

## Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу Балакина Дмитрия Сергеевича на тему: «Формирование, рост и продуктивность древостоев на верхнем пределе их произрастания в горах Южного Урала в условиях современного изменения климата», представленной на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук по специальности 4.1.6 – Лесоведение, лесоводство, лесные культуры, агролесомелиорация, озеленение, лесная пирология и таксация

**Актуальность темы.** В последние годы в горных районах страны зафиксировано повышение верхней границы леса и экспансия древесно-кустарниковой растительности в горные тундры, вызванные потеплением климата. Территории, занятые лесом, заметно расширяются, однако сформировавшиеся в новых условиях древостои количественно недостаточно изучены. Сведения об их росте, продуктивности и экосистемных функциях (в частности, о роли поглотителя углерода) крайне важны, но остаются недооценёнными. Практически отсутствуют данные длительных наблюдений на постоянных пробных площадях в высокогорьях.

**Степень разработанности темы.** К настоящему времени для горных территорий разных регионов накоплены данные о процессах лесовозобновления и факторах, которые на них влияют, о сдвигах верхней границы леса вверх по склонам, о морфогенезе и жизненных формах растений, о климатогенной динамике и структуре древесной растительности вблизи её верхнего предела, а также об особенностях формирования и строения высокогорных древостоев. Однако исследования, посвящённые росту, продуктивности и способности депонировать углерод у древостоев в высокогорных условиях, остаются разрозненными и не носят системного характера.

**Научная новизна.** На основе многолетних исследований в высокогорьях Южного Урала впервые выполнен ретроспективный анализ формирования, структуры, роста и продуктивности древостоев на верхней границе леса. Выявлены возрастная структура и особенности распределения деревьев по возрасту. Установлены изменения таксационных показателей еловых и березовых древостоев за 20 лет в зависимости от высоты над уровнем моря. Определены запасы надземной фитомассы по фракциям, а также их текущие и средние изменения вдоль высотного градиента. Оценена углерододепонирующая способность древостоев ели и березы на разных высотных уровнях.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Полученные на стационарном объекте результаты развивают представления о формировании, росте и продуктивности высокогорных насаждений Урала в условиях климатических изменений. Они могут служить информационной, методической и экспериментальной основой для научных и лесоучётных

работ, оценки динамики древесной растительности и расчёта углеродного бюджета лесов региона.

**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.**

Научные положения, выводы и рекомендации, представленные в диссертации, являются обоснованными и достоверными. Это обеспечено комплексным подходом к изучению высокогорных экосистем, репрезентативностью эмпирического материала и его глубоким анализом, корректным использованием фундаментальных и прикладных научных разработок, применением апробированных методов лесоведения, лесоводства и лесной таксации, а также современных математико-статистических методов и стандартных компьютерных программ при обработке данных и интерпретации полученных результатов.

**Выносимые на защиту положения** в полной мере обоснованы теоретически и практически.

**Структура и объём диссертации.** Диссертационная работа объёмом 177 страниц состоит из введения, шести глав и заключения. Библиография включает 254 наименования (25 на иностранных языках). Текст сопровождается 21 рисунком и 21 таблицей.

**Апробация работы и публикации.** Результаты проведённого исследования получили достаточную научную апробацию. По теме диссертации опубликовано 15 работ, в том числе 11 — в изданиях, рекомендованных ВАК. Материалы работы докладывались на международных и всероссийских научных конференциях.

**Анализ содержания работы:**

**В первой главе** приведена физико-географическая характеристика района исследований — горного массива Ирмель, расположенного в наиболее высокогорной части Южного Урала (абсолютные высоты достигают 1600 м). Массив отличается сложным рельефом. На основе литературных данных в главе охарактеризованы геоморфология, климатические условия, почвенный покров и растительность.

**Во второй главе** представлен анализ работ, рассматривающих современные климатические изменения и их последствия для горных экосистем.

Глобальное изменение климата признано одной из ключевых проблем. Леса, выполняя функцию поглотителей CO<sub>2</sub>, сами подвержены климатически обусловленной трансформации. В горных экосистемах это выражается в смещении верхней границы древостоев вверх по склонам.

Закономерности роста и продуктивности насаждений в целом изучены детально, однако данные для верхнего предела их произрастания остаются фрагментарными.

Оценка фитомассы деревьев на современном этапе ориентирована преимущественно на анализ углерод-депонирующего потенциала лесов. Расширение древесной растительности в высокогорья актуализирует

исследование фитомассы насаждений на бывших безлесных территориях, однако объём выполненных работ недостаточен для формулирования обобщающих выводов.

### **Глава 3. Программа, объект, методика и объём исследований.**

Программа включала анализ литературы, закладку профиля и пробных площадей (ПП) на горе Малый Ирмель, таксацию, рубку модельных деревьев, оценку роста, продуктивности, фитомассы и углерода.

Объект — древостой юго-западного склона с преобладанием ели сибирской и примесью берёзы повислой. Изучены сомкнутые леса и экотон верхней границы древесной растительности (ЭВГДР) с полосами редин (сомкнутость  $<0,1$ ) и редколесий (0,1–0,3).

Методика базируется на методе высотных профилей (Шиятов, 2009). Использованы данные трёх высотных уровней (2002, 2012, 2022 гг.): 1360 м (редины), 1310 м (редколесья) и 1260 м (сомкнутый лес). На ПП 20×20 м выполнена таксация деревьев выше 1,5 м (порода, возраст, диаметр, высота). Срублено 103 модельных дерева. Фитомасса рассчитана регрессионным методом (Усольцев, Нагимов, 1988). Статистическая обработка проведена в Excel и Statistica.

Объём работ. Автор участвовал в исследованиях 2020–2025 гг. Заложено 14 ПП. Выполнено 223 определения возраста, 409 — диаметра и высоты. Материал репрезентативен.

**В четвёртой главе** представлены содержательные результаты исследований формирования и возрастной структуры древостоев на верхнем пределе произрастания. Использование перекрёстной датировки позволило автору надёжно установить хронологию лесовозобновления. Выявлена закономерность смещения его начала на более поздние сроки с ростом высоты (с 1875 г. на 5-м уровне до 1920 г. на 1–2-м), что свидетельствует о продвижении границы леса в горы. Детальный анализ показал растянутость лесовозобновления (80–120 лет), его пульсирующий характер, расширение возрастного диапазона на нижних уровнях и сужение на верхнем. Обосновано отнесение насаждений пятого уровня к циклично-разновозрастным, первого и второго — к ступенчато-разновозрастным. Вывод о разновозрастности как факторе устойчивости в экстремальных условиях теоретически важен.

**Пятая глава.** В пятой главе соискатель анализирует возрастную динамику роста и продуктивности древостоев ели и берёзы на верхнем пределе произрастания. С использованием функций Митчерлиха и Корсуня разработаны адекватные уравнения зависимости высоты и диаметра от возраста (коэффициенты детерминации высоки, показатель степени  $>1$ , что соответствует биологии древесных растений). Установлено, что ход роста специфичен для каждой породы и заметно различается по высотным уровням. Средняя высота ели закономерно снижается с поднятием в гору. По диаметру: до 70 лет лидируют ельники второго уровня, после 70 — пятого, что автор связывает с компенсаторным влиянием меньшей густоты древостоев в суровых условиях. Берёза на наиболее жёстком первом уровне растёт хуже

ели. Анализ таксационных показателей за 20 лет (2002–2022) показал низкую производительность древостоев (V класс бонитета), закономерное снижение высоты, диаметра, полноты и запаса с ростом высоты. Наиболее заметный прирост таксационных показателей отмечен на втором уровне, где редколесье трансформировалось в сомкнутое насаждение.

**Глава шестая.** В шестой главе соискатель оценивает динамику запасов фитомассы и депонированного углерода. На основе 88 модельных деревьев ели и 15 берёзы разработаны аллометрические уравнения, связывающие массу стволов, ветвей и хвои/листвы с таксационным диаметром (наибольшая теснота — для массы стволов,  $R^2$  до 0,907). Для учёта высотной изменчивости соотношений диаметра и высоты предложено использовать предиктор  $D^2H$ , обеспечивающий более точную оценку фитомассы. Установлено, что надземная фитомасса формируется преимущественно елью (77–96%). С повышением высоты запас фитомассы закономерно снижается: в среднем на 10,36 т/га на каждые 10 м высоты. За 20 лет (2002–2022) наиболее заметный относительный прирост фитомассы отмечен на втором уровне (в 3,5 раза), где редколесье трансформировалось в сомкнутый древостой. Интенсивность депонирования углерода на первом уровне возрастает, на втором стабильна, на пятом снижается (с 0,904 до 0,556 т/га в год), что автор связывает с пополнением древостоев первого и второго уровней молодыми поколениями деревьев и увеличением их полноты.

#### **Замечание по содержанию и оформлению работы:**

1) В диссертации и автореферате выявлено расхождение в данных о количестве пробных площадей. В главе 3 диссертации указано, что на трёх высотных уровнях профиля заложено 5–6 пробных площадей размером 20×20 м, тогда как в автореферате сообщается о закладке пробных площадей в количестве от 3 до 6. В связи с этим необходимо уточнить, какое именно количество пробных площадей было заложено на каждом высотном уровне.

2) Из текста автореферата следует, что с повышением высотной позиции древостоев изменяется их средний возраст: наименьшие значения этого показателя наблюдаются на втором уровне, а наибольшие — на пятом. Желательно пояснить, почему наименьший средний возраст зафиксирован именно на втором, а не на первом (самом высоком) уровне.

3) В таблицах с таксационным описанием отсутствуют количественные данные о густоте древостоя на каждом высотном уровне, необходимые для подтверждения выводов о сдерживающем влиянии густоты на процессы роста и лесовозобновления.

4) Автором установлено, что для елей до 30 лет прирост на втором высотном уровне оказался выше, чем на пятом, тогда как в целом с высотой прирост снижается. Не могли бы вы пояснить, чем вызвано данное исключение?

5) Автор констатирует, что на втором высотном уровне исследуемого профиля модельные деревья для анализа фитомассы не отбирались. Однако из текста работы не ясно, почему был пропущен именно второй уровень.

б) Автор использует показатель  $D^2H$  для оценки массы кроны. Вместе с тем, из литературы известно (Усольцев, 2017), что  $D^2H$  даёт устойчивые оценки для массы древесины и коры ствола, но для ветвей и хвои (листвы) — худшие по сравнению с зависимостью от одного диаметра ( $D$ ), поскольку при одном и том же диаметре связь массы кроны с высотой отрицательная, а не положительная, как это предполагает структура видового цилиндра. Хотелось бы уточнить, чем в данном случае обусловлен выбор в пользу  $D^2H$  для фракций кроны и проводилось ли сравнение с моделью от одного диаметра  $D$ .

7) На рисунке 6.7, иллюстрирующем породную структуру надземной фитомассы древостоев по высотным уровням и периодам таксации (А — 2002 г., Б — 2012 г., В — 2022 г.), отсутствуют буквенные обозначения непосредственно на самих графиках. Это затрудняет визуальное соотнесение подписей с соответствующими диаграммами.

### **Заключение по работе**

По результатам анализа диссертации Балакина Дмитрия Сергеевича на тему: «Формирование, рост и продуктивность древостоев на верхнем пределе их произрастания в горах Южного Урала в условиях современного изменения климата» следует заключить, что она написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о высоком личном вкладе автора диссертации в науку. В диссертации приводятся рекомендации по использованию полученных научных выводов. Предложенные автором диссертации решения аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями. Основные результаты диссертационного исследования в полной мере отражены в публикациях и прошли необходимую апробацию на научных конференциях. Содержание автореферата соответствует тексту диссертации. Высказанные в отзыве замечания носят частный характер и не влияют на общую высокую оценку работы.

Диссертация Балакина Дмитрия Сергеевича на тему: «Формирование, рост и продуктивность древостоев на верхнем пределе их произрастания в горах Южного Урала в условиях современного изменения климата» в полной мере соответствует требованиям пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. В ней содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития лесной науки и лесохозяйственной практики, а также изложены новые научно обоснованные решения и разработки, имеющие существенное значение для развития лесоведения, лесоводства, лесных культур и лесной таксации.

Автор диссертации Дмитрий Сергеевич Балакин заслуживает присуждения ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук по

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

Отзыв подготовил:

Цепордей Иван Степанович, кандидат сельскохозяйственных наук (научная специальность по которой защищена диссертация: 06.03.02. - Лесоведение, лесоводство, лесоустройство и лесная таксация), Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук, старший научный сотрудник лаборатории популяционной биологии древесных растений и динамики леса; почтовый адрес 620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. 8 марта, 202а; телефон: +7(343) 210-38-59, адрес электронной почты ivan.tsepordey@yandex.ru

12.05.2026 г.



И.С. Цепордей

Собственноручную подпись  
И.С. Цепордея заверяю:

Ученый секретарь  
Ботанического сада УрО РАН,  
кандидат сельскохозяйственных наук



Е.Н. Флягин