубки позволяют переформировать производные березовые насаждения в коренные хвойные, не прибегая к искусственному лесовосстановлению. Данный результат является одним из важных практических результатов проекта, полученный в рамках развития идей генетического подхода к классификации типов леса, и связанный в том числе с созданием природоподобных технологий. Замена сплошнолесосечных рубок выборочными позволяет сократить оборот рубки и существенно повысить продуктивность лесов. Наличие под пологом назначаемых в рубку древостоев достаточного количества жизнеспособного подроста предварительной генерации позволило предложить и другие виды выборочных рубок. Кроме того, были разработаны и предложены производству решения по совершенствованию лесного хозяйства в условиях меняющегося климата.

Учитывая важную роль депонирования углерода в древесине нами проанализирована возможность увеличения прироста древесины при ведении лесного хозяйства. В этой связи возрастает актуальность вопросов, связанных со своевременным назначением рубки древостоев, то есть установления возраста спелости. К сожалению, последний устанавливается без учета наиболее востребованных сортиментов.

В ходе проведенных исследований показано, что снижение возраста рубки в еловых насаждениях арендных участков крупных ЦБК до возраста технической спелости наиболее востребованных сортиментов позволит решить целый ряд экологических и экономических проблем и позволит: в 1.5 раза повысить продуктивность лесов за счет более высокого прироста и короткого оборота рубки; минимизировать риски ветровала и бурелома в еловых насаждениях; минимизировать риски гибели древостоев от лесных пожаров за счет уменьшения массы напочвенных горючих материалов; улучшить санитарное состояние лесов за счет уменьшения риска возникновения напенной гнили ели, которая, как правило, появляется в древостоях старше 100 лет; уменьшения риска возникновения очагов стволовых вредителей, в частности, короеда типографа *Ips typographus* L.) (установлено, что в условиях Пермского края короед типограф практически не повреждает деревья ели с диаметром на высоте 1.3 м менее 16 см); увеличить количество продукции, получаемой с единицы площади, за счет уменьшения оборота рубки и сократить площадь арендных участков, а также и улучшить логистику доставки сырья к центрам ее переработки или, другими словами, снизить себестоимость конечной продукции переработки хвойных балансов.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что в еловых насаждениях при ориентации на сохранение подроста рубку следует проводить в насаждениях III и выше

классов бонитета в 135 лет, а в насаждениях IV и ниже классов бонитета в 110 лет. При установлении возраста рубки по технической спелости, рассчитанной на получение балансов, потребуется проводить искусственное лесовосстановление на большинстве вырубок после сплошных лесосечных рубок в еловых насаждениях всех классов бонитета. При этом увеличение доли искусственного лесовосстановления позволит, в свою очередь, ускорить получение балансовой древесины.

В результате проведенных исследований установлено, что в условиях лесотундры и подзоны северной тайги гари зарастают мягколиственными породами, а процесс зарастания гарей хвойными породами растянут во времени и протекает медленно от периферии к центру. Указанное позволяет рекомендовать, для ускорения лесовосстановления гарей, посев семян хвойных пород. Кроме того, рекомендуется ввести изменения в нормативно-технические документы и для Западно-Сибирского района притундровых лесов и редкостойной тайги, а также Западно-Сибирского северо-таежного равнинного лесного районов, добавив в число основных лесных древесных пород березы повислую (*Betula pendula* Roth.) и березу пушистую (*B. pubescens* Ehrh.).

Выполненные в ходе второго этапа проекта исследования свидетельствуют о несомненной перспективности лесохозяйственного направления рекультивации и необходимости проведения дальнейших исследований по разработке способов рекультивации, обеспечивающих достижение желаемого результата при минимальных финансовых затратах.

В ходе выполнения проекта разработан оригинальный способ тушения торфяных пожаров, который вошел в действующие нормативные документы и в 2023-2024 гг. широко применяются при тушении торфяных пожаров. Для производства предложены также уточнения в шкалу классов пожарной опасности по условиям погоды для Ханты-Мансийского автономного округа – Югры и способ тушения торфяных пожаров в зимний период, база данных о количестве лесных пожаров по субъектам УрФО за период с 2001 по 2022 гг.

Все поставленные в рамках второго этапа проекта задачи выполнены. Полученные в ходе исследований материалы по запасам надземной фитомассы и депонированного углерода в исследуемых в лиственничниках и ельниках, а также методики картирования древесной растительности с использованием данных космо- и аэро съемки, в том числе с использованием беспилотных летательных аппаратов могут быть использованы для оценки и прогноза биосферной роли (в частности, углеродного бюджета) лесов, формирующихся на ранее безлесных территориях высокогорий в результате современного изменения климата.

Проведенные молекулярно-генетические исследования на Полярном Урале позволяют углубить представления о сукцессионных процессах в экотоне лес-тундра и рассматриваются в рамках данного проекта в качестве модельной территории для изучения формирования типов леса в рамках генетического подхода к типам леса. Полученные результаты соответствуют передовому международному уровню исследований.

В рамках выполнения комплексного проекта разработаны и предложены производству решения по совершенствованию лесного хозяйства в условиях меняющегося климата: снижение возраста рубки в еловых насаждениях арендных участков крупных ЦБК; использование чересполосных постепенных рубок для переформирования производных березовых насаждений в коренные хвойные; разработаны рекомендации для условий лесотундры и подзоны северной тайги по ускорению лесовосстановлению гарей путем посева семян хвойных пород. Разработан оригинальный способ тушения торфяных пожаров, который уже нашел широкое применение на основе введенных нормативных документов.

Полученные результаты по климатогенной пространственно-временной динамике древесной растительности высокогорий соответствует передовому мировому уровню исследований в данной области. Прикладные аспекты исследований, связанных с оптимизацией ведения лесного хозяйства соответствуют передовому уровню. Они предложены производству или уже нашли практическое применение.

Полученные результаты соответствуют направлению исследований Западно-Сибирского межрегионального научно-образовательного центра мирового уровня «Биологическая безопасность человека, животных и растений»: разработка технологий и профилактики лесных пожаров и лесовозобновления, ремедиации нарушенных территорий; новые решения для цифровизации сельского и лесного хозяйства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Kullman L. Rapid recent range margin rise of tree and shrub species in the Swedish Scandes // *Journal of Ecology*. – 2002. – Vol. 90(1). – P. 68–77.
2. Shiyatov, S.G., Terent'ev, M.M., Fomin, V.V., Zimmermann, N.E. Altitudinal and horizontal shifts of the upper boundaries of open and closed forests in the Polar Urals in the 20th century // *Russian Journal of Ecology*. – 2007. – Vol. 38(4). – P. 223–227.
3. Camarero J.J., Gutiérrez E., Fortin M.-J. Spatial patterns of plant richness across treeline ecotones in the Pyrenees reveal different locations for richness and tree cover boundaries. *Global Ecology and Biogeography*. – 2006. – Vol. 15(2). – P. 182–191.
4. Bakker J., Olivera M.M., Hooghiemstra H. Holocene environmental change at the upper forest line in northern Ecuador // *The Holocene*. – 2008. – Vol. 18(6). – P. 877–893.
5. Dufour-Tremblay G., Lévesque E., Boudreau S. Dynamics at the treeline: Differential responses of *Picea mariana* and *Larix laricina* to climate change in eastern subarctic Québec // *Environmental Research Letters*. – 2012. – Vol. 7(4). – № 044038.
6. Hagedorn F., Shiyatov S.G., Mazepa V.S., Devi N.M., Grigor'ev A.A., Bartish, A.A., Fomin V.V., Kapralov D.S., Terent'ev M., Bugman H., Rigling A., Moiseev P. Treeline advances along the Urals mountain range – driven by improved winter conditions? // *Global Change Biology*. – 2014. – Vol. 20(11). – P. 3530–3543.
7. Lenoir J., Svenning J.C. Climate-related range shifts - a global multidimensional synthesis and new research directions // *Ecography*. – 2015. – Vol. 38. – P. 15–28.
8. Bryn A., Potthoff K. Elevational treeline and forest line dynamics in Norwegian mountain areas – a review // *Landscape Ecology*. – 2018. – Vol. 33(8). – P. 1225–1245.
9. Chhetri P.K. Predicting upslope expansion of sub-alpine forest in the Makalu Barun National Park, Eastern Nepal, with a hybrid cartographic model // *Journal of Forestry Research*. – 2018. – Vol. 29(4). – P. 129–137.
10. Mamet S.D., Brown C.D., Trant A.J., Laroque C.P. Shifting global *Larix* distributions: Northern expansion and southern retraction as species respond to changing climate // *Journal of Biogeography*. – 2018. – Vol. 46(1). – P. 30–44.
11. Grigor'ev A.A., Devi N.M., Kukarskikh V. V., V'yukhi S.O., Galimova A.A., Moiseev P.A., Fomin V.V. Structure and Dynamics of Tree Stands at the Upper Timberline in the Western Part of the Putorana Plateau // *Russian Journal of Ecology*. – 2019. – Vol. 50(4). – P. 311–322.
12. Moiseev P.A., Galimova A.A., Bubnov M.O., Devi N.M., Fomin V.V. Tree Stands and Their Productivity Dynamics at the Upper Growing Limit in Khibiny on the Background of Modern Climate Changes // *Russian Journal of Ecology*. – 2019. – Vol. 50(5). – P. 431–444.

13. Fomin V.V., Mikhailovich A.P., Shiyatov S.G. Trees in the Upper Treeline Ecotone in the Polar Urals: Centuries-Old Change and Spatial Patterns // Mountain Research and Development. – 2020. – Vol. 40(2). – P. 32–40.
14. Mazepa V.S. Stand density in the last millennium at the upper tree-line ecotone in the Polar Ural Mountains // Canadian Journal of Forest Research. – 2005. – Vol. 35(9). – P. 2082–2091.
15. Shiyatov S.G., Terent'ev M.M., Fomin V.V. Spatial-temporal dynamics of forest tundra communities in the Polar Ural Mountains // Russian Journal of Ecology. – 2005. – Vol. 36(2). – P. 69–75.
16. Panova N.K., Jankovska V., Korona, O.M., Zinov'ev, E.V. Holocene Dynamics of Vegetation and Ecological Conditions in the Polar Urals // Russian Journal of Ecology. – 2003. – Vol. 34(4). – P. 219–230.
17. Cherepanova O., Medvedeva S., Filippov E., Skaptsov M., Ivchenko T., Teptina A. Biodiversity Evolution of a Shrub *Betula nana* L. Populations in the Urals // International Journal of Forestry Research. – 2024. – Vol. 1. – № 2644583.
18. Semerikov V.L., Semerikova S.A., Polezhaeva M.A., Kosintsev P.A., Lascoux M. Southern montane populations did not contribute to the recolonization of West Siberian Plain by Siberian larch (*Larix sibirica*): A range-wide analysis of cytoplasmic markers // Molecular Ecology. – 2013. – Vol. 22(19). – P. 4958–4971.
19. Semerikov V.L., Iroshnikov A.I., Lascoux M. Mitochondrial DNA variation pattern and postglacial history of the Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) // Russian Journal of Ecology. – 2007. – Vol. 38. – P. 147–154.
20. Excoffier L., Lischer H.E.L. ARLEQUIN suite ver 3.5: a new series of programs to perform population genetics analyses under Linux and Windows // Molecular Ecology Resources. – 2010. – Vol. 10(3). – P. 564–567.
21. Shalaumova Y.V., Fomin V.V., Kapralov D.S. Spatiotemporal dynamics of the Urals' climate in the second half of the 20th century // Russian Meteorology and Hydrology. – 2010. – Vol. 35(2). – P. 107–114
22. Hewitt G. The genetic legacy of the quaternary ice ages // Nature. – 2000. – Vol. 405. – P. 907–913.
23. Mitton J.B., Kreiser B.R., Latta R.G. Glacial refugia of limber pine (*Pinus flexilis* James) inferred from the population structure of mitochondrial DNA // Molecular Ecology. – 2000. – Vol. 9(1). – P. 91–97.

24. Devi N., Hagedorn F., Moiseev P., Bugmann H., Shiyatov S., Mazepa V., Rigling A. Expanding forests and changing growth forms of Siberian larch at the Polar Urals treeline during the 20th century // *Global Change Biology*. – 2008. – Vol. 14(7). – P. 1581 – 1591.
25. Moiseev P.A., Semerikov V.L., Semerikova T.V., Balakin D.S., Vorobiev I.B., Viuykhin S.O. Leading directions and effective distance of larch offspring dispersal at the upper treeline in the Northern and Polar Urals, Russia // *Forest Ecosystems*. – 2024. – Vol. 11(628). – № 100218.
26. Fomin V., Mikhailovich A., Golikov D., Agapitov E. Reconstruction of the Expansion of Siberian Larch into the Mountain Tundra in the Polar Urals in the 20th –Early 21st Centuries // *Forests*. – 2022. – Vol. 13(3). – № 419.
27. Мазепа В.С., Шиятов С.Г. Динамика верхней границы леса на полярном Урале в связи с изменениями климата / *Вопросы географии*. – 2014. – № 137: Горные исследования. Горные регионы северной Евразии. Развитие в условиях глобальных изменений. – 267–290.
28. Devi N.M., Kukarskih V.V., Galimova A.A., Mazepa V.S., Grigoriev A.A. Climate change evidence in tree growth and stand productivity at the upper treeline ecotone in the Polar Ural Mountains // *Forest Ecosystems*. – 2020. – Vol. 7. – № 7.
29. Горчаковский П.Л., Шиятов С.Г. Фитоиндикация условий среды и природных процессов в высокогорьях. – М.: Наука, 1985. – 208 с.
30. Шиятов С.Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале. – М.: Наука, 1986. – 136 с.
31. Усольцев В.А., Нагимов З.Я. Методы таксации фитомассы древостоев: методические указания для студентов-дипломников специальности 1512 «Лесное хозяйство». – Свердловск: УЛТИ, 1988. – 46 с.
32. Усольцев В.А., Нагимов З.Я. Исследование вертикально-фракционного распределения фитомассы древостоев. – Свердловск: УЛТИ, 1989. – 33 с.
33. Бабенко Т.С., Нагимов З.Я., Моисеев П.А. Закономерности роста деревьев и древостоев ели сибирской в высокогорьях Южного Урала (на примере г. Малый Ирмель). – Екатеринбург: УГЛТУ, 2008. – 126 с.
34. Бартыш А.А. Закономерности формирования древостоев на верхней границе леса в условиях современного изменения климата (на примере Тылайско-Конжаковско-Серебрянского горного массива): автореферат дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.02, 06.03.03 / Бартыш Александр Александрович. – Екатеринбург, 2008. – 24 с.

35. Григорьев А.А., Моисеев П.А., Нагимов З.Я. Формирование древостоев в высокогорьях Приполярного Урала в условиях современного изменения климата. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. – 170 с.
36. Шанин С.С. Закономерности строения сосновых и лиственничных древостоев Сибири: автореферат дис. ... д-ра. с.-х. наук: 06.00.00 / Шанин Серафим Степанович. – Красноярск, 1967. – 30 с.
37. Рокицкий П.Ф. Биологическая статистика. – Изд. 3-е, испр. – Минск: Вышэйш. шк, 1973. – 320 с.
38. Свалов Н.Н. Вариационная статистика: учебное пособие для вузов по специальности «Лесное хозяйство». – М.: Лесная пром-сть, 1977. – 177 с.
39. Лесотаксационные измерения: учебное пособие / З.Я. Нагимов, И.В. Шевелина, В.З. Нагимов, И.Н. Артемьева. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2021. – 95 с.
40. Луганский Н.А., Залесов С.В., Луганский В.Н. Лесоведение и лесоводство. Термины, понятия, определения: учебное пособие. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2015. – 125 с.
41. Луганский Н.А., Нагимов З.Я. Структура и динамика сосновых древостоев на Среднем Урале. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 1994. – 140 с.
42. Мамаев С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений. – М.: Наука, 1973. – 283 с.
43. Горяева А.В. Оценка естественного возобновления ели сибирской и лиственницы сибирской на верхнем пределе их произрастания в высокогорьях Урала: автореферат дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.02, 06.03.03 / Горяева Алена Викторовна. – Екатеринбург, 2008. – 24 с.
44. Митропольский А.К. Элементы математической статистики. – Ленинград, 1969. – 275 с.
45. Комин Г.Е. К вопросу о типах возрастной структуры насаждений // Известия ВУЗов Лесной журнал. – 1963. – № 3. – С. 37–42.
46. Комин Г.Е., Семечкин И.В. Возрастная структура древостоев и принципы ее типизации // Лесоведение. – 1970. – № 2. – С. 24–33.
47. Мухамедшин К.Д., Шамшиев Б.Н. О разновозрастной и пространственной структуре и строении древостоев арчи Тянь-Шаня // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. – 2005. – № 6. – С. 26-29.
48. Вернодубенко В.С. Динамика хвойных древостоев на торфяных почвах Европейского Севера: автореферат дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.02 / Вернодубенко Владимир Сергеевич. – Архангельск, 2011. – 20 с.

49. Верхунов П.М., Черных В.Л. Таксация леса: учебное пособие. – Йошкар-Ола: МГТУ, 2009. – 396 с.
50. ОСТ 56-108-98. «Лесоводство. Термины и определения» (утв. приказом Рослесхоза от 3 декабря 1998 г. № 203). – URL: <https://base.garant.ru/2157249/> (дата обращения 04.12.2024).
51. Приказ Минприроды России от 5 августа 2022 года № 510 «Об утверждении Лесоустроительной инструкции». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/351878696> (дата обращения: 20.11.2024).
52. Гусев И.И. Закономерности строения еловых древостоев Европейского Севера: методические рекомендации к дипломному проектированию по лесной таксации. – Архангельск: АЛТИ, 1977. – 40 с.
53. Шавнин А.Г. Таксация насаждений по типам строения древостоев: учебное пособие. – Свердловск: УЛТИ, 1990. – 104 с.
54. Общесоюзные нормативы для таксации лесов / В.В. Загреев, В.И. Сухих, А.З. Швиденко, Н.Н. Гусев, А.Г. Мошкалев. – М.: Колос, 1992. – 495 с.
55. Вагин А.В., Мурахтанов Е.С., Ушаков А.И., Харин О.А. Лесная таксация и лесоустройство: учебник. – М.: Лесн. пром-ть, 1978. – 368 с.
56. Анучин Н.П. Лесная таксация: учебник для вузов. – М.: Лесн. пром-сть, 1982. – 552 с.
57. Дэви Н.М. Морфогенез лиственницы сибирской в связи с современным изменением климата в высокогорьях Полярного Урала: автореферат дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Дэви Надежда Михайловна. – Пермь, 2008. – 24 с.
58. Моисеев П.А., Бубнов М.О., Дэви Н.М., Нагимов З.Я. Изменение структуры и фитомассы древостоев на верхнем пределе их произрастания на Южном Урале // Экология. – 2016. – № 3. – С. 163–172.
59. Нагимов З.Я., Коростелев И.Ф., Шевелина И.В. Таксация леса: учебное пособие. – Екатеринбург: УГЛТА, 2013. – 300 с.
60. Шиятов С.Г. Динамика древесной и кустарниковой растительности в горах Полярного Урала под влиянием современных изменений климата. – Екатеринбург: УрО РАН, 2009. – 215 с.
61. Нагимов З.Я., Моисеев П.А., Шевелина И.В., Воробьева Т.С. Особенности формирования фитомассы деревьев ели в верхней границе леса на горе Малый Ирмель // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: Материалы XV Междунар. науч.-техн. конф. / отв. за вып. Л.В. Малютина. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2024. – С. 208–214.

62. Кузьмичев В.В. Закономерности роста древостоев. – Новосибирск: Наука, 1977. – 160 с.
63. Усольцев В.А. Моделирование структуры и динамики фитомассы древостоев. – Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1985. – 192 с.
64. Нагимов, З.Я. Закономерности роста и формирования надземной фитомассы сосновых древостоев: автореферат дис. ... д-ра. с.-х. наук: 06.03.03 / Нагимов Зуфар Ягфарович. – Екатеринбург, 2000. – 40 с.
65. Никитин К.Е., Швиденко А.З. Методы и техника обработки лесоводственной информации. – М.: Лес. пром-сть, 1978. – 272 с.
66. Поздняков Л.К., Протопопов В.В., Горбатенко В.М. Биологическая продуктивность лесов Средней Сибири и Якутии. – Красноярск: Кн. изд-во, 1969. – 156 с.
67. Семечкина М.Г. Структура фитомассы сосняков. – Новосибирск: Наука, 1978. – 165 с.
68. Аткин А.С. Закономерности формирования органической массы в лесных сообществах: автореферат дис. ... доктора с.-х. наук: 06.03.03 / Аткин Александр Семенович – Екатеринбург, 1994. – 40 с.
69. Усольцев, В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: нормативы и элементы географии. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 763 с.
70. Курбанов Э.А. Бюджет углерода сосновых экосистем Волго-Вятского района. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. – 254 с.
71. Вараксин Г.С., Поляков В.И., Люминарская М.А. Биологическая продуктивность сосны обыкновенной в Средней Сибири // Лесоведение. – 2008. – №3. – С. 14–19.
72. Стаканов В.Д., Алексеев В.А., Коротков И.А., Климушин Б.Л. Методика определения запасов фитомассы и углерода лесных сообществ // Углерод в экосистемах лесов и болот. – Красноярск, 1994. – С. 48–69.
73. Birdsey R.A. Carbon Storage and Accumulation in United States Forest Ecosystems // USDA Forest Service. General Technical Report. – 1992. – Wo. 59. – 51 p.
74. Кобак К.И. Биотические компоненты углеродного цикла. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1988. – 248 с.
75. Бобкова К.С., Тужилкина В.В. Содержание углерода и калорийность органического вещества в лесных экосистемах Севера // Экология. – 2001. – №1. – С. 69-71.
76. Кузнецов М.А., Бобкова К.С. Потоки органического углерода в системе почва-фитоценоз ельника чернично-сфагнового средней тайги республики Коми // Экология. – 2014. – №5. – С. 338-345.

77. Рамочная конвенция ООН об изменении климата (принята 9 мая 1992 года). – URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/climate_framework_conv.shtml (дата обращения 04.12.2024).

78. Киотский протокол к рамочной конвенции Организации объединенных наций об изменении климата (принят 11 декабря 1997 года). – URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/kyoto.shtml (дата обращения 04.12.2024).

79. Парижское соглашение (принято 12 декабря 2015 года). – URL: <https://www.un.org/ru/climatechange/paris-agreement> (дата обращения 04.12.2024).

80. Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Коровин Г.Н., Курц В.А. Оценка и прогноз углеродного бюджета лесов Вологодской области по канадской модели СВМ-CFS // Лесоведение. – 2008. – №6. – С. 3–14.

81. Шиятов С.Г. Опыт использования старых фотоснимков для изучения смен лесной растительности на верхнем пределе ее произрастания // Флористические и геоботанические исследования на Урале. – Свердловск, 1983. – С. 76–109.

82. Моисеев П.А., Бартыш А.А., Горяева А.В., Кошкина Н.Б., Нагимов З.Я., Галако В.А. Динамика подгольцовых древостоев на склонах Серебрянского камня (Северный Урал) в последние столетия // Хвойные бореальной зоны. – 2008. – Т. XXV, № 1–2. – С. 21–27 с.

83. Санников, С.Н. Возрастная биология сосны обыкновенной в Зауралье // Восстановительная и возрастная динамика лесов на Урале и в Зауралье: Труды Института экологии растений и животных УНЦ АН СССР. – Свердловск, 1976. – Вып. 101. – С. 124–165.

84. Луганская С.Н. Изменчивость семян сосны обыкновенной в зависимости от географического положения, погодных условий и подсочки на Среднем Урале: автореферат дис. ... канд. с.-х. наук. наук: 06.03.03 / Луганская Светлана Николаевна. – Екатеринбург. 2001. – 24 с.

85. Гурский А.А. Совершенствование методов оценки насаждений и ведения хозяйства в лесах Оренбуржья: автореферат дис. ... кандидата с.-х. наук: 06.03.03 / Гурский Анатолий Анатольевич. – Екатеринбург, 2007. – 22 с.

86. Григорьева А.В., Моисеев П.А. Особенности возобновления лиственницы сибирской на верхнем пределе ее произрастания на Урале и факторы, его определяющие // Сибирский экологический журнал. – 2018. – Т. 25, № 1. – С. 17–31.

87. Мамаев С.А., Попов П.П. Ель сибирская на Урале. – М.: Наука, 1989. – 104 с.

88. ГОСТ 13056.6 – 97. Семена деревьев и кустарников. Метод определения всхожести (принят Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № 12 от 21 ноября 1997 г.). – URL: https://rosgosts.ru/file/gost/65/020/gost_13056.6-97.pdf?ysclid=m5vf5zz7px363422338 (дата обращения 04.12.2024).

89. Итешина Н.М., Безденежных И.В., Залесов С.В., Теринов Н.Н. Характеристика подроста сопутствующей генерации при чересполосных постепенных рубках в производных березняках // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 1 (77). – С. 26–32.

90. Итешина Н.М., Безденежных И.В., Залесов С.В., Чермных А.И. Объемы заготовки древесины при сплошнолесосечных и выборочных рубках спелых и перестойных насаждений // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 2 (78). – С. 59–66.

91. Семенова М.Е., Агафонова Т.Н., Новожилов А.С., Щеплягина А.В., Залесов С.В., Итешина Н.М. Повышение устойчивости еловых насаждений // Актуальные проблемы лесного комплекса: Сборник науч. трудов. – Брянск: БГТУ, 2024. – Вып. 66 – С. 231–233.

92. Предеина И.В., Башегуров К.А., Белов Л.А., Залесов С.В., Итешина Н.М. Чересполосная постепенная рубка, как способ реформирования производных мягколиственных насаждений в коренные хвойные // Сибирский лесной журнал. – 2024. – № 6. – С. 59–67

93. Безденежных И.В., Башегуров К.А., Гавриленко А.Н., Залесов С.В., Данчева А.В. Обеспеченность подростом сосны сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour.) спелых и перестойных хвойных насаждений подзоны северной тайги // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – № 3(141). – URL: <https://research-journal.org/media/articles/10896.pdf> (дата обращения 11.12.2024).

94. Безденежных И.В., Залесов С.В. Обеспеченность подростом сосны сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour.) спелых и перестойных мягколиственных насаждений Западно-Сибирского северо-таежного равнинного лесного района // Хвойные бореальной зоны. – 2024. – Т. XLII, № 2. – С. 7–11.

95. Осипенко А.Е., Залесов С.В. Обеспеченность подростом сосновых насаждений Алтае-Новосибирского района лесостепей и ленточных боров // Лесной вестник. Forestry Bulletin. – 2024. – Т. 28, № 3. – С. 15–25.

96. Данчева А.В., Залесов С.В., Янишева А.Р. Анализ естественного лесовозобновления гари в условиях Увайского лесничества Тюменской области // Леса России и хозяйство в них. – 2024. – № 2 (89). – С. 13–22.

97. Юдина П.С., Щеплягин П.В., Секерин И.М., Залесов С.В. Видовой состав и надземная фитомасса живого напочвенного покрова в горельниках спустя год после пожара // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – 2024. – № 2 (75). – С. 124–132.

98. Безденежных И.В., Гавриленко А.Н., Залесов С.В. Возможность совершенствования рубок спелых и перестойных насаждений в потенциальных кедровниках // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 2 (78). – С. 44–50.

99. Безденежных И.В., Гавриленко А.Н., Залесов С.В. Увеличение площади кедровников внедрением выборочных рубок // Лесное хозяйство на современном этапе. Новые технологии и научные решения: Сборник статей, посвященный 90-летию ВНИИЛМ. – Пушкино: ВНИИЛМ. 2024. – С. 14–17.

100. Гавриленко А.Н., Годовалов Г.А., Залесов С.В., Петров А.И., Розинкина Е.П. Интенсификация ведения лесного хозяйства // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса: Материалы XV Междунар. науч.-техн. конф. / отв. за вып. Л.В. Малютин. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2024. – С. 58–62.

101. Кузнецов Л.Н., Безденежных И.В., Залесов С.В. Декриминализация, цифровизация и риск-ориентированный подход в лесном комплексе // Леса России и хозяйство в них. – 2024. – № 2 (89). – С. 58–67.

102. Чермных А.И., Безденежных И.В., Залесов С.В., Итешина Н.М., Жижин С.М. Создание электронной лесотаксационной базы данных // Леса России и хозяйство в них. – 2024. – № 3 (90). – С. 56–62.

103. Залесов С.В., Безденежных И.В., Бунькова Н.П., Осипенко А.Е. Проблемка интенсификации лесопользования и пути ее решения // Лесные экосистемы бореальной зоны: биосферная роль, биоразнообразие, экологические риски: Материалы междунар. конф. / отв. за вып. А.В. Пименов. – Красноярск: ИЛ СО РАН, 2024. – С. 115–116.

104. Итешина Н.М., Бунькова Н.П., Предеина И.В., Залесов С.В. Определение запаса вырубленных деревьев по пням // Актуальные проблемы лесного комплекса: Сборник науч. трудов. – Брянск: БГТУ, 2024. – Вып. 66. – С. 24–26.

105. Семенова М.Е., Залесов С.В. Совершенствование ведения лесного хозяйства в связи с меняющимся климатом // Интенсификация использования и воспроизводства лесов Сибири и Дальнего Востока. – Хабаровск: Изд-во ФБУ «ДальНИИЛХ», 2024. – С. 258–261.

106. Иванчина Л.А., Залесов С.В., Косенкова Е.И. Влияние размера деревьев ели на их устойчивость в условиях Прикамья // Известия Нижневолжского агроуниверситетского

комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2018. – № 1 (49). – С. 147–153.

107. Иванчина Л.А., Залесов С.В. Влияние размера деревьев ели на их устойчивость в условиях ельника зеленомошного // Актуальные проблемы лесного комплекса: Сборник науч. трудов. – Брянск: БГИТУ, 2018. – Вып. 51. – С. 34–37.

108. Приказ Минприроды России от 29.12.2021 г. № 1024 «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». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/728111110?usclid=m5wzg3sv5s538969312> (дата обращения 11.12.2024).

109. Осипенко А.Е., Залесов С.В., Данилов И.А., Котова В.С., Лантинова А.В. Приживаемость лесных культур на учебно-опытном полигоне рекультивации нарушенных земель // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса: Материалы XV Междунар. науч.-техн. конф. / отв. за вып. Л.В. Малютина. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2024. – С. 228–232.

110. Крекова Я.А., Залесов С.В., Масалова В.А., Ауэзов Д.У. Рост сеянцев дуба черешчатого по регионам Казахстана // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса: Материалы XV Междунар. науч.-техн. конф. / отв. за вып. Л.В. Малютина. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2024. – С. 130–136.

111. Клинов А.С., Мартюшов П.А., Залесов С.В., Мещерякова К.В. Методы размножения сортов *Ribes nigrum* L. // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: Материалы XX Всерос. (нац.) науч.-техн. конф. / отв. за вып. Л.В. Малютина. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2024. – С. 170–174.

112. Клинов А.С., Марковская А.Н., Залесов С.В. Размножение смородины черной (*Ribes nigrum*) зелеными черенками в условиях Среднего Урала // Леса России и хозяйство в них. – 2024. – № 4 (91). – С. 80–93.

113. Мартюшова Е.Г., Марковская А.Н., Залесов С.В. Влияние состава питательной среды на укоренение растений вида *Philadelphus grandifloras* Willd. in vitro // Научное творчество молодежи-лесному комплексу России: Материалы XX Всерос. (нац.) науч.-техн. конф. / отв. за вып. Л.В. Малютина. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2024. – С. 46–49.

114. Крекова Я.А., Панкратов В.В., Залесов С.В. Эффективность лесоразведения с использованием интродуцентов в санитарно-защитной зоне г. Астаны // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 2 (78). – С. 66–72.
115. Петров А.И., Котова В.С., Залесов С.В. Производительность искусственных сосняков на дражных отвалах в Южно-Уральском лесостепном районе // Рекультивация нарушенных земель: технологии, эффективность и биоразнообразие: Сборник науч. трудов всерос. науч.-практ. конф. / отв. за вып. В.А. Андроханов. – Новокузнецк: Изд-во Центр СибГИУ, 2024. – С. 54–56.
116. Павленко Д.И., Старыгин Л.А., Осипенко Р.А., Залесов С.В. Перспективы компенсационного лесоразведения на нарушенных землях // Интенсификация использования и воспроизводства лесов Сибири и Дальнего Востока. – Хабаровск: Изд-во ФБУ «ДальНИИЛХ», 2024. – С. 228–231.
117. Башегуров К.А. Эффективность различных способов лесовосстановления в условиях подзоны северной тайги Западной Сибири: диссертация канд. с.-х. наук: 4.1.6 / Башегуров Константин Андреевич. – Екатеринбург, 2024. – 234 с.
118. Рекомендации по лесовосстановлению и лесоразведению на землях лесного фонда в границах Ямало-Ненецкого автономного округа: инструктивно-методическое издание / С.В. Залесов, А.С. Попов, К.А. Башегуров, И.Е. Корчагин, Р.А. Осипенко, Е.П. Розинкина. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2024. – 56 с.
119. Данчева А.В., Залесов С.В., Полторац К.А. Современное состояние рекреационных березняков в городе Тюмени (на примере парка «Гилевская роща») // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 1(77). – С. 19–25.
120. Агафонова Т.Н., Щеплягин П.В., Котова В.С., Залесов С.В. Корнеотпрысковая способность тополя свердловского серебристого пирамидального селекции Н.А. Коновалова // Леса России и хозяйство в них. – 2024. – № 2(89). – С. 136–144.
121. Котова В.С., Марковская А.Н., Мартюшова Е.Г., Залесов С.В. Вегетативное возобновление клена ясенелистного (*Acer negundo* L.) на Урале // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – № 7(145). – URL: <https://research-journal.org/media/articles/13652.pdf> (дата обращения 11.12.2024).
122. Данчева А.В., Залесов С.В., Назарова В.В. Анализ состояния сосновых древостоев в городских лесах города Тюмени (на примере парка «Гилевская роща») // Природообустройство. – 2024. – № 3. – С. 125–133.
123. Ананьина А.В., Воробьева М.В., Марковская А.Н., Крекова Я.А., Залесов С.В. Перспективность интродуцентов учебно-опытного дендрария Уральского учебно-опытного

лесхоза // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – 2024. – № 3(76). – С. 81–89.

124. Залесов С.В., Кайзер Н.В., Крекова Я.А., Мартюшов П.А., Попов А.С. Ошибки при озеленении северных населённых пунктов // Леса России и хозяйство в них. – 2024. – № 4(91). – С. 30–37.

125. Данчева А.В., Залесов С.В. Районирование сосновых лесов Республики Казахстан // Леса России и хозяйство в них. – 2024. – № 1 (88). – С. 4–28.

126. Dancheva A.V., Ayan S., Zalesov S.V., Opletaev A.S. Silvicultural–dendrochronological evaluation of thinning efficiency of Scots pine forests in arid conditions, Kazakhstan // Forestist. – 2024. – Volume 1, Issue 1. – № 24010.

127. Бунькова Н.П., Залесов С.В. Ведение лесного хозяйства в рекреационных лесах: учебное пособие. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2024. – 129 с.

128. Влияние рубок ухода на искусственные сосновые древостои Алтае-Новосибирского района лесостепей и ленточных боров / А.Е. Осипенко, К.А. Башегуров, С.В. Залесов, Р.А. Осипенко // Свидетельство о государственной регистрации баз данных RU 2024621752. Дата регистрации: 17.04.2024. Дата публикации: 22.04.2024. Правообладатель: ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет».

129. Обеспеченность подростом самоизреживающихся сосновых древостоев естественного и искусственного происхождения в условиях Алтае-Новосибирского района лесостепей и ленточных боров / А.Е. Осипенко, К.А. Башегуров, С.В. Залесов, Р.А. Осипенко // Свидетельство о государственной регистрации баз данных RU 2024621909. Дата регистрации: 17.04.2024. Дата публикации: 02.05.2024. Правообладатель: ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет».

130. Панкратов В.К. Лесоводственная эффективность рубок ухода в искусственных насаждениях санитарно-защитной зоны г. Астаны: диссертация канд. с.-х. наук: 4.1.6 / Панкратов Владислав Константинович. – Екатеринбург, 2024. – 203 с.

131. Осипенко Р.А., Ильясова А.В., Корчагин И.Е., Петров А.И., Залесов С.В. Динамика фракционного состава лесной подстилки в искусственных сосновых насаждениях, созданных на выработанном карьере глины // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 2(78). – С. 82–88.

132. Корчагин И.Е., Залесов С.В., Осипенко Р.А. Динамика таксационных показателей искусственных сосновых древостоев на рекультивированном золоотвале // Природообустройство. – 2024. – № 3. – С. 106–111.

133. Петров А.И., Котова В.С., Медведев С.А., Харлашкина Е.М., Залесов С.В. Обеспеченность подростом естественных и искусственных насаждений, формирующихся на дражных отвалах // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – № 9(147). – URL: <https://research-journal.org/media/articles/14800.pdf> (дата обращения 11.12.2024).

134. Залесов С.В., Котова В.С., Марковская А.Н., Осипенко Р.А., Розинкина Е.П. Совершенствование способов рекультивации различных видов нарушенных земель // Рекультивация нарушенных земель: технологии, эффективность и биоразнообразие: Сб. науч. трудов всероссийской науч.-практ. конф. / отв. за вып. В.А. Андроханов. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2024. – С. 28–31.

135. Осипенко Р.А., Осипенко А.Е., Котова В.С., Залесов С.В. Снегонакопление на учебно-опытном полигоне рекультивации нарушенных земель // Леса России и хозяйство в них. – 2024. – № 3(90). – С. 4–14.

136. Розинкина Е.П., Башегуров К.А., Котова В.С., Осипенко Р.А., Залесов С.В. Технология проведения рекультивации нарушенных земель на примере песчаного карьера в Западно-Сибирском северотаежном равнинном лесном районе // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 4(80). – С. 81–87.

137. Панин И.А., Залесов С.В. Изменение запасов дикорастущих пищевых и лекарственных растений в поврежденных ветром ельниках // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – 2024. – № 2(75). – С. 99–106.

138. Панин И.А., Усольцев В.А., Залесов С.В., Цепордей И.С. Моделирование биомассы и урожайности ягодных угодий по вертикальному профилю Косьвинского камня (Северный Урал) // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. – 2024. – № 1. – С. 28–44.

139. Панин И.А., Залесов С.В., Аржанников Ю.А. Ресурсы ягодных растений на полигонах добычи золота и платины // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2024. – № 250. – С. 83–97.

140. Кузнецов Л.Е., Залесов С.В. Зависимость лесных пожаров от погодных условий // Лесное хозяйство на современном этапе. Новые технологии и научные решения: Сборник статей, посвященных 90-летию ВНИИЛМ. – Пушкино: ВНИИЛМ, 2024. – С. 217–221.

141. Кузнецов Л.Е., Ерицов А.М., Секерин И.М., Кректунов А.А., Залесов С.В. Оценка горимости лесов Российской Федерации // Леса России и хозяйство в них. – 2024. – № 3(90). – С. 93–101.

142. Щеплягин П.В., Кузнецов Л.Е., Куксин Г.В., Секерин И.М., Залесов С.В. Отпад деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) после низовых пожаров в сосняке ягодниковом Средне-Уральского таежного лесного района // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова. – 2024. – № 1(74). – С. 123–130.

143. Куксин Г.В., Секерин И.М., Залесов С.В. Особенности развития очагов торфяных пожаров в зимний период // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – № 3(141). – URL: <https://research-journal.org/media/articles/11041.pdf> (дата обращения 11.12.2024).

144. Куксин Г.В., Секерин И.М., Залесов С.В. Анализ оценки ущерба от торфяных пожаров в странах дальнего зарубежья // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – № 2(140). – URL: <https://research-journal.org/media/articles/11040.pdf> (дата обращения 11.12.2024).

145. Ерицов А.М., Секерин И.М., Залесов С.В. Совершенствование беспилотных летательных аппаратов для обнаружения и мониторинга лесных пожаров // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – № 5(143). – URL: <https://research-journal.org/media/articles/11311.pdf> (дата обращения 11.12.2024).

146. Куксин Г.В., Секерин И.М., Залесов С.В. Обнаружение зимующих торфяных пожаров дистанционными методами // Лесной вестник. Forestry Bulletin. – 2024. – Т. 28, № 4. – С. 53–65.

147. Залесов С.В., Секерин И.М., Кузнецов Л.Е., Куксин Г.В. Проблема лесных торфяных пожаров и пути ее решения // Лесные экосистемы бореальной зоны: биосферная роль, биоразнообразие, экологические риски: Материалы междунар. конф. / отв. за вып. А.В. Пименов. – Красноярск: ИЛ СО РАН, 2024. – С. 117–118.

148. Куксин Г.В. Тушение лесных торфяных пожаров с использованием подтопления очагов тления и подъема уровня грунтовых вод: диссертация канд. с.-х. наук: 4.1.6 / Куксин Григорий Валерьевич. – Екатеринбург, 2024. – 187 с.

149. Годовалов Г.А., Ерицов А.М., Залесов С.В., Секерин И.М., Щеплягин П.В. Уточненная шкала классов пожарной опасности по условиям погоды для Ханты-Мансийского автономного округа-Югры // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – № 4(142). – URL: <https://research-journal.org/media/articles/11904.pdf> (дата обращения 11.12.2024).

150. Секерин И.М., Залесов С.В., Куксин Г.В. Способ тушения зимующих торфяных пожаров // Лесное хозяйство на современном этапе. Новые технологии и научные решения:

Сборник статей, посвященных 90-летию ВНИИЛМ. – Пушкино: ВНИИЛМ, 2024. – С. 229–233.

151. Динамика количества лесных пожаров по субъектам УрФО за период с 2001 по 2022 гг. / Н.П. Бунькова, С.В. Залесов, И.М. Секерин // Свидетельство о государственной регистрации баз данных RU 2024622314. Дата регистрации: 14.05.2024. Дата публикации: 28.05.2024. Правообладатель: ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет».

152. Залесов С.В., Куксин Г.В., Секерин И.М. Способы тушения торфяных пожаров: учебное пособие. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2024. – 89 с.

153. Залесов С.В., Куксин Г.В., Секерин И.М. Оборудование и инструменты для обнаружения и обследования торфяных пожаров: учебное пособие. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2024. – 94 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

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

Статьи в журналах

WoS Q4, Scopus Q3, УБС 3

1. Dancheva A.V., Ayan S., Zalesov S.V., Opletaev A.S. Silvicultural–dendrochronological evaluation of thinning efficiency of Scots pine forests in arid conditions, Kazakhstan // Forestist. – 2024. – Volume 1, Issue 1. – № 24010.

WoS Q4, Scopus Q4, УБС 3, ВАК К1

1. Иванова Н.С., Фомин В.В., Залесов С.В., Михайлович А.П. Сравнительный анализ эколого-флористической классификации и лесных типологий России // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2024. – №4. – С. 49–67.

УБС 2, ВАК К2

1. Панин И.А., Усольцев В.А., Залесов С.В., Цепордей И.С. Моделирование биомассы и урожайности ягодных угодий по вертикальному профилю Косьвинского камня (Северный Урал) // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. – 2024. – № 1. – С. 28–44.

УБС 4, ВАК К1

1. Корчагин И.Е., Залесов С.В., Осипенко Р.А. Динамика таксационных показателей искусственных сосновых древостоев на рекультивированном золоотвале // Природообустройство. – 2024. – № 3. – С. 106–111.

2. Данчева А.В., Залесов С.В., Назарова В.В. Анализ состояния сосновых древостоев в городских лесах города Тюмени (на примере парка «Гилевская роща» // Природообустройство. – 2024. – № 3. – С. 125–133.

3. Осипенко А.Е., Залесов С.В. Обеспеченность подростом сосновых насаждений Алтае-Новосибирского района лесостепей и ленточных боров // Лесной вестник. Forestry Bulletin. – 2024. – Т. 28, № 3. – С. 15–25.

4. Куксин Г.В., Секерин И.М., Залесов С.В. Обнаружение зимующих торфяных пожаров дистанционными методами // Лесной вестник. Forestry Bulletin. – 2024. – Т. 28, № 4. – С. 53–65.

5. Панин И.А., Залесов С.В., Аржанников Ю.А. Ресурсы ягодных растений на полигонах добычи золота и платины // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2024. – № 250. – С. 83–97.

ВАК К1

1. Куксин Г.В., Секерин И.М., Залесов С.В. Анализ оценки ущерба от торфяных пожаров в странах дальнего зарубежья // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – № 2(140). – URL: <https://research-journal.org/media/articles/11040.pdf> (дата обращения 11.12.2024).

2. Куксин Г.В., Секерин И.М., Залесов С.В. Особенности развития очагов торфяных пожаров в зимний период // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – № 3(141). – URL: <https://research-journal.org/media/articles/11041.pdf> (дата обращения 11.12.2024).

3. Безденежных И.В., Башегуров К.А., Гавриленко А.Н., Залесов С.В., Данчева А.В. Обеспеченность подростом сосны сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour.) спелых и перестойных хвойных насаждений подзоны северной тайги // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – № 3(141). – URL: <https://research-journal.org/media/articles/10896.pdf> (дата обращения 11.12.2024).

4. Годовалов Г.А., Ерицов А.М., Залесов С.В., Секерин И.М., Щеплягин П.В. Уточненная шкала классов пожарной опасности по условиям погоды для Ханты-Мансийского автономного округа-Югры // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – № 4(142). – URL: <https://research-journal.org/media/articles/11904.pdf> (дата обращения 11.12.2024).

5. Ерицов А.М., Секерин И.М., Залесов С.В. Совершенствование беспилотных летательных аппаратов для обнаружения и мониторинга лесных пожаров // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – № 5(143). – URL: <https://research-journal.org/media/articles/11311.pdf> (дата обращения 11.12.2024).

6. Котова В.С., Марковская А.Н., Мартюшова Е.Г., Залесов С.В. Вегетативное возобновление клена ясенелистного (*Aser negundo* L.) на Урале // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – № 7(145). – URL: <https://research-journal.org/media/articles/13652.pdf> (дата обращения 11.12.2024).

7. Петров А.И., Котова В.С., Медведев С.А., Харлашкина Е.М., Залесов С.В. Обеспеченность подростом естественных и искусственных насаждений, формирующихся на дражных отвалах // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – №

9(147). – URL: <https://research-journal.org/media/articles/14800.pdf> (дата обращения 11.12.2024).

8. Нагимов З.Я., Воробьева Т.С., Шевелина И.В. Рост и дифференциация деревьев ели в высокогорьях Южного Урала // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – №1 (139). – URL: <https://research-journal.org/media/articles/10300.pdf> (дата обращения: 11.12.2024).

ВАК К2

1. Данчева А.В., Залесов С.В., Полторац К.А. Современное состояние рекреационных березняков в городе Тюмени (на примере парка «Гилевская роща») // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 1(77). – С. 19–25.

2. Итешина Н.М., Безденежных И.В., Залесов С.В., Теринов Н.Н. Характеристика подроста сопутствующей генерации при чересполосных постепенных рубках в производных березняках // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 1 (77). – С. 26–32.

3. Щеплягин П.В., Кузнецов Л.Е., Куксин Г.В., Секерин И.М., Залесов С.В. Отпад деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) после низовых пожаров в сосняке ягодниковом Средне-Уральского таежного лесного района // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова. – 2024. – № 1(74). – С. 123–130.

4. Безденежных И.В., Залесов С.В. Обеспеченность подростом сосны сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour.) спелых и перестойных мягколиственных насаждений Западно-Сибирского северо-таежного равнинного лесного района // Хвойные бореальной зоны. – 2024. – Т. XLII, № 2. – С. 7–11.

5. Крекова Я.А., Панкратов В.В., Залесов С.В. Эффективность лесоразведения с использованием интродуцентов в санитарно-защитной зоне г. Астаны // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 2 (78). – С. 66–72.

6. Безденежных И.В., Гавриленко А.Н., Залесов С.В. Возможность совершенствования рубок спелых и перестойных насаждений в потенциальных кедровниках // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 2 (78). – С. 44–50.

7. Осипенко Р.А., Ильясова А.В., Корчагин И.Е., Петров А.И., Залесов С.В. Динамика фракционного состава лесной подстилки в искусственных сосновых

насаждениях, созданных на выработанном карьере глины // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 2(78). – С. 82–88.

8. Итешина Н.М., Безденежных И.В., Залесов С.В., Чермных А.И. Объемы заготовки древесины при сплошнолесосечных и выборочных рубках спелых и перестойных насаждений // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 2 (78). – С. 59–66.

9. Панин И.А., Залесов С.В. Изменение запасов дикорастущих пищевых и лекарственных растений в поврежденных ветром ельниках // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – 2024. – № 2(75). – С. 99–106.

10. Юдина П.С., Щеплягин П.В., Секерин И.М., Залесов С.В. Видовой состав и надземная фитомасса живого напочвенного покрова в горельниках спустя год после пожара // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – 2024. – № 2 (75). – С. 124–132.

11. Ананьина А.В., Воробьева М.В., Марковская А.Н., Крекова Я.А., Залесов С.В. Перспективность интродуцентов учебно-опытного дендрария Уральского учебно-опытного лесхоза // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – 2024. – № 3(76). – С. 81–89.

12. Розинкина Е.П., Башегуров К.А., Котова В.С., Осипенко Р.А., Залесов С.В. Технология проведения рекультивации нарушенных земель на примере песчаного карьера в Западно-Сибирском северотаежном равнинном лесном районе // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 4(80). – С. 81–87.

13. Предеина И.В., Башегуров К.А., Белов Л.А., Залесов С.В., Итешина Н.М. Чересполосная постепенная рубка, как способ переформирования производных мягколиственных насаждений в коренные хвойные // Сибирский лесной журнал. – 2024. – № 6. – С. 59–67

ВАК КЗ

1. Данчева А.В., Залесов С.В. Районирование сосновых лесов Республики Казахстан // Леса России и хозяйство в них. – 2024. – № 1 (88). – С. 4–28.

2. Данчева А.В., Залесов С.В., Янишева А.Р. Анализ естественного лесовозобновления гари в условиях Увайского лесничества Тюменской области // Леса России и хозяйство в них. – 2024. – № 2 (89). – С. 13–22.

3. Кузнецов Л.Н., Безденежных И.В., Залесов С.В. Декриминализация, цифровизация и риск-ориентированный подход в лесном комплексе // Леса России и хозяйство в них. – 2024. – № 2 (89). – С. 58–67.

4. Агафонова Т.Н., Щеплягин П.В., Котова В.С., Залесов С.В. Корнеотпрысковая способность тополя свердловского серебристого пирамидального селекции Н.А. Коновалова // Леса России и хозяйство в них. – 2024. – № 2(89). – С. 136–144.

5. Осипенко Р.А., Осипенко А.Е., Котова В.С., Залесов С.В. Снегонакопление на учебно-опытном полигоне рекультивации нарушенных земель // Леса России и хозяйство в них. – 2024. – № 3(90). – С. 4–14.

6. Чермных А.И., Безденежных И.В., Залесов С.В., Итешина Н.М., Жижин С.М. Создание электронной лесотаксационной базы данных // Леса России и хозяйство в них. – 2024. – № 3 (90). – С. 56–62.

7. Кузнецов Л.Е., Ерицов А.М., Секерин И.М., Кректунов А.А., Залесов С.В. Оценка горимости лесов Российской Федерации // Леса России и хозяйство в них. – 2024. – № 3(90). – С. 93–101.

8. Залесов С.В., Кайзер Н.В., Крекова Я.А., Мартюшов П.А., Попов А.С. Ошибки при озеленении северных населённых пунктов // Леса России и хозяйство в них. – 2024. – № 4(91). – С. 30–37.

9. Клинов А.С., Марковская А.Н., Залесов С.В. Размножение смородины черной (*Ribes nigrum*) зелеными черенками в условиях Среднего Урала // Леса России и хозяйство в них. – 2024. – № 4 (91). – С. 80–93.

10. Воробьева Т.С., Нагимов З.Я., Шевелина И.В., Моисеев П.А., Балакин Д.С., Суслов А.В. Количественные и качественные показатели шишек и семян ели сибирской в высокогорьях Южного Урала (на примере массива Иремель) // Леса России и хозяйство в них. – 2024. – № 4 (91). – С. 106–119

Патентные документы

1. Динамика количества лесных пожаров по субъектам УрФО за период с 2001 по 2022 гг. / Н.П. Бунькова, С.В. Залесов, И.М. Секерин // Свидетельство о государственной регистрации баз данных RU 2024622314. Дата регистрации: 14.05.2024. Дата публикации: 28.05.2024. Правообладатель: ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет».

2. Влияние рубок ухода на искусственные сосновые древостои Алтае-Новосибирского района лесостепей и ленточных боров / А.Е. Осипенко, К.А. Башегуров, С.В. Залесов, Р.А. Осипенко // Свидетельство о государственной регистрации баз данных

RU 2024621752. Дата регистрации: 17.04.2024. Дата публикации: 22.04.2024. Правообладатель: ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет».

3. Обеспеченность подростом самоизреживающихся сосновых древостоев естественного и искусственного происхождения в условиях Алтае-Новосибирского района лесостепей и ленточных боров / А.Е. Осипенко, К.А. Башегуров, С.В. Залесов, Р.А. Осипенко // Свидетельство о государственной регистрации баз данных RU 2024621909. Дата регистрации: 17.04.2024. Дата публикации: 02.05.2024. Правообладатель: ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет».

Доклады по теме научного исследования на российских и международных научных конференциях

Конференции уровня А по рейтингу CORE*

1. Fomin V.V. Reconstruction of Age-Related Generations of Siberian Larch to Quantify the Climatogenic Dynamics of Woody Vegetation Close the Upper Limit of Its Growth // ICDM 2024: International Conference on Data Mining (Istanbul, July 29-30, 2024). – <https://publications.waset.org/abstracts/178905/reconstruction-of-age-related-generations-of-siberian-larch-to-quantify-the-climatogenic-dynamics-of-woody-vegetation-close-the-upper-limit-of-its-growth>

2. Fomin V.V. Spatio-Temporal Dynamic of Woody Vegetation Assessment Using Oblique Landscape Photographs // ICDM 2024: International Conference on Data Mining. (Istanbul, July 29-30, 2024). – <https://publications.waset.org/abstracts/178907/spatio-temporal-dynamic-of-woody-vegetation-assessment-using-oblique-landscape-photographs>

Другие конференции

1. Панин И.А. Ресурсы рябины в условиях ельника мшистого Северо-Уральской среднегорной лесорастительной провинции Свердловской области // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: XV Междунар. науч.-техн. конф. (г. Екатеринбург, 8 февраля 2024 г.). - https://usfeu.ru/deyatelnost/nauchnaya-deyatelnost-ugltu/konferencii-ugltu/xiii-mezhdunarodnaya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya-effektiv/xv-mezhdunarodnaya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya-effektivny/?edit_off=true

2. Башегуров К.А. Искусственное лесовосстановление вырубок в зеленомошно-ягодниковой группе типов леса на территории северной тайги Западной Сибири // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы,

человека и технологий: XV Междунар. науч.-техн. конф. (г. Екатеринбург, 8 февраля 2024 г.). - https://usfeu.ru/deyatelnost/nauchnaya-deyatelnost-ugltu/konferencii-ugltu/xiii-mezhdunarodnaya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya-effektiv/xv-mezhdunarodnaya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya-effektivny/?edit_off=true

3. Воробьева Т.С. Особенности формирования фитомассы деревьев ели в верхней границе леса на горе Малый Ирмель // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: XV Междунар. науч.-техн. конф. (г. Екатеринбург, 8 февраля 2024 г.). - https://usfeu.ru/deyatelnost/nauchnaya-deyatelnost-ugltu/konferencii-ugltu/xiii-mezhdunarodnaya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya-effektiv/xv-mezhdunarodnaya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya-effektivny/?edit_off=true

4. Воробьева Т.С. Применение технологии автономного лазерного сканирования при исследовании верхней границы леса // 80 лет экологической науке на Урале: Всеросс. науч. конф., посвященной 80-летию ИЭРиЖ УрО РАН (г. Екатеринбург, 14 ноября 2024 г.). - https://ipae.uran.ru/ipae_80year

5. Фомин В.В. Пространственно-временная динамика популяции лиственницы сибирской в экотоне верхней границы древесной растительности на Полярном Урале в условиях прошлого и современного изменений климата / Обдорья. Арктические и Субарктические экосистемы в условиях климатических и социальных трансформаций: Научно-практическая конференция (г. Лабытнанги, 26-28 ноября 2024 г.). - <https://appliedecology.ru/obdoriya/>

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

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

1. Панкратов В.К. Лесоводственная эффективность рубок ухода в искусственных насаждениях санитарно-защитной зоны г. Астаны: диссертация канд. с.-х. наук: 4.1.6 / Панкратов Владислав Константинович. – Екатеринбург, 2024. – 203 с.
2. Башегуров К.А. Эффективность различных способов лесовосстановления в условиях подзоны северной тайги Западной Сибири: диссертация канд. с.-х. наук: 4.1.6 / Башегуров Константин Андреевич. – Екатеринбург, 2024. – 234 с.
3. Куксин Г.В. Тушение лесных торфяных пожаров с использованием подтопления очагов тления и подъема уровня грунтовых вод: диссертация канд. с.-х. наук: 4.1.6 / Куксин Григорий Валерьевич. – Екатеринбург, 2024. – 187 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

28.12.2024 № 84

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., директор института ИТИ Шишкина Е.Е., профессор Глухих В.В., директор института ХТИ Первова И.Г., доцент Газеев М.В., начальник патентного отдела Глазырин В.В., начальник УНИД Магасумова А.Г., начальник сектора организации и сопровождения научной и инновационной деятельности Сафронов А.И., зав.кафедрой Залесов С.В., профессор Герц Э.Ф., директор института Нагимов З.Я.

ПОВЕСТКА ДНЯ:

1. О выполнении фундаментальных научных исследований в 2024 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 2024 году.

ОБСУДИЛИ:

Эффективность работы в рамках государственного задания Минобрнауки в 2024 году.

РЕШИЛИ:

1. Признать работу по выполнению фундаментальных научных исследований в 2024 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 (2 этап).

Председатель



В.В. Фомин

Секретарь



В.В. Глазырин