

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки
БОТАНИЧЕСКИЙ САД
Уральского отделения**

Российской академии наук

620144 г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202а
тел. (343) 210-38-59, факс (343) 210-57-54
e-mail: common@botgard.uran.ru

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки

Ботанический сад Уральского отделения
Российской академии наук

Третьякова д.б.н. А.С. Третьякова

«12» мая 2026 г.



от 12.05.2026 № 322-11/01-103
на _____ от _____

**Отзыв ведущей организации Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Ботанический сад Уральского отделения
Российской академии наук на диссертацию
Агапитова Егора Михайловича «Пространственно-временная динамика
и депонирование углерода листовыми частями сибирской в экотоне верхней
границы древесной растительности на Полярном Урале в условиях
современного изменения климата», представленной на соискание ученой
степени кандидата биологических наук по специальности 4.1.6 -
Лесоведение, лесоводство, лесные культуры, агролесомелиорация,
озеленение, лесная пирология и таксация**

Общая характеристика работы

Актуальность диссертационной работы. Важность и своевременность рассматриваемой диссертации следует из того, что исследование реакции биоты на изменение климата является ключевым трендом науки, а древесная растительность у верхнего предела произрастания — чувствительным индикатором климатических изменений. Как показали исследования (Горчаковский, Шиятов, 1977; Шиятов, 1986; Капралов, 2007; Мазепа, 2009; Григорьев и др., 2019; Савчук и др., 2023; Дзюба и др., 2024), горные лесные и лесотундровые экосистемы служат мониторинговыми полигонами. Остаются нерешёнными методические и прикладные задачи: переход от выборочных оценок к индивидуальной оценке каждого экземпляра с использованием беспилотных авиационных систем, что позволит получить данные по фитомассе и депонированию углерода. Указанное свидетельствует о несомненной актуальности исследований климатогенной реакции древесной растительности вблизи верхнего предела её произрастания.

Цель исследования, сформулированная автором, является однозначной, соответствует теме диссертации и выбранному направлению работы. Поставленные в соответствии с целью задачи решены последовательно, что позволило получить ответы на все вопросы и достичь цели. Научные

положения, выносимые на защиту, представлены корректно, согласуются с направлением работы и в совокупности раскрывают её научную и практическую значимость. Данные положения полностью обоснованы содержанием диссертации, подтверждены её результатами, нашли практическое и теоретическое обоснование в главах работы, а также отражены в публикациях.

Работа обладает научной новизной. Впервые для района исследований на основе комплексного подхода с учетом специфики региональных природных условий разработана методика определения возрастных поколений лиственницы сибирской по величине радиуса горизонтальной проекции кроны. На ее основе с использованием данных, полученных в результате дешифрирования крон экземпляров лиственницы сибирской по аэроснимкам сверхвысокого пространственного разрешения, создана картосхема распределения лиственницы сибирской в экотоне верхней границы древесной растительности по возрастным поколениям до 10 лет включительно, от 11 до 40 лет включительно, и старше 40 лет. Проведена оценка величины фитомассы и депонирования углерода лиственницей сибирской в районе исследований, в том числе по возрастным поколениям.

Работа имеет существенное теоретическое значение. Теоретическая значимость работы заключается в разработке методики определения возрастных поколений лиственницы сибирской по проекции кроны, модели взаимосвязи её биометрических параметров для расчёта фитомассы и депонирования углерода по данным сверхвысокого разрешения, а также в возможности применения предложенного методологического подхода для исследования древесной растительности вблизи верхнего предела произрастания в других горных системах.

Практическое значение. Разработанные модели и методики могут быть применены для экологического мониторинга и реализации лесоклиматических проектов на особо охраняемых природных территориях вблизи верхней границы древесной растительности Полярного Урала.

Содержание диссертации соответствует специальности 4.1.6 - Лесоведение, лесоводство, лесные культуры, агролесомелиорация, озеленение, лесная пирология и таксация. Содержание диссертации находится в полном соответствии с заявленной темой. Автореферат воспроизводит основные положения и результаты диссертационного исследования без искажений.

Достоверность и обоснованность результатов исследования не вызывают сомнений, что обусловлено адекватным методическим подходом к решению поставленных задач, использованием современных и апробированных методик, значительным объёмом эмпирического материала, а также продолжительностью полевых исследований. При обработке полученных данных применялись современные математические методы и

вычислительные средства. Диссертационная работа носит авторский характер; личное участие Агапитова Егора Михайловича в её выполнении является полным и исчерпывающим.

Диссертация достаточно полно апробирована на международных и всероссийских научных конференциях.

Основное содержание диссертации опубликовано в 14 печатных изданиях, в том числе три работы в журналах, рекомендуемых ВАК РФ и журналах, входящих в международные базы данных Web of Science и (или) Scopus.

Структура и объём диссертации отвечают действующим требованиям. Диссертация изложена на страницах машинописного текста и включает в себя введение, четыре главы, заключение, список сокращений и условных обозначений, библиографический список и одно приложение. Библиографическое описание включает в себя 294 источника, в том числе 41 на иностранных языках. Текст диссертации изложен на 123 страницах, включает 14 рисунков и 3 таблицы.

Анализ глав и разделов диссертации

Введение (стр. 3–10) содержит объективно изложенные основные характеристики диссертации: обоснование актуальности, данные о новизне, научной и практической значимости, сведения об апробации результатов, перечень выносимых на защиту положений, цели и задачи исследования, информацию об опубликованных работах, а также о структуре работы и других её параметрах.

В главе 1 «Современное состояние исследований в области климатогенной пространственно-временной динамики древесной растительности вблизи верхнего предела ее произрастания с использованием данных дистанционного зондирования» (стр. 11 – 33) представлен обзор эволюции методов изучения реакции древесной растительности на климатические изменения – от первых аэрофотоснимков XIX в. до современных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), геоинформационных систем (ГИС) и методов машинного обучения. Проанализированы публикационная активность, типы сенсоров, вегетационные индексы, а также недостатки существующих подходов к мониторингу лесов. Рассмотрена история изучения верхней границы леса – от Александра фон Гумбольда до систематических исследований на Урале, Алтае, Кавказе и в Сибири. Отмечен вклад П. Л. Горчаковского в разработку учения о высотной зональности и закономерностях положения растительного покрова, С. Г. Шиятова – в создание длительных древесно-кольцевых хронологий и изучение динамики верхней границы леса, В. А. Усольцева – в создание баз данных по фитомассе древостоев и разработку аллометрических моделей оценки депонирования углерода, а также других исследователей в развитие дендрохронологии и методов оценки фитомассы. Сделан вывод, что

современные методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) открывают новые возможности, но сохраняется ряд нерешённых методических проблем.

Ссылки на цитируемых авторов, чьи работы упоминаются в тексте диссертации, корректны.

В главе 2 «Программа, методика и объект исследования» (стр. 34 – 51) охарактеризован район работ – юго-восточный макросклон массива Рай-Из (Полярный Урал, природный парк «Ингилор»), где объектом исследований выбрана лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.). Описаны ледниковый рельеф, курумники, субарктический климат с коротким летом и снежным покровом до середины июля, а также растительный покров (чистые лиственничники, единичные ель и берёза, голубика, мхи, лишайники). Программа исследований включала закладку 9 круговых пробных площадей, измерение биометрических параметров, аэрофотосъёмку (беспилотный летательный аппарат DJI Phantom 4 Advanced, высота 50 м), создание ортофотоплана в Agisoft Metashape Professional, ручное дешифрирование крон четырьмя операторами с валидацией по ГОСТ Р ИСО 5725-2–2002 (показатели h и k), построение моделей оценки возраста по радиусу кроны и фитомассы по диаметру шейки корня. Подчёркнуто, что сложная мозаичная структура растительности, тени, многоствольность и слияние крон не позволяют использовать автоматизированные методы распознавания, а разработанная методика ручного дешифрирования с контролем согласованности операторов обеспечивает достоверные результаты в пределах экотона верхней границы древесной растительности.

В главе 3 «Реконструкция возрастных поколений популяции лиственницы сибирской» (стр. 52 – 63) представлен подход к выделению возрастных поколений по радиусу кроны на основе данных наземных измерений на пробных площадях. Наземные данные (возраст и радиусы крон) сведены в единый массив и ранжированы по трём возрастным интервалам: 1–10 лет (подрост), 11–40 лет (молодняки), старше 40 лет (средневозрастные и старше). С помощью статистического анализа в среде R установлено, что распределение радиусов кроны наилучшим образом описывается трёхпараметрическим распределением Вейбулла. Определены пороговые значения радиуса кроны: до 0,17 м – высокая вероятность принадлежности к интервалу 1–10 лет, от 0,17 до 0,69 м – к интервалу 11–40 лет, свыше 0,69 м – к интервалу старше 40 лет. Валидация дешифрирования (четыре оператора, по ГОСТ Р ИСО 5725-2–2002) подтвердила высокую согласованность и воспроизводимость результатов. На основе ручного дешифрирования аэроснимков (беспилотный летательный аппарат) создана картосхема распределения 88608 экземпляров лиственницы по возрастным поколениям (16980 – до 10 лет, 51740 – 11–40 лет, 19888 – старше 40 лет). Установлено, что молодые поколения чаще расположены вблизи взрослых деревьев, которые служат источником обсеменения и защитой от снеговой корразии.

Соотношение численности особей 11–40 лет к особям до 10 лет составляет 3,04, что свидетельствует о примерно одинаковом уровне пополнения по десятилетиям за последние 40 лет. Отмечены ограничения метода (перекрытие крон, напочвенный покров, конкуренция) и возрастающее влияние биотических факторов (фитопатогены, грызуны) и антропогенного воздействия (выпас северных оленей).

В главе 4 «Количественная оценка депонирования углерода лиственницей сибирской в XX – начале XXI вв.» (стр. 64 – 73) обоснована актуальность количественного учёта фитомассы и углерода в контексте Парижского соглашения и климатической политики РФ (лесоклиматические проекты, углеродная нейтральность). На основе наземных измерений на пробных площадях выполнено сравнение трёх моделей взаимосвязи диаметра шейки корня и радиуса кроны: «случайный лес», ансамбль моделей и нелинейная регрессия ($y = 13,463x^{1,185}$, $R^2 = 0,960$). Несмотря на более высокие статистические показатели моделей машинного обучения, для экстраполяции выбрана параметрическая нелинейная регрессионная модель из-за её применимости за пределами обучающей выборки. Для расчёта сухой фитомассы (надземной и подземной) использованы региональные аллометрические модели (Мазепа, Шиятов, 2014; Devi et al., 2020). С помощью углеродного коэффициента 0,5 и стехиометрического пересчёта ($CO_2/C = 3,667$) оценён запас депонированного углерода и его CO_2 -эквивалент. На исследуемой территории общая фитомасса лиственницы сибирской (88608 экземпляров) составила 1355,2 т, содержание углерода – 677,6 т, величина CO_2 -эквивалента – 2485 ± 184 т. Распределение по возрастным интервалам показало, что деревья старше 40 лет (22,5 % от общего числа) аккумулируют 93,37 % всей фитомассы, тогда как подрост (1–10 лет, 19,3 % численности) – лишь 0,13 %, а молодняки (11–40 лет, 58,2 % численности) – 6,5 %. Сделан вывод, что разработанный подход обеспечивает объективную оценку запасов углерода в лиственничных редколесьях вблизи верхнего предела произрастания и может быть использован для экономической оценки экосистемной услуги депонирования углерода на рынке углеродных единиц.

Заключение (стр. 74 – 75) представляет собой обобщение ключевых результатов выполненного диссертационного исследования.

Библиографический список (стр. 77 – 114) включает все источники, цитируемые в тексте диссертации. Его оформление соответствует установленным требованиям.

Замечания по диссертации:

1) В главе 3 предложен способ отнесения деревьев к возрастным интервалам на основе пороговых значений радиуса кроны (0,17 и 0,69 м), однако отсутствуют прямые регрессионные уравнения зависимости возраста

от радиуса кроны или диаметра шейки корня, что ограничивает возможность количественного прогнозирования возраста для каждого индивидуального дерева.

2) В главе 4 не приведено сравнение полученных данных о фитомассе и содержании углерода с результатами аналогичных исследований на других территориях. Было бы полезно представить такой сравнительный анализ или хотя бы обсудить, как полученные величины соотносятся с известными литературными данными по листовничным редколесьям.

3) В главе 4 приведены итоговые значения фитомассы и углерода для всей исследуемой территории, однако площадь этой территории (7,32 км²) указана только в заключении (стр. 75), а в самой главе 4 отсутствует. Кроме того, было бы полезно представить показатели фитомассы и углерода в расчёте на единицу площади (например, тонн/га), что облегчило бы сопоставление полученных результатов с данными других исследований на сходных территориях.

Общее заключение по работе

Диссертация Егора Михайловича Агапитова характеризуется внутренним единством, что обусловлено общим методическим подходом к проведению исследований. Все её части посвящены достижению единой цели - анализ пространственно-временной динамики и величины депонирования углерода листовницей сибирской вблизи верхнего предела ее произрастания в условиях современного изменения климата. Каждая из глав и их разделы последовательно освещают объект исследований, логически связаны между собой и вместе составляют целостную завершённую работу. Достигнутые в ней результаты соответствуют поставленной цели и намеченным задачам.


В целом, диссертационная работа Егора Михайловича Агапитова «Пространственно-временная динамика и депонирование углерода листовницей сибирской в экотоне верхней границы древесной растительности на Полярном Урале в условиях современного изменения климата» представленная к защите на соискание ученой степени кандидата биологических наук, основана на огромном фактическом материале, является завершённым научным исследованием, в ней содержатся новые и научно-обоснованные результаты, имеет важное теоретическое и практическое значение. Работа соответствует требованиям п.п. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (в редакции от 01.10.2018), а ее автор - Агапитов Егор Михайлович - заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата биологических наук по специальности 4.1.6 - Лесоведение,

лесоводство, лесные культуры, агролесомелиорация, озеленение, лесная пирология и таксация.

Диссертационная работа, автореферат Егора Михайловича Агапитова и отзыв рассмотрены, обсуждены и одобрены на заседании лаборатории популяционной биологии древесных растений и динамики леса Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук (протокол № 2 от «6» мая 2026 г).


Отзыв подготовил:

Цепордей Иван Степанович, кандидат сельскохозяйственных наук (научная специальность по которой защищена диссертация: 06.03.02. - Лесоведение, лесоводство, лесоустройство и лесная таксация), старший научный сотрудник лаборатории популяционной биологии древесных растений и динамики леса; адрес электронной почты ivan.tsepordey@yandex.ru

 И.С. Цепордей

Собственноручную подпись
И.С. Цепордея заверяю:

Ученый секретарь
Ботанического сада УрО РАН,
кандидат сельскохозяйственных наук

 Е.Н. Флягин

Сведения о ведущей организации
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук
Почтовый адрес 620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. 8 марта, 202а
Телефон: 8 (343) 210-38-59, E-mail: common@botgard.uran.ru
Сайт: <https://botgard.ru>