

На правах рукописи

ВЫЮХИН СЕРГЕЙ ОЛЕГОВИЧ

**ФОРМИРОВАНИЕ И СОВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА ДРЕВОСТОЕВ
ЛИСТВЕННИЦЫ ГМЕЛИНА (*LARIX GMELINII* (RUPR.) RUPR.)
В ВЫСОКОГОРЬЯХ ПЛАТО ПУТОРАНА
(НА ПРИМЕРЕ МАССИВА СУХИЕ ГОРЫ)**

4.1.6 – Лесоведение, лесоводство, лесные культуры,
агролесомелиорация, озеленение, лесная пирология и таксация

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Екатеринбург, 2025

Работа выполнена в
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»

Научный руководитель:	доктор сельскохозяйственных наук, профессор Нагимов Зуфар Ягфарович
Официальные оппоненты:	Кутявин Иван Николаевич, доктор биологических наук, Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук - обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук», отдел лесобиологических проблем Севера, научный сотрудник; Тишин Денис Владимирович, кандидат биологических наук, доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Институт экологии, биотехнологии и природопользования, Учебно-научная лаборатория «Центр агро- и экобиотехнологий», старший научный сотрудник
Ведущая организация:	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный аграрный университет».

Защита состоится 25.09.2025 в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета 24.2.424.02 при ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» по адресу: 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37, ауд. 401.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (www.usfeu.ru).

Автореферат разослан «___» августа 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
канд. с.-х. наук, доцент

Магасумова
Альфия Гаптрауфовна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. На современном этапе одной из важнейших научных проблем признается количественная оценка реакции лесных экосистем на наблюдающиеся изменения климата (Шиятов, 2009; Моисеев, 2011). В этом плане большое количество исследований проводится в высокоширотных и высокогорных районах, в которых климатически обусловленные изменения древесно-кустарниковой растительности проявляются наиболее рельефно (Горчаковский, Шиятов, 1985; Hagedorn et al., 2020; и др.). В разных регионах планеты получены сведения, свидетельствующие об экспансии древесной растительности в горную тундру, обусловленной улучшением климатической обстановки. Повышение верхней границы леса, связанное с этим процессом, указывает на расширение в горных районах площадей, занятых лесными насаждениями. Эти насаждения в лесоводственно-таксационном отношении до сих пор остаются слабо изученными. В тоже время исследования их формирования, структуры, роста и продуктивности в современных условиях приобретают чрезвычайную актуальность. Результаты их важны как для индексации изменений условий среды, так и оценки масштабов зарастания лесной растительностью ранее безлесных территорий горной тундры, экологической и биосферной роли сформировавшихся насаждений, а также обоснования методических решений по их таксации.

Работа выполнена при поддержке грантов РНФ № 17-14-01112, № 21-14-00137 и № 24-14-00206.

Степень разработанности темы исследований. К настоящему времени исследователями высокогорных экосистем в различных регионах планеты в русле нашей работы получены разносторонние данные о лесовозобновлении на горных массивах (Горяева, 2008), расселении древесно-кустарниковой растительности в горные тундры и поднятии верхней границы леса (Шиятов, 2009), роли различных факторов, препятствующих и способствующих этому процессу (Моисеев, 2011), климатогенном формообразовании растений (Мазепа, 1999; Дэви, 2008), особенностях формирования и структуре древостоев в условиях высокогорий (Бабенко, 2006; Бартыш, 2008; Григорьев, 2011). Несмотря на обширный объем информации, особенности формирования древостоев в экотоне верхней границы древесной растительности (ЭВГДР), их строение, рост и углерод депонирующая способность остаются слабо изученными.

Цель исследования – выявление особенностей формирования древостоев лиственницы в высокогорьях плато Путорана в меняющихся климатических условиях, оценка их современного строения и надземной фитомассы.

Задачи исследований. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Изучение лесорастительных условий на различных склонах и высотах над уровнем моря в ЭВГДР и их влияния на динамику морфологических показателей и радиального прироста деревьев.

2. Анализ особенностей формирования древостоев лиственницы на склонах различной экспозиции в высокогорьях и их возрастной структуры.

3. Исследование строения древостоев, сформировавшихся в пределах ЭВГДР на различных склонах и высотных уровнях.

4. Оценка запасов надземной фитомассы и депонированного углерода в древостоях лиственницы в высокогорных условиях.

Научная новизна. Впервые в условиях плато Путорана исследована динамика верхней границы леса на основе анализа возрастной структуры древостоев лиственницы,

сформировавшихся на склонах разной экспозиции. На основе построенных древесно-кольцевых хронологий выявлено влияние на радиальной прирост деревьев экспозиции склона, высоты над уровнем моря и температуры воздуха. Выявлены особенности дифференциации деревьев и закономерности их распределения по возрасту, диаметру и высоте, а также взаимосвязи между таксационными показателями стволов и крон на разных склонах и высотных уровнях. Оценены запасы и структура надземной фитомассы и объемы депонированного в ней углерода в исследуемых лиственничниках.

Теоретическая и практическая значимость работы. Результаты исследований расширяют современные представления и знания об особенностях формирования лесных насаждений в ЭВГДР в условиях современного изменения климата, о структуре и показателях роста, сформировавшихся на различных склонах и высотных уровнях древостоев. Они могут служить теоретической, методической и экспериментальной базой при проведении научных и лесоучетных работ, индексации климатических изменений, построении моделей пространственно-временной динамики растительности в высокогорьях, оценке углерод депонирующей способности высокогорных лиственничников.

Методология и методы исследования. Методологической основой работы послужили экспериментальные разработки и теоретические обобщения ученых-исследователей высокогорных экосистем. При решении поставленных задач применялась комплексная оценка древостоев на заложенных высотных профилях и пробных площадях.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. В связи с потеплением климата в высокогорьях плато Путорана произошло поднятие верхней границы леса - на ранее безлесных территориях сформировались разновозрастные древостои разных типов возрастной структуры, состоящие из нескольких морфологически невыраженных поколений леса.

2. Изменения древесно-кольцевых хронологий радиальных приростов на склонах разной экспозиции имеют общие закономерности; на величину радиального прироста деревьев существенное влияние оказывают экспозиция склонов и высотная позиция древостоев.

3. Строение, морфологические параметры и надземная фитомасса древостоев в ЭВГДР обусловлены экспозицией склонов, а в пределах их – высотой над уровнем моря.

4. В сформировавшихся в ЭВГДР древостоях, несмотря на их высокую гетерогенность по возрасту и размерам деревьев, сохраняются закономерности строения, присущие элементам (поколениям) леса, поэтому при их производственной таксации возможна синтетическая (общая) оценка таксационных показателей.

Достоверность и обоснованность результатов исследования обеспечивается комплексным подходом к изучению древостоев в ЭВГДР, анализом значительного по объему экспериментального материала, собранного и обработанного с использованием современных методик и приемов, качественным совпадением результатов с данными аналогичных исследований на других объектах.

Апробация результатов работы. Основные результаты исследований докладывались и обсуждались на Всеросс. (нац.) науч.-техн. конф. студентов и аспирантов «Научное творчество молодежи – лесному комплексу России» (Екатеринбург, 2018, 2021, 2022, 2024), Всеросс. конф. молодых ученых «Экология: факты, гипотезы, модели» (Екатеринбург (2021, 2022), IV Всеросс. науч. конф. «Биоразнообразие экосистем Крайнего Севера: инвентаризация, мониторинг, охрана» (Сыктывкар, 2023), IX Всеросс. конф. с междунар. участием, посвященной 300-летию РАН, 35-летию научной школы чл.-корр. РАН А.К. Темботова, 30-летию Института экологии горных территорий им.

А.К. Темботова РАН «Горные экосистемы и их компоненты» (Нальчик, 2024).

Личный вклад автора. Соискателем лично проведен сбор и обработка значительной части экспериментального материала в полевых условиях, а также анализ и интерпретация полученных результатов. Сформулированы результаты и выводы.

Публикации. Основные материалы по теме научного исследования опубликованы в 16 научных работах, в том числе 2 работы в журналах, рекомендуемых ВАК РФ по научной специальности 4.1.6; 4 – в изданиях, индексируемых в международных базах научного цитирования Web of Science и Scopus.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 200 страницах и включает в себя введение, семь глав и заключение. Библиографическое описание включает в себя 212 источников, в том числе 65 на иностранных языках. Текст диссертации проиллюстрирован 39 рисунками и 23 таблицами.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Современное изменение климата в настоящее время признается глобальной экологической проблемой (IPCC, 2021). Важная роль в стабилизации климата отводится лесным экосистемам, как поглотителям CO². Вклад лесов в компенсацию выбросов углекислого газа в атмосферу признана сегодня на международном уровне (Рамочная конвенция..., 1992; Киотский протокол..., 1997; Парижское соглашение..., 2015). На фоне изменений климатических условий трансформируются и лесные экосистемы. Поэтому лесные сообщества могут иметь индикаторное значение при мониторинге изменения климата (Горчаковский, Шиятов, 1985). Изучению реакции лесных экосистем на изменение климата, в том числе на основе построения древесно-кольцевых хронологий, посвящено большое количество работ в нашей стране и за рубежом. Большинство из них проводится в высокоширотных и высокогорных районах, в которых климатически обусловленные изменения древесно-кустарниковой растительности проявляется наиболее рельефно. Результаты их свидетельствуют об экспансии древесной растительности в горную тундру вследствие улучшения климатической обстановки (Горчаковский, 1975; Горчаковский, Шиятов, 1985; Fritts, 1976; Шиятов, 1981, 1986, 2009; Kearney, 1982; Lavoie, Paeytte, 1992; Schweingruber, 1996; Комин, 2003; Харук и др., 2005; Шиятов, Мазепа, 2007; Капралов и др., 2007; Kullman, Öberg, 2009; Моисеев, 2011; Григорьев, 2011; Замолодчиков, 2015; Hagedorn et al., 2020; и др.). Большое внимание уделяется оценке роли различных факторов препятствующих и способствующих этому процессу, в частности, экспозиции склонов (Андреев и др., 2001; Wang et al., 2005; Guarín, Taylor, 2005; Моисеев, 2011; Бенькова и др., 2015; Xu et al., 2017; Гайсин 2021; и др.).

В последние годы активизировались работы по изучению лесоводственно-таксационной структуры, сформировавшихся в результате потепления климата насаждений в горной тундре (Бабенко, 2006; Бартыш, 2008; Григорьев, 2011). Появились работы по оценке фитомассы деревьев и древостоев и углерод депонирующей способности насаждений ЭВГДР (Нагимов и др., 2003, 2008; Богословская, 2005; Кнорре и др., 2006; Дэви, 2008; Григорьев, 2011).

2. ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА

Плато Путорана расположено в наиболее возвышенной северо-западной части Среднесибирского плоскогорья. Площадь плато составляет около 284000 км².

Климат района субарктический, резко континентальный, характеризуется дефицитом термоэнергетических ресурсов. Рельеф плато сложный, ступенчатый, территория изрезана большим количеством ущелий и долин, дно которых часто затоплено озёрами. Почвы на плато по плодородию потенциально бедные, с суровыми для произрастания растительности термическим и гидрологическим режимами. Речная сеть очень густая. Реки многоводны, изобилуют порогами и водопадами. Они относятся к трём основным бассейнам: Енисею, Пясине и Хатанге (Пармузин, 1975).

В районе исследования растительность разделена на 3 горных пояса: северотаёжный (лесной), занятый в основном кустарничковыми зеленомошными лиственничниками, подгольцовый с господством зарослей ольхи кустарниковой и гольцовый (горно-тундровый) с несомкнутым растительным покровом (Пармузин, 1959; Норин, 1986).

Район исследований является одним из самых экологически чистых регионов страны, благодаря своей удалённости от промышленных центров (в том числе и от комбината «Норильский никель»).

3. ПРОГРАММА, ОБЪЕКТ, МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБЪЕМ ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ

3.1. Программа исследований

Программа исследований составлена в соответствии с основными задачами и направлена на выполнение основной цели работы.

3.2. Объект исследований

Объектом исследования являлись насаждения лиственницы Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.), произрастающие на склонах различных экспозиций массива Сухие горы плато Путорана. На каждом склоне исследованиями охвачены древостои лиственницы, произрастающие в ЭВГДР, и сомкнутые древостои, расположенные ниже и непосредственно примыкающие к данному экотону. П.Л. Горчаковский и С.Г. Шиятов ЭВГДР с учетом сомкнутости крон и густоты древостоев делят на три части (полосы): отдельных деревьев (занимающую верхнее положение в экотоне), лесных микрогруппировок или реди́н (занимающую среднее положение) и редколесий (занимающую нижнее положение).

3.3. Методика исследований

В основу исследований положен метод высотных профилей и пробных площадей (Шиятов, 2009). Профили закладывались на склонах различной экспозиции (западной, восточной, южной и северной) в направлении от сомкнутых лесов к горной тундре. На каждом профиле фиксировались четыре высотных уровня: 1-й уровень – в ЭВГДР в полосе реди́н; 2-й – в ЭВГДР в полосе редколесий, 3-й – у верхней границы сомкнутого леса и 4-й – в глубине сомкнутого леса. Абсолютные высоты высотных уровней наибольшими значениями характеризуются на более прогреваемых южном (от 515 до 604 м н.у.м) и западном (от 458 до 650 м н.у.м) склонах, а наименьшими – на менее прогреваемом северном склоне (от 204 до 335 м н.у.м.). Высотные уровни восточного склона по абсолютным отметкам занимают промежуточное положение. На северном склоне высотный профиль заканчивается у верхней границы редколесий. Выше этой границы, вследствие высокой крутизны склона, древесная растительность, соответствующая по сомкнутости крон к реди́нам, отсутствует.

На каждом высотном уровне исследуемых профилей в соответствии с методикой международного проекта ИНТАС-01-0052 закладывались не менее трех пробных площадок размером 20х20 м или круговых пересчетных площадок радиусом 8 м на одинаковом расстоянии друг от друга.

На пробных площадках выполнялась подеревная таксация с нумерацией деревьев и фиксацией их месторасположения. Для каждого растения определялись порода, возраст, размеры ствола (высота, таксационный диаметр и диаметр у основания), а также диаметр кроны в двух взаимно-перпендикулярных направлениях. Для определения возраста у деревьев диаметром более 3 см извлекался буровой образец древесины, а у более тонких и сухостойных – выпиливался диск у основания ствола. Подсчет и датировка годовичных колец на кервах осуществлялись стандартными дендрохронологическими методами на измерительном комплексе Lintab-5. Отбор и обработка модельных деревьев производились в соответствии с методическими рекомендациями В.А. Усольцева и З.Я. Нагимова (1988).

В апреле 2018 г. на каждой пробной площадке не менее чем в 30-40 пунктах при помощи лавинного щупа определялась толщина снежного покрова. Измерения приземной температуры воздуха и температуры почвы производились на первом, втором и третьем уровнях профилей с использованием термодатчиков DS 1921 Thermochron iButton™.

Математико-статистическая обработка экспериментальных данных, выполнялась с использованием компьютерных программ «Excel 2016» и «Statistica 10.0».

3.4 Объем выполненных работ по теме диссертации

На четырех высотных профилях заложены 52 пробных площадки общей площадью 2,08 га, на которых определены таксационные показатели у 1186 деревьев лиственницы. Произведено около 1500 определений высоты снега. На 21 пункте измерялась температура воздуха и на 31 – температура почвы. Обработано 1205 радиальных кернов, измерена ширина более 74000 годовичных колец, построена 41 древесно-кольцевая хронология. Срублено и обмерено 38 модельных деревьев.

3.5 Таксационная характеристика древостоев лиственницы

Исследуемые лиственничники имеют низкие показатели роста, характеризуется Va и Vб классами бонитета. Густота и сомкнутость полога древостоев закономерно снижается с увеличением высоты над уровнем моря. Согласно представлениям П.М. Горчаковского и С.Г. Шиятова (1985) о структуре ЭВГДР на каждом склоне опытные объекты заложены на участках, занятых лесными насаждениями (третий и четвертый высотные уровни), а также редколесьем (второй высотный уровень) и редианами (первый высотный уровень).

4. ОЦЕНКА УСЛОВИЙ МЕСТОПРОИЗРАСТАНИЯ И РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА ЛИСТВЕННИЦЫ НА СТАЦИОНАРНЫХ ОБЪЕКТАХ (ВЫСОТНЫХ ПРОФИЛЯХ)

4.1. Анализ изменения климата по данным метеостанций

Анализ данных метеостанции «Дудинка» за период с 1906 по 2017 гг. показал, что климат в районе исследований стал более теплым и влажным. Среднегодовая температура воздуха повысилась на 1,03°C, а среднегодовое количество осадков – на 82 мм (14%). Увлажнение климата произошло в основном за счет увеличения количества осадков в зимние месяцы (на 64 мм или 51%).

4.2. Оценка локальных условий местопроизрастания на опытных объектах

Наиболее благоприятный для роста растений температурный режим складывается в нижней части ЭВГДР (в редколесье), примыкающий к сомкнутым насаждениям. Здесь температуры воздуха весенних и летних месяцев, наиболее важные для роста древесных растений, характеризуются более высокими значениями, чем в редине и даже в произрастающем ниже сомкнутом насаждении.

По изменению температуры почвы в связи с высотой над уровнем моря месяцы календарного года можно условно распределить на три группы. Для месяцев первой группы (июня и июля) характерно закономерное увеличение температуры почвы с увеличением высоты над уровнем моря. Средние для этих двух летних месяцев температуры составляют: в сомкнутом лесу 7,8°C, в редколесье – 10,0°C, в редине - 12,0°C и в горной тундре – 12,9°C. Такая динамика температуры почвы в этот период связана со степенью затенения почвы кронами деревьев и ольховника, которая закономерно уменьшается по мере продвижения вверх по склону.

Месяцы второй группы, холодного периода года (с октября по апрель) характеризуются закономерным уменьшением температуры почвы по мере продвижения вверх по склону. В данном случае такое положение объясняется существенным уменьшением в этом направлении высоты снега.

Месяцы третьей группы (май, август и сентябрь) выделяются отсутствием одностороннего, устойчивого изменения температуры почвы с повышением или понижением высоты над уровнем моря.

В ЭВГДР высота снежного покрова характеризуется высокой изменчивостью. Отдельные участки экотона по величине этого показателя могут отличаться более чем в 8 раз. На процесс накопления снега в ЭВГДР оказывают влияние экспозиция склона, высота над уровнем моря, характер растительности, особенности мезорельефа и ветрообдуваемость участков. Более многоснежным является северный склон, на котором средняя высота снега по высотным уровням изменяется от 88 до 161 см. Самыми низкими средними значениями мощности снега характеризуется восточный профиль (от 34 до 132 см). Южный и западный склоны по этому показателю занимают промежуточное положение. В пределах склона высота снежного покрова существенно варьирует в зависимости от высоты над уровнем моря. На восточном и западном склонах наблюдается достаточно устойчивое, одностороннее снижение толщины снега по мере повышения высотной позиции участков. На двух остальных склонах эта закономерность нарушается из-за особенностей мезорельефа и воздействия ветров.

4.3 Радиальный прирост лиственницы

В данных исследованиях для получения более обоснованных и надежных результатов на основе данных о возрасте каждого растущего дерева все они были объединены в 4 возрастные группы: I – 1–40 лет; II – 41–80 лет; III – 81–120 лет; IV – 121 год и более. Для каждой возрастной группы деревьев по всем четырем профилям, а в их пределах – высотном уровням, были построены хронологии осреднённых радиальных приростов. Параметр ширины годовых колец (ШГК) характеризуется высокой изменчивостью. Коэффициент вариации ШГК по всем построенным хронологиям изменяется в диапазоне от 26 до 68,3%.

Изменения древесно-кольцевых хронологий осреднённых радиальных приростов на всех профилях имеют общие закономерности: деревья молодых поколений (до 80 лет) характеризуются ярко выраженными трендами на увеличение осредненных приростов, а

более старших поколений, наоборот, отличаются трендами к уменьшению. На исследуемых объектах средний коэффициент чувствительности для индексированных значений ШГК изменяется в пределах от 0,40 до 0,70. Этот показатель во всех возрастных группах деревьев имеет тенденцию к увеличению по мере снижения высоты над уровнем моря. При прочих равных условиях в старших возрастных группах деревьев он выше, чем в младших. Значения среднего коэффициента межсерийной корреляции по всем построенным хронологиям приростов изменяются в диапазоне от 0,36 до 0,72. Выявляется высокая синхронность ШГК с воздействием внешнего фактора, общего для всех деревьев в пределах исследуемых объектов.

Средняя ШГК по всем построенным хронологиям варьирует от 0,125 до 1,003 мм. У деревьев, принадлежащих к одной возрастной группе, этот показатель уменьшается со снижением высоты над уровнем моря и увеличением густоты древостоев. Наиболее отчетливо это уменьшение проявляется в первой и во второй возрастных группах. Так, на восточном склоне при переходе от первого уровня (редины) к третьему (верхняя граница сомкнутого леса) средняя ШГК уменьшается у деревьев первой возрастной группы в 3,1 раза, а у второй группы в 1,8 раза. Устойчивые, односторонние изменения средней ШГК в связи с высотой над уровнем моря у деревьев старших возрастных групп, не обнаруживаются.

По уменьшению морфологических показателей и средней ШГК деревьев первой и второй возрастных групп, склоны можно расположить в следующий ряд: южный - восточный - западный - северный. Таким образом, лучшими условиями для роста деревьев и формирования годичного прироста по радиусу, характеризуется южный склон, а худшими - северный.

Молодые поколения деревьев при одинаковом возрасте в верхних частях экотона на склонах восточной, западной и южной экспозиций отличаются более высокими значениями ШГК, чем в его нижних частях. В этой связи можно предположить, что в условиях Субарктики важнейшим фактором для роста деревьев является количество поступающей солнечной радиации и прогреваемость стволов. Эти факторы более значимы на верхних участках экотона с пониженной сомкнутостью крон.

5. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ВОЗРАСТНАЯ СТРУКТУРА ДРЕВОСТОЕВ ЛИСТВЕННИЦЫ В ЭКОТОНЕ ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЫ ЛЕСА

5.1 Особенности формирования лиственничников

Растущие в настоящее время на исследуемых профилях деревья лиственницы резко отличаются по времени появления. Процесс лесовозобновления на всех склонах очень растянут во времени, на нижних уровнях его продолжительность исчисляется столетиями. Устойчивое (без разрывов), достаточно активное возобновление лиственницы на первом уровне исследуемых профилей началось в 1950-1965 годах, а на втором – в 1940-1960 годах, то есть чуть раньше. На наш взгляд, это связано с существенным улучшением климатической обстановки в последние 70-80 лет. На рис.1 в качестве примера представлены данные об особенностях заселения лиственницей высотных уровней восточного профиля.

Высотные уровни одного и того же профиля, а также одноименные уровни разных профилей заметно различаются по времени начала заселения лиственницей, густоте древостоев, скорости и характеру лесовозобновления. Это связано с экспозицией склонов, особенностями снегонакопления, которые определяют термический режим почв зимой и их увлажнение в вегетационный период, а также степень повреждения снежной

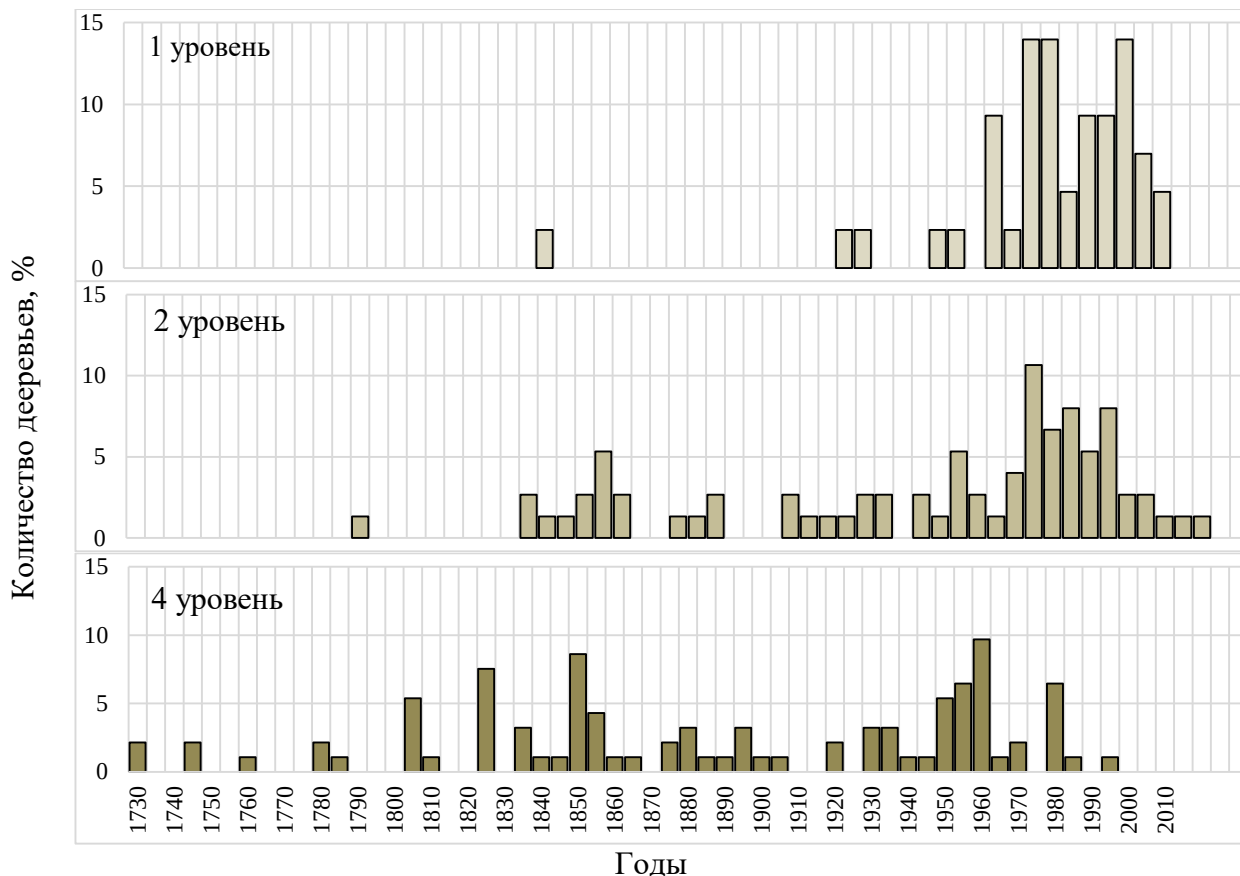


Рисунок 1 – Распределение ныне растущих деревьев лиственницы по периодам их появления на различных высотных уровнях восточного профиля

абразией верхних частей растений, оказывающихся выше уровня снега и другими локальными условиями местопроизрастания. Общей для всех профилей особенностью формирования древостоев является сдвиг начала появления, а также массового заселения растений на более поздние сроки по мере продвижения вверх по склону.

Формирование абсолютно разновозрастных древостоев (с разницей в возрасте групп деревьев более чем на два класса возраста) в ЭВГДР объясняется складывающимися в верхних частях склонов условиями для лесовозобновления, которые не гарантируют участие даже появившихся всходов и самосева в лесовозобновительном процессе. Только после семенных годов 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 разновозрастные древостои. Таким образом, разновозрастность древостоев в верхней границе леса может рассматриваться как фактор их выживаемости и устойчивости в крайне неблагоприятных лесорастительных условиях.

5.2. Возрастная структура древостоев лиственницы

Ряды распределения количества деревьев по возрасту по всем 15 исследованным участкам (высотным уровням четырёх профилей) подверглись математико-статистической обработке. Ее результаты на примере южного профиля представлены в табл. 1.

Приведенные в табл. 1 материалы, а также данные, полученные на остальных профилях, свидетельствуют, что на всех склонах диапазон изменения возраста лиственницы увеличивается с уменьшением высотной позиции древостоев, а средние значения этого показателя уменьшаются по мере продвижения в гору: на западном профиле от 119 до

Таблица 1 – Основные статистические показатели ряда распределения деревьев по возрасту на высотных уровнях южного профиля

Статистические показатели	Высотные уровни			
	первый	второй	третий	четвертый
Минимальное значение, лет	20	20	22	32
Максимальное значение, лет	114	133	205	235
Среднее значение, лет	40	52	99	112
Ошибка среднего, лет	3	3	6	6
Показатель эксцесса	-1,34	1,56	-0,96	-0,22
Показатель асимметрии	-0,24	1,42	0,19	0,41
Коэффициент вариации, %	31,1	49,5	47,7	42,9
Точность опыта, %	7,3	5,4	5,7	5,3

59 лет, на восточном – от 133 до 50, на северном – от 216 до 95 и на южном – от 112 до 40 лет. Эти данные являются отражением постепенного поднятия верхней границы леса в связи с потеплением климата.

На всех 15 исследованных участках древостои лиственницы характеризуются высоким варьированием возраста деревьев. В соответствии со шкалой С.А. Мамаева (1970), изменчивость возраста на восьми объектах соответствует очень высокому уровню (более 40%), на шести объектах – высокому (от 31 до 40%) и на одном объекте – повышенному уровню (от 21 до 30%). При прочих равных условиях коэффициенты изменчивости возраста деревьев в исследуемых древостоях существенно выше, чем приводимые в специальной литературе для отдельных элементов (поколений) леса.

По абсолютным значениям показателей асимметрии и эксцесса можно констатировать, что эмпирические ряды распределения деревьев по возрасту в подавляющем большинстве случаев существенно отличаются от нормального распределения Гаусса-Лапласа. При такой разновозрастности древостоев это вполне ожидаемый результат. Влияние высоты над уровнем моря на крутость и косость рядов не обнаруживается.

В соответствии с обобщенной схемой типов возрастной структуры древостоев Г.Е. Комина и И.В. Семечкина (Комин, 1963; Комин, Семечкин, 1970), в исследуемых объектах наибольшее распространение имеют циклично разновозрастные и ступенчато разновозрастные древостои, состоящие из нескольких морфологически невыраженных поколений леса.

6. СОВРЕМЕННОЕ СТРОЕНИЕ ДРЕВОСТОЕВ ЛИСТВЕННИЦЫ ПО ОСНОВНЫМ ТАКСАЦИОННЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

6.1. Распределение деревьев лиственницы по таксационным показателям

6.1.1 Распределение деревьев лиственницы по диаметру

При исследовании рядов распределения числа деревьев по диаметру прежде всего оценивали характер изменения их в зависимости от высоты над уровнем моря и экспозиции склонов. В табл. 2 приведены основные статистические распределения диаметров деревьев в лиственничниках западного профиля.

Результаты данных исследований позволяют отметить, что диапазон изменения диаметра стволов лиственницы и средние величины этого показателя на всех профилях закономерно повышаются с уменьшением высоты над уровнем моря. Средний диаметр лиственницы по мере продвижения вниз по склону увеличивается: на западном профиле от 4,2 до 14,2 см, на восточном – от 5,6 до 15,0, на северном – от 8,8 до 23,3 и на южном – от 3,6 до 15,0 см.

Таблица 2 – Основные статистические показатели ряда распределения деревьев по диаметру на высотных уровнях западного профиля

Статистические показатели	Высотные уровни			
	первый	второй	третий	четвертый
Минимальное значение, см	0,6	0,5	0,7	2,0
Максимальное значение, см	14,0	20,0	29,0	31,1
Среднее значение, см	4,2	8,0	12,0	14,2
Ошибка среднего, см	0,38	1,22	0,61	0,73
Показатель эксцесса	0,73	-1,18	0,21	0,11
Показатель асимметрии	1,03	0,42	0,32	0,66
Коэффициент вариации, %	71,7	75,8	51,7	46,8
Точность опыта, %	9,1	15,2	5,1	5,1

По шкале С.А. Мамаева (1970) изменчивость диаметра стволов лиственницы на 14 объектах соответствует очень высокому уровню (более 40%) и только на одном - высокому (39,2%). Она при одинаковом возрасте древостоев существенно выше (на некоторых уровнях на 20% и более), чем приводимые в специальной литературе для отдельных элементов (поколений) леса. Чрезвычайно высокая изменчивость диаметра стволов в исследуемых лиственничниках, в первую очередь связана их высокой разновозрастностью.

Большинство эмпирических кривых распределения диаметров по косости и крутости существенно отличаются от нормальной кривой Гаусса-Лапласа. Односторонняя высотная обусловленность в изменении коэффициентов асимметрии и эксцесса не обнаруживается.

Лиственничники характеризуются крайне низкими значениями среднего общего прироста по диаметру. Этот показатель по исследуемым объектам изменяется от 0,71 до 1,34 мм. Проявляется достаточно устойчивое увеличение прироста по мере снижения высотной позиции древостоев. Причем его наибольшими значениями характеризуются древостои на южном, наиболее инсолируемом склоне с более благоприятными микроклиматическими условиями.

6.1.2. Распределение деревьев лиственницы по высоте

Результаты статистической оценки рядов распределения количества деревьев лиственницы по высоте в разрезе высотных уровней заложенных профилей позволяют отметить следующее:

- Средние значения высоты деревьев лиственницы на всех профилях уменьшаются по мере продвижения в гору: на западном профиле от 8,42 до 3,91 м, на восточном - от 8,85 до 3,98, на северном – от 12,41 до 4,12 и на южном – от 7,79 до 2,64 м. Закономерное уменьшение средних значений высоты на всех профилях с повышением высоты над уровнем моря, как и в случае с диаметром, обусловлено снижением в этом направлении среднего возраста деревьев и ухудшением лесорастительных условий.

- Степень дифференциации деревьев по высоте на исследуемых объектах существенно ниже, чем по диаметру. Значения коэффициента вариации этого показателя изменяются в широком интервале от 24,9% (на первом высотном уровне южного профиля) до 65,8% (на третьем уровне восточного профиля). Устойчивой закономерности в изменении высот, связанной с высотным положением древостоев, на исследуемом объекте не наблюдается. Сопоставление наших данных с литературными (полученными для элементов леса) при примерно одинаковом возрасте древостоев показывает, что в исследуемых

лиственничниках изменчивость высоты стволов существенно выше (на некоторых уровнях на 15-20% и более), чем в светлохвойных насаждениях Европейской части страны, Среднего Урала и Сибири.

- Эмпирические ряды характеризуются положительной асимметрией и в большинстве случаев (в 13 рядах из 15) – отрицательным эксцессом. В целом, значения показателей асимметрии и эксцесса дают основание считать, что эмпирические распределения высот на исследуемых объектах не могут описываться нормальной кривой.

- Средний общий прирост по высоте на разных высотных уровнях исследуемых профилей изменяется от 4,3 до 8,3 см. Одностороннего влияния высоты над уровнем моря на величину этого показателя не наблюдается. Наибольшим значением прироста по высоте характеризуются древостои южного и восточного профилей.

6.2. Взаимосвязи таксационных показателей деревьев

6.2.1. Взаимосвязь диаметра и высоты деревьев

На всех высотных уровнях заложенных профилей между диаметрами и высотами стволов деревьев лиственницы наблюдаются достаточно устойчивые и тесные связи. Значения коэффициента детерминации парных связей колеблется в диапазоне от 0,624 (на третьем уровне западного профиля) до 0,931 (на третьем уровне восточного профиля). На первом и втором высотных уровнях всех профилей связь между данными показателями выражается прямой линией, а на третьем и четвертом уровнях она имеет криволинейный характер (рис. 2).

Трансформация прямолинейной зависимости между диаметрами и высотами деревьев в криволинейную в высокогорьях по мере снижения высоты над уровнем моря отмечается и другими исследователями (Бабенко, 2006; Бартыш, 2008; Григорьев, 2011). Такое положение они объясняют возрастанием уровня конкуренции между деревьями в результате повышения полноты и сомкнутости древостоев, являющейся причиной нарушения изометрии роста.

Выявляется тенденция уменьшения высоты у деревьев одинаковой толщины по мере повышения высотной позиции древостоев. Так, на четвертом уровне южного профиля высота лиственниц диаметром 5 см составляет 4,15 м, на третьем – 4,10, на втором – 3,92 и на первом – 3,15 м. Таким образом, по мере продвижения вверх по склону условия для роста лиственницы в высоту ухудшаются.

6.2.2. Взаимосвязь диаметра крон с диаметром стволов

В труднодоступных районах, к числу которых, безусловно, относится и плато Путорана, актуальными являются дистанционные способы таксации лесного фонда. При этих способах особое внимание уделяется определению среднего диаметра древесных пород с использованием корреляционных уравнений, выражающих зависимость этого показателя от дешифрируемых на снимках признаков (диаметра крон, высоты, относительной полноты, сомкнутости полога).

В исследуемых лиственничниках между диаметром крон и диаметром стволов наблюдаются устойчивые, в большинстве случаев тесные связи. Коэффициент детерминации парных связей колеблется в диапазоне от 0,467 (на первом высотном уровне южного профиля) до 0,881 (на втором уровне северного профиля). На всех участках зависимость диаметра крон от диаметра стволов вполне удовлетворительно описывается уравнением прямой. Полученные уравнения корректны и адекватны экспериментальным материалам.

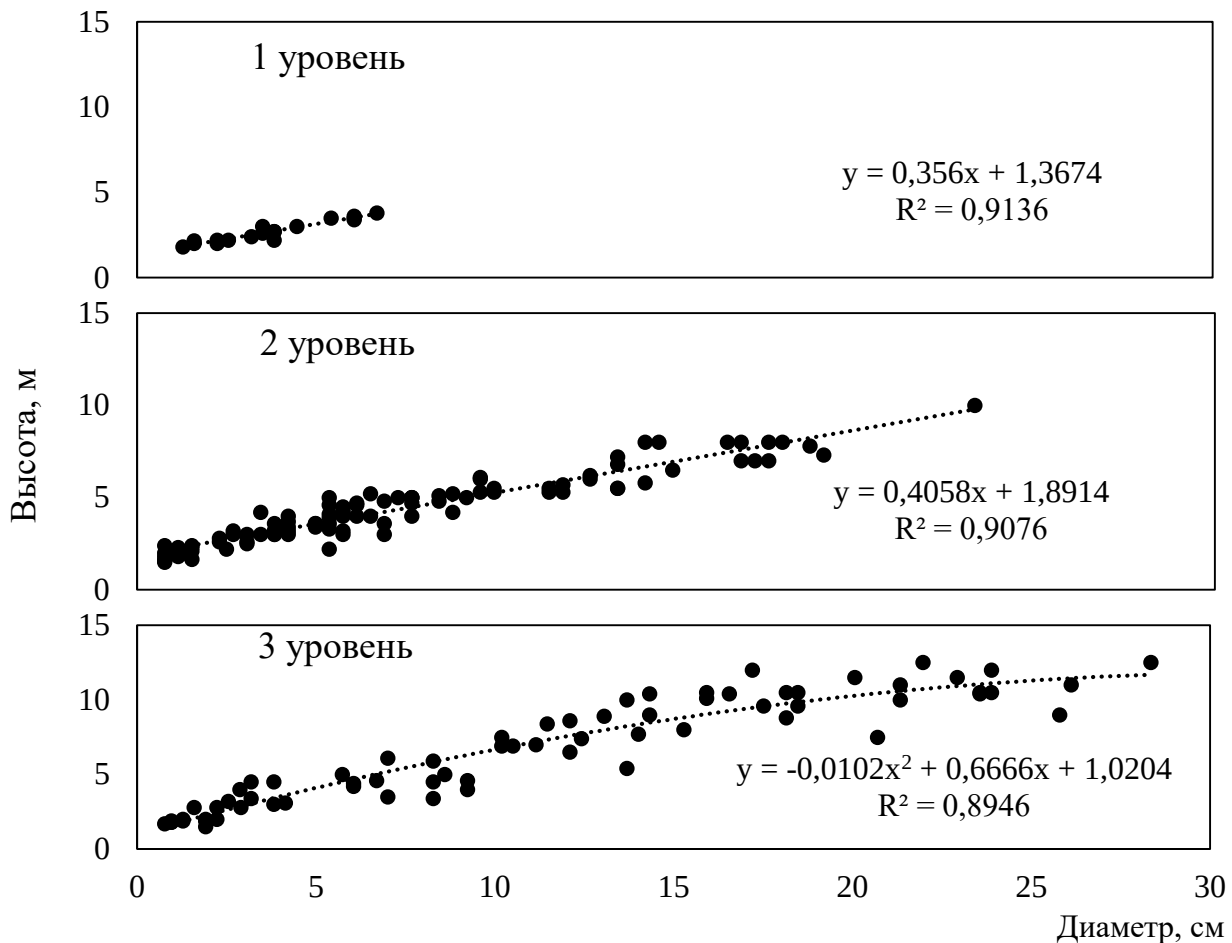


Рисунок 2 – Зависимость высоты деревьев от их диаметра на разных высотных уровнях южного профиля

Обнаруживается, что при одинаковом диаметре ствола диаметр кроны деревьев заметно увеличивается по мере продвижения вверх по склону. Так, на западном профиле у деревьев диаметром 10 см диаметр крон на четвертом уровне составляет в среднем 1,82 м, на третьем – 2,80 м, на втором – 3,20 м и на первом – 3,38 м. Такое положение исследователи верхней границы леса (Бабенко, 2006; Бартыш, 2008; Григорьев, 2011) объясняют увеличением ранга деревьев одинаковой толщины с повышением высотной позиции древостоев.

На основе специальных исследований установлено, что соотношения между диаметрами крон (м) и стволов (см) закономерно уменьшаются по мере снижения высоты над уровнем моря (повышения конкуренции между деревьями). Вычисленные средние значения этого показателя в целом по всем профилям составляют: для первого высотного уровня 0,38, для второго – 0,31, для третьего – 0,25 и для четвертого – 0,18. Полученные данные могут использоваться как коэффициенты для приближенной оценки диаметров крон деревьев по диаметрам стволов и наоборот.

6.2.3. Зависимость диаметра стволов от их высоты и диаметра крон

В специальной литературе (Сухих, 2005) отмечается предпочтительность определения среднего диаметра на основе многофакторных уравнений (с двумя и более определяющими факторами).

Зависимость диаметра стволов от их высоты и диаметра крон изучалась по совокупности всех деревьев на исследуемых высотных уровнях и профилях. На начальном

этапе по объединенному массиву экспериментальных материалов нами проведен графический анализ зависимостей диаметра стволов ($D_{1,3}$) от диаметра кроны ($D_{кр}$), а также диаметра стволов от их высоты (H). Указанные зависимости с небольшими допущениями можно признать прямолинейными по форме. Прямолинейный характер зависимостей позволил разработать двухфакторное уравнение:

$$D_{1,3} = -3,0594 + 1,4691 H + 1,4726 * D_{кр}, \quad R^2 = 0,803, \quad \delta = 3,8 \text{ см} \quad (1)$$

Статистические показатели уравнения (1) свидетельствуют, что оно корректно экспериментальным данным. Высота ствола и диаметр кроны вместе объясняют более 80% изменчивости диаметра стволов. Все константы уравнения (в том числе и при обеих независимых переменных) в высшей степени достоверны ($t_{факт} > t_{0,01}$). Уравнение характеризуется сравнительно низкой стандартной ошибкой.

Приведенные выше материалы позволяют сделать заключение, что разработанное уравнение адекватно природным закономерностям изменения диаметра стволов лиственницы в исследуемом древостое. Оно и составленное на его основе таблица, могут успешно применяться в качестве нормативов при дистанционных лесооценочных работах.

7. ЗАПАСЫ НАДЗЕМНОЙ ФИТОМАССЫ И ДЕПОНИРОВАННОГО УГЛЕРОДА В ДРЕВОСТОЯХ ЛИСТВЕННИЦЫ

7.1. Взаимосвязи между весовыми и размерными показателями деревьев лиственницы

По общему массиву модельных деревьев установлены четкие зависимости общей надземной фитомассы деревьев и массы ее отдельных фракций (стволов в коре, ветвей и хвои) в абсолютно сухом состоянии от диаметра стволов на 1,3 м, которые корректно описываются степенной (аллометрической) функцией. Наиболее тесно с диаметром связана масса стволов ($R^2 = 0,980$), а наименее тесно – масса хвои ($R^2 = 0,846$). Связь массы ветвей от диаметра стволов по тесноте занимает промежуточное положение ($R^2 = 0,901$). Такое положение объясняется разной степенью изменчивости данных фракций фитомассы. Зависимости отдельных фракций надземной фитомассы от диаметра стволов у основания по характеру и тесноте очень близки к рассмотренным выше.

При определении запасов фитомассы древостоев регрессионным методом по общим для всех высотных уровней уравнениям, на наш взгляд, при их разработке более предпочтительно использование в качестве независимой переменной показателя $D_{1,3}^2 * H$, а не диаметров ствола у основания или на 1,3 м. Это объясняется следующими двумя обстоятельствами. Во-первых, зависимости общей надземной фитомассы, а также массы стволов, ветвей и хвои от показателя $D_{1,3}^2 * H$ характеризуются очень высокой теснотой и носят прямолинейный характер (табл. 3). Во-вторых, переменная, представляющая собой комбинацию диаметра и высоты стволов, позволяет учесть изменения соотношений между диаметрами и высотами деревьев с повышением (или понижением) высоты над уровнем моря и более точно определить их фитомассу.

При определении показателя $D_{1,3}^2 * H$ и диаметр, и высота деревьев выражались в метрах. Значения коэффициента детерминации (R^2) уравнений (2–5) свидетельствуют, что изменчивость всех фракций надземной фитомассы деревьев существенным образом определяется их показателем $D_{1,3}^2 * H$. Вполне логично, что масса стволов на основе этого показателя устанавливается точнее ($R^2 = 0,964$), чем масса ветвей ($R^2 = 0,961$), а масса ветвей – точнее, чем масса хвои ($R^2 = 0,900$). В целом, можно констатировать, что получен-

Таблица 3 – Характеристики уравнений зависимости фракций фитомассы деревьев лиственницы от их показателя $D_{1,3}^2H$ вида: $P_i = a * D_{1,3}^2H + b$

Фракции фитомассы	Значения коэффициентов		R^2	№ уравнения
	a	b		
Ствол	149,4900	5,3103	0,964	(2)
Ветви	46,8330	-0,5973	0,961	(3)
Хвоя	10,5080	0,3751	0,900	(4)
Общая надземная	222,1500	4,6288	0,958	(5)

ные уравнения адекватны экспериментальным материалам и корректно передают характер исследуемых зависимостей. По ним можно рассчитать фитомассу стволов, ветвей и хвои, и общую надземную для деревьев лиственницы

7.2. Запасы надземной фитомассы и депонированного углерода в исследуемых лиственничниках

Запасы отдельных фракций надземной фитомассы древостоев в абсолютно сухом состоянии по высотным уровням заложенных профилей определялись с использованием уравнений (2) – (4) и материалов индивидуального учета деревьев на пробных площадях. Полученные результаты свидетельствуют, что надземная фитомасса древостоев на всех профилях существенно увеличивается по мере снижения высоты над уровнем моря (рис. 3).

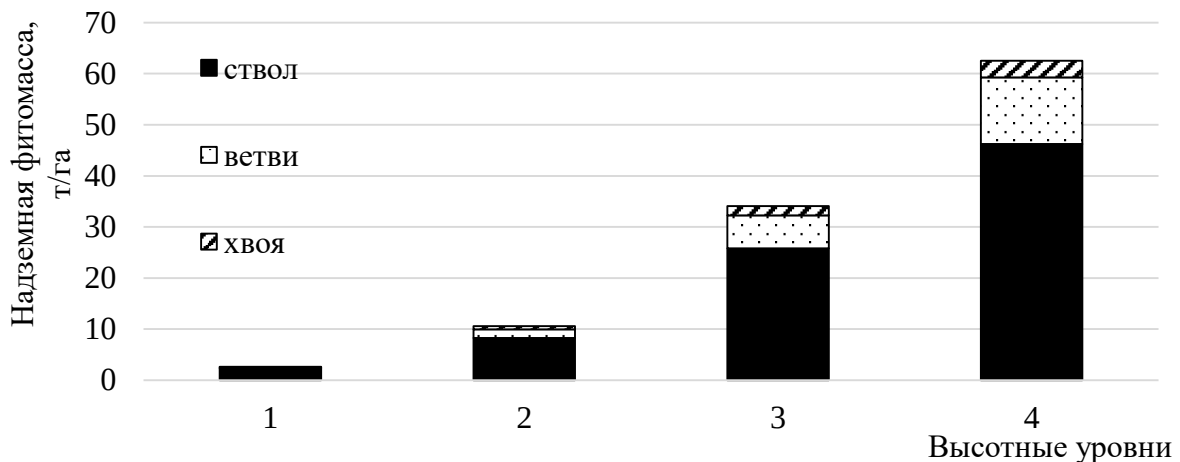


Рисунок 3 – Запасы надземной фитомассы древостоев на различных высотных уровнях в среднем по всем профилям

В среднем по всем профилям общая надземная фитомасса на четвертом высотном уровне (62,54 т/га) в 23,5 раза больше, чем на первом (2,66 т/га). На полных профилях со всеми четырьмя высотными уровнями на каждые 10 м высоты над уровнем моря общая надземная фитомасса древостоев в среднем увеличивается: на западном склоне на 2,3 т/га, восточном - на 2,6 т/га и южном - на 4,61 т/га.

В надземной фитомассе исследуемых древостоев преобладают стволы и ветви – органы, длительно аккумулирующие органическое вещество. Так, на разных высотных уровнях всех исследуемых профилей удельный вес массы стволов колеблется от 73,9 до 86,1%, ветвей – от 7,9 до 20,8%, а хвои – только от 5,2 до 6,1%. С повышением высоты над уровнем моря закономерно снижается доля стволовой древесины и, соответственно, повышается доля крон в целом и хвои (в том числе). Охвоенность крон (доля хвои в общей

фитомассе крон древостоев) в среднем по всем профилям составляет от 21,6 до 42,1%. С увеличением высоты над уровнем моря этот показатель закономерно повышается.

Повышение доли массы хвои, а, следовательно, и общей массы крон с ухудшением условий местопроизрастания и уменьшение возраста деревьев является доказанным фактом. Таким образом, выявляется принципиальное сходство полученных нами данных с известными в литературе положениями по формированию надземной фитомассы древостоев, при некотором количественном расхождении результатов.

Для определения запасов, депонированного в надземной фитомассе лиственничников 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. 4.

Таблица 4 – Запасы депонированного углерода в надземной фитомассе исследуемых лиственничников (в среднем по всем профилям)

Высотные уровни	Запасы углерода в фитомассе, кг/га		
	стволов и ветвей	хвои	всего
1	1248,3	72,8	1321,1
2	4994,3	264,6	5258,9
3	16122,0	822,3	16944,2
4	29632,2	1474,4	31106,6

Полученные нами материалы по запасам надземной фитомассы и депонированного углерода в исследуемых лиственничниках могут быть использованы для оценки и прогноза биосферной роли (в частности, углеродного бюджета) лесов, формирующихся на ранее безлесных территориях плато Путорана в результате современных изменений климата.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За последнее столетие климат в исследуемом районе стал более теплым и влажным: среднегодовая температура воздуха повысилась на 1,03 °C, а количество осадков возросло на 82 мм.

Локальные условия местопроизрастания (приземная температура воздуха, температура почвы, глубина снежного покрова), оказывающие существенное влияние на формирование и рост древостоев, в значительной степени обусловлены экспозицией склонов и высотой над уровнем моря.

Изменения древесно-кольцевых хронологий осреднённых радиальных приростов на всех склонах имеют общие закономерности: деревья молодых поколений (до 80 лет) характеризуются ярко выраженными трендами на увеличение осредненных приростов, а более старших поколений, наоборот, отличаются трендами к уменьшению. Молодые поколения деревьев при одинаковом возрасте в верхних частях склонов отличаются более высокими значениями ШГК, чем в их нижних частях. В этой связи можно предположить, что в условиях Субарктики важнейшими факторами для формирования радиального прироста деревьев являются количество поступающей солнечной радиации и прогреваемость стволов, которые более значимы на верхних участках экотона с пониженной сомкнутостью крон.

В связи с потеплением и увлажнением климата в районе исследований наблюдается продвижение по высотному градиенту верхней границы древесной растительности.

Доказательством этого процесса является закономерное уменьшение возраста ныне растущих деревьев, а также густоты и сомкнутости крон древостоев с повышением высоты над уровнем моря.

Процесс лесовозобновления на всех склонах очень растянут во времени, продолжительность его исчисляется столетиями. В этой связи наибольшее распространение имеют циклично разновозрастные и ступенчато разновозрастные древостои, состоящие из нескольких морфологически невыраженных поколений леса. В целом, высокая разновозрастность древостоев в верхней границе леса может рассматриваться как фактор их выживаемости и устойчивости в крайне неблагоприятных лесорастительных условиях.

Исследуемые древостои лиственницы (совокупности крайне разновозрастных деревьев) на каждом высотном уровне отличаются значительным диапазоном изменения таксационных показателей деревьев – возраста, диаметра и высоты. При прочих равных условиях коэффициенты изменчивости этих показателей в исследуемых древостоях в среднем в 1,3-1,9 раза выше, чем в отдельно взятых элементах леса. Чрезвычайно высокая изменчивость диаметра и высоты стволов в лиственничниках, связанная в первую очередь с их высокой разновозрастностью, свидетельствует о их фитоценотической устойчивости. Есть основание констатировать, что формирующиеся в результате потепления климата на ранее безлесных территориях насаждения в обозримом будущем способны поддерживать свое жизненное состояние и успешно выполнять в экстремальных условиях высокогорий важнейшие биосферные и экологические функции.

В исследуемых древостоях, независимо от их высотной позиции, наблюдаются достаточно устойчивые связи между таксационными показателями стволов и крон, в частности, между диаметром и высотой стволов, диаметром стволов и диаметром крон, размерными и весовыми характеристиками деревьев.

Древостои характеризуются низкой производительностью (Va-Vб классами бонитета). Средние значения диаметра и высоты деревьев, общего прироста по этим показателям, а также запасы надземной фитомассы лиственницы на склонах любой экспозиции закономерно уменьшаются с повышением высоты над уровнем моря. В среднем по всем профилям общая надземная фитомасса на четвертом высотном уровне (62,54 т/га) в 23,5 раза больше, чем на первом (2,66 т/га). На полных профилях со всеми четырьмя высотными уровнями на каждые 10 м высоты над уровнем моря общая надземная фитомасса древостоев в среднем увеличивается: на западном склоне на 2,3 т/га, восточном - на 2,6 т/га и южном - на 4,61 т/га.

В целом, исследуемые древостои на склонах той или иной экспозиции, а в пределах склонов – на разных высотных уровнях, характеризуются значительно большим диапазоном изменчивости таксационных показателей деревьев и несколько меньшей теснотой связей между ними, чем отдельные элементы и поколения леса. Однако в них сохраняются закономерности строения древостоев по таксационным признакам, присущие элементам (поколениям) леса. Данное обстоятельство с биологических позиций характеризует их как сформировавшиеся природные объекты и указывает на возможность синтетической оценки разновозрастных древостоев, но в пределах выделяемых высотных уровней.

Полученные в ходе исследований результаты (регрессионные уравнения, таблицы запасов надземной фитомассы и депонированного углерода, теоретические обобщения и др.) могут быть использованы при таксации и оценке экологической роли лиственничников в высокогорьях плато Путорана.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ и входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования

1. Grigor'ev, A.A. Structure and Dynamics of Tree Stands at the Upper Timberline in the Western Part of the Putorana Plateau / A.A. Grigor'ev, N.M. Devi, V.V. Kukarskikh, **S.O. V'yukhin**, A.A. Galimova, P.A. Moiseev, V.V. Fomin / Russian Journal of Ecology. – 2019. – Vol. 50, N 4. – P. 311-322.

2. Grigoriev, A.A. Upward treeline shifts in two regions of Subarctic Russia are governed by summer thermal and winter snow conditions / A.A. Grigoriev, Y.V. Shalaumova, **S.O. Vyukhin**, D.S. Balakin, V.V. Kukarskikh, A.A. Vyukhina, J.J. Camarero, P.A. Moiseev // Forests. – 2022. – Vol. 13. – 174.

3. Moiseev, P.A. Stand Biomass at Treeline Ecotone in Russian Subarctic Mountains Is Primarily Related to Species Composition but Its Dynamics Driven by Improvement of Climatic Conditions / P.A. Moiseev, F. Hagedorn, D.S. Balakin, M.O. Bubnov, N.M. Devi, V.V. Kukarskikh, V.S. Mazepa, **S.O. Viyukhin**, A.A. Viyukhina, A.A. Grigoriev // Forests. – 2022. – Vol. 13. – 254.

4. Григорьев, А.А. Пространственно-временная динамика продвижения древесной и кустарниковой растительности в горную тундру Дальнего Таганая (Южный Урал) / А.А. Григорьев, Р.С. Клям, **С.О. Вьюхин**, А.М. Громов, Д.С. Балакин, И.Б. Воробьев, Ю.В. Шалаумова // Леса России и хозяйство в них. - 2023. - № 3 (86). – С. 28-38.

5. **Вьюхин, С.О.** Структура и динамика ценопопуляций ольховника кустарникового в экотоне лес-горная тундра западной части плато Путорана / С.О. Вьюхин, А.А. Григорьев, Д.С. Балакин, А.С. Тимофеев, П.А. Моисеев // Сибирский лесной журнал. – 2024. – № 4. – С. 38-47.

6. **Вьюхин, С.О.** Структура и динамика ценопопуляций можжевельника Сибирского (*Juniperus sibirica* Burgsd) на верхнем пределе его произрастания в западной части плато Путорана / С.О. Вьюхин, А.А. Григорьев, Д.С. Балакин, А.С. Тимофеев // Географическая среда и живые системы. – 2024. – № 2. – С. 67-82.

7. Moiseev, P.A. Leading directions and effective distance of larch offspring dispersal at the upper treeline in the Northern and Polar Urals, Russia / P.A. Moiseev, V.L. Semerikov, T.V. Semerikova, D.S. Balakin, I.B. Vorobiev, **S.O. Viyukhin** // Forest Ecosystems. – 2024. – Vol. 11. P. 100218.

Публикации в других изданиях

8. Тимофеев, А.С. Структура и динамика древесной и кустарниковой растительности на верхнем пределе своего произрастания на плато Путорана / А.С. Тимофеев, **С.О. Вьюхин**, А.А. Григорьев, П.А. Моисеев // Леса России и хозяйство в них. – 2021. – № 1 (76). – С. 23-28.

9. **Вьюхин, С.О.** Продвижение лиственничных древостоев выше в горы на плато Путорана / С.О. Вьюхин, А.А. Григорьев, П.А. Моисеев // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: Материалы XIV Всеросс. науч.-техн. конф. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2018. – С. 413-416.

10. **Вьюхин, С.О.** Современная экспансия древесно-кустарниковой растительности на малоснежных участках склонов г. Дальний Таганай (Южный Урал) / С.О. Вьюхин, А.А. Григорьев, П.А. Моисеев, Д.С. Балакин, Ю.В. Шалаумова // Научное творчество

молодежи – лесному комплексу России: Материалы XVII Всеросс. науч.-техн. конф. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2021. – С. 233–235.

11. **Вьюхин, С.О.** Современная экспансия лиственничных древостоев и ольхи кустарниковой на плато Путорана / С.О. Вьюхин, А.С. Тимофеев, А.А. Григорьев, П.А. Моисеев, Д.С. Балакин // Научное творчество молодежи - лесному комплексу России: Материалы XVII Всеросс. науч.-техн. конф. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2021. – С. 236-238.

12. **Вьюхин, С.О.** Изменение морфометрических параметров древостоев в экотоне лес – горная тундра в XXI веке / С.О. Вьюхин, Д.С. Балакин, А.А. Григорьев, П.А. Моисеев // Научное творчество молодежи - лесному комплексу России: Материалы XVIII Всеросс. (нац.) науч.-техн. конф. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2022. – С. 55-59.

13. **Вьюхин, С.О.** Современная экспансия древесной растительности в горные тундры и луга в горах Республики Алтай / С.О. Вьюхин, А.А. Вьюхина, А.С. Тимофеев, А.А. Григорьев // Научное творчество молодежи - лесному комплексу России: Материалы XIX Всеросс. (нац.) науч.-техн. конф. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2023. – С. 81-85.

14. **Вьюхин, С.О.** Изменчивость радиального прироста лиственницы Гмелина на плато Путорана в пределах экотона лес – горная тундра / С.О. Вьюхин, А.А. Вьюхина, А.С. Тимофеев, А.А. Григорьев // Научное творчество молодежи - лесному комплексу России: Материалы XX Всеросс. (нац.) науч.-техн. конф. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2024. – С. 78-82.

15. **Вьюхин, С.О.** Структура и динамика древесной растительности в горах плато Путорана / С.О. Вьюхин, А.А. Григорьев, Д.С. Балакин, Ю.В. Шалаумова, А.С. Тимофеев, П.А. Моисеев // Биоразнообразие экосистем Крайнего Севера: инвентаризация, мониторинг, охрана IV Всеросс. науч. конф. доклады: научное электронное издание – Сыктывкар: ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2023. – С. 18-24.

16. **Вьюхин, С.О.** Современная и прогнозируемая экспансия леса в горные тундры и луга в западной части Катунского хребта / С.О. Вьюхин, Д.С. Балакин, А.А. Григорьев, Ю.В. Шалаумова, П.А. Моисеев // Горные экосистемы и их компоненты: Доклады IX Всеросс. конф. с междунар. участием. – Нальчик, 2024. – С. 71.

Отзыв на автореферат просим направить в 1 экземпляре по адресу: 620100 г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37 УГЛТУ, ученому секретарю диссертационного совета 24.2.424.02 Магасумовой А.Г. e-mail: dissovet.usfeu@mail.ru

Подписано в печать «___»_____.2025. Объем 1,0 авт.л. Заказ № _____. Тираж 100 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37. ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет». Сектор оперативной полиграфии РИО