

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.109.01, СОЗДАННОГО НА  
БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ  
НАУКИ «ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ЭКОЛОГИИ И ЭВОЛЮЦИИ им. А.Н.  
СЕВЕРЦОВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НИКИТИНОЙ АЛЕНА ДМИТРИЕВНЫ НА ТЕМУ: «ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАПАСОВ  
УГЛЕРОДА В СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЯХ ХВОЙНО-ШИРОКОЛИСТНЫХ ЛЕСОВ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ВЫСОКОДЕТАЛЬНОЙ СЪЁМКИ» НА  
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА БИОЛОГИЧЕСКИХ НАУК**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от «24» сентября 2024 г. № 16

О присуждении Никитиной Алене Дмитриевне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата биологических наук.

Диссертация «Определение запасов углерода в сосновых древостоях хвойно-широколиственных лесов с использованием данных высокодетальной съёмки» по специальности 1.5.15 – экология (биологические науки) принята к защите 28 мая 2024 года (протокол заседания № 11) диссертационным советом 24.1.109.01, созданном на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской академии наук» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 119 071, Москва, Ленинский проспект, д. 33, приказ о создании диссертационного совета №105 н/к от 11.04.2012 г.

Соискатель Никитина Алена Дмитриевна «29» декабря 1994 года рождения. В 2018 году соискатель окончила Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова», факультет Почвоведения, с присвоением степени магистра по направлению 05.04.06 "Экология и природопользование". В 2022 году соискатель закончила аспирантуру при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук».

Работает в должности младшего научного сотрудника в лаборатории климаторегулирующих функций лесов Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук».

Диссертация выполнена в Лаборатории климаторегулирующих функций лесов

Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук».

Научный руководитель – Князева Светлана Владимировна кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории мониторинга лесных экосистем Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук».

Официальные оппоненты:

Москалюк Татьяна Александровна, доктор биологических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории дендрологии филиала «Горнотаежная станция им. В.Л. Комарова» Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии Дальневосточного отделения Российской академии наук»;

Фролов Павел Владимирович, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории моделирования экосистем Института физико-химических и биологических проблем почвоведения Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Пушкинский научный центр биологических исследований Российской академии наук»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский Институт лесоводства и механизации лесного хозяйства» (г. Пушкино Московской области) в своем положительном отзыве, подготовленном доктором сельскохозяйственных наук, главным научным сотрудником отдела аналитических исследований состояния и динамики лесов Андреем Николаевичем Филипчуком и кандидатом географических наук, доцентом, заместителем заведующего отделом аналитических исследований состояния и динамики лесов Наталией Викторовной Малышевой, заслушанном и принятым на заседании научно-методической секции по вопросам лесоводства и биологии Ученого совета Федерального бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства» и утвержденном директором академиком РАН Мартынюком Александром Александровичем, отмечается, что диссертация Алены Дмитриевны Никитиной является законченной самостоятельной научно-квалификационной работой, которая содержит решение научной задачи использования нейронных сетей и машинного обучения для обработки дистанционной информации высокого пространственного разрешения с целью оценки структурных и биометрических характеристик сосновых древостоев и запасов

углерода в стволовой древесине, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.15 - «экология».

Достоверность полученных результатов подтверждается как большим объемом исследованного первичного материала, так и комплексным целесообразным применением выбранных методик статистического анализа. Основные положения диссертационного исследования прошли широкую апробацию и представлены в ряде публикаций в журналах, прошедших серьезное рецензирование специалистами в области изучаемой научной проблемы.

Недостоверные сведения об опубликованных работах в диссертации отсутствуют.

Основные результаты диссертационного исследования опубликованы в следующих работах:

1. Князева С.В., Никитина А.Д., Гаврилюк Е.А., Тихонова Е.В., Королева Н.В. Оценка биометрических параметров сосновых древостоев по спутниковым данным WorldView-3 и материалам беспилотной аэросъёмки // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2022. – № 6. – С. 93-107. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-6-93-107. (ВАК, РИНЦ, Scopus)
2. Князева С.В., Никитина А.Д., Белова Е.И., Плотникова А.С., Подольская Е.С., Ковганко К.А. Методические подходы к оценке характеристик лесов по данным спутниковой съёмки сверхвысокого пространственного разрешения в оптическом диапазоне // Лесоведение. – 2021. – № 6. – С. 1-28. DOI: 10.31857/S0024114821060073 (ВАК, РИНЦ, Scopus)
3. Кузнецова А.И., Горнов А.В., Горнова М.В., Тебенькова Д.Н., Никитина А.Д., Кузнецов В.А. Оценка выноса углерода с почвенными водами в доминирующих типах леса Брянского Полесья // Почвоведение. – 2022. – № 9. – С. 1086-1097. DOI: 10.31857/S0032180X2209012X. (ВАК, РИНЦ)

На диссертацию и автореферат поступило 14 положительных отзывов, 4 без замечаний, 10 содержат замечания.

Отзывы без замечаний прислали:

1. Евстигнеев Олег Иванович, доктор биологических наук, главный научный сотрудник научного отдела Федерального государственного бюджетного учреждения

«Государственный природный биосферный заповедник «Брянский лес».

2. Митрофанов Евгений Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Лесоправление, лесоустройство и геоинформационные системы» Мытищинского филиала Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет (национальный исследовательский университет) им. Н.Э. Баумана».

3. Коротков Владимир Николаевич кандидат биологических наук, заведующий отделом мониторинга потоков парниковых газов в природных и антропогенно нарушенных экосистемах Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля Российской академии наук».

4. Железная Екатерина Львовна, кандидат биологических наук, доцент Департамента рационального Природопользования Института экологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов им. П. Лумумбы».

**Отзывы с замечаниями прислали:**

1. Иванова Наталья Владимировна кандидат биологических наук, старший научный сотрудник наук Института математических проблем биологии, филиала Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук»: «(1). Соискатель приводит подробное описание методов проведения геоботанических описаний на исследованных пробных площадях. Тем не менее, ни в автореферате, ни в диссертации не упоминается, как были использованы собранные материалы для дальнейшего анализа данных и интерпретации полученных результатов. (2) . Замечание касается программной реализации методов оценки высоты и числа деревьев по данным БПЛА. К настоящему времени разработаны разные алгоритмы выделения точек земной поверхности для последующей оценки высот и других биометрических характеристик отдельных деревьев. Эти методы реализованы в среде R, пакет NdR (Roussel et al., 2020), и широко применяются исследователями во всем мире. Поэтому использование соискателем ПО Erdas Imagine, ручной классификации облака точек в Agisoft и собственной (?) программной реализации на Python уже доступных в R алгоритмов выглядят несколько странно. Хотелось бы узнать, почему были выбраны именно эти программные решения? Кроме того, пакет lidR содержит различные методы сегментации деревьев по облаку точек. Я думаю, что было бы интересно

сравнить результаты сегментации разными методами с результатами работы нейросети для нескольких пробных площадей. (3) . В работе показано, что средняя высота по данным БПЛА, хорошо коррелирует с наземными измерениями, но эта связь уменьшается с возрастом деревьев. Соискатель полагает, что такой результат обусловлен увеличением структурного разнообразия, затрудняющего точное дешифрирование и измерение высоты древостоев (автореферат, с. 13). О каких измерениях идет речь - наземных или дистанционных? Если соискатель имеет ввиду качество наземных измерений высот, то я поддерживаю этот вывод. В наших предыдущих исследованиях также было показано, что точность наземных оценок высот может зависеть от формы кроны и (или) возраста дерева (Иванова и др., 2021). Если же соискатель имеет ввиду дистанционные оценки, то требуется пояснение, почему так происходит».

2. Федюк Роман Сергеевич доктор технических наук, доцент, профессор военного учебного центра Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Дальневосточный федеральный университет»: «Структуру автореферата лучше было сделать не по главам, а по положениям, выносимым на защиту».

3. Семенищенков Юрий Алексеевич, доктор биологических, доцент, профессор кафедры биологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского»: «1. Объектами исследования в работе были сосновые леса на широком ботаникогеографическом градиенте. Но, возможно, было правильнее ограничиться наиболее четко различимыми одинаковыми типами лесов, так как сравнивать леса разных типов в разных регионах не вполне корректно. 2. Автор обсуждает соответствие характеристик сосновых лесов, полученных на основе разных подходов (с. 12, глава 4). Правильно ли называть это соответствием или связью? Возможно, речь должна идти о совпадении и отклонении от совпадения, которые могут быть оценены статистически. Если в идеале «связь» между характеристиками по наземным измерениям и визуальному дешифрированию должна быть линейной, то нужно оценивать отклонение линии тренда (рис. 4.1) от прямой, проходящей под углом в  $45^\circ$  к оси абсцисс. Исследование же согласованности результатов визуального дешифрирования и автосегментации проведено по сомкнутости, определенной по площади, хотя может учитывать разнообразные показатели неоднородности растительности (например, кривизна контуров и др.) со сравнением средних показателей».

4. Мартыненко Ольга Вениаминовна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоучётных работ, использования лесов и экологии Федерального бюджетного учреждения «Всероссийский институт повышения квалификации руководящих работников и специалистов лесного хозяйства», Карминов Виктор Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесоучётных работ, использования лесов и экологии Федерального бюджетного учреждения «Всероссийский институт повышения квалификации руководящих работников и специалистов лесного хозяйства»: «1. В главе 4 при обсуждении результатов корреляционного анализа следовало бы опираться на шкалу Чеддока (качественная оценка показателей тесноты связи), а для самих коэффициентов парной корреляции Пирсона привести уровни статистической значимости. 2. На рисунке 4.2 следовало бы привести масштабную линейку, что является общепринятым стандартом визуального оформления пространственных данных».

5. Грузинов Вениамин Станиславович кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информатики и геоинформационных и технологий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет геодезии и картографии»: «По результатам прочтения автореферата приходится констатировать, что для обучения и валидации модели выполнено дешифрирование крон отдельных деревьев в ПО ArcGIS. Однако в соответствии с требованиями Госдепартамента США, а также компании ESRI, поставщика ArcGIS, приостановлены все продажи продуктов и услуг ESRI в Россию и Беларусь. С другой стороны, в Российской Федерации запрещено проводить закупки иностранного ПО для использования на значимых объектах критической информационной инфраструктуры без согласования с уполномоченными органами. Фреймворк машинного обучения PyTorch разрабатывался группой, связанной с Фейсбук и компанией Мета, которая признана экстремистской организацией, а ее деятельность запрещена в России. Прямого запрета на использование фреймворка PyTorch нет, но механизм его встраивания и работы требует внимательного изучения специалистов по информационной безопасности. Всё это ограничивает возможности масштабирования в неизменном виде программно-инструментальной составляющей разработанной методики и ее внедрении в смежные отрасли, ориентированные на выполнение задач обеспечения национальной безопасности. Однако указанное замечание не снижает научную ценность защищаемых положений диссертации».

6. Балдина Елена Александровна , кандидат географических наук, доцент,

ведущий научный сотрудник лаборатории аэрокосмических методов кафедры картографии и геоинформатики Географического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»: «В порядке замечаний по содержанию автореферата можно отметить следующее: стр. 3: «Диссертационное исследование сосредоточено на изучении variability характеристик сосновых древостоев дренированных местообитаний подзоны хвойно-широколиственных лесов в западной части Русской равнины (стр. 3)» - вызывает вопрос — зачем в работе указывается именно «дренированных местообитаний», ведь название работы говорит о более широком географическом подходе. Положения Научной новизны сформулированы в целом как результаты, а потому не ясно, что именно сделано автором впервые. Стр. 4. 1й пункт в разделе «Научная новизна» вместе с 1 Положением выносимым на защиту «Показано, что запасы углерода в стволовой древесине молодых (до 40 лет) и средневозрастных (40-80 лет) древостоев сосновых лесов различного происхождения, формирующихся в различных природно-климатических условиях, сопоставимы, тогда как в старовозрастных лесах (старше 80 лет) различия в запасах углерода становятся выраженными, (стр. 4) и «1. Запасы углерода в стволовой древесине сосновых древостоев подзоны хвойно-широколиственных лесов на локальном уровне характеризуются широкой индивидуальной изменчивостью: в молодых лесах (10-40 лет) в пределах от 4 до 97 т С на гектар, в средневозрастных (40-80 лет) — от 66 до 129 т С на гектар, в старовозрастных (от 80 лет) — от 100 до 246 т С на гектар (стр. 5)» и (стр. 20): 1. Запасы углерода стволовой древесины сосновых древостоев хвойно-широколиственных лесов, оцененные по данным наземных обследований на территориях ООПТ НП «Куршская коса», «Смоленское Поозерье» и ГПБЗ «Брянский лес», варьируют в широких пределах. Наиболее ярко варьирование выражено в молодняках (до 40 лет) - от 4 до 97 т С на гектар, в средневозрастных (40-80 лет) и старовозрастных (старше 80 лет) лесах запасы углерода в стволовой древесине варьируют в более узких диапазонах - от 66 до 129 т С на гектар и от 100 до 246 т С (старше 80 лет) лесах запасы углерода в стволовой древесине варьируют в более узких диапазонах - от 66 до 129 т на гектар С (старше 80 лет) лесах запасы углерода в стволовой древесине варьируют в более узких диапазонах - от 66 до 129 т С на гектар и от 100 до 246 т С на гектар , соответственно» - эти блоки расположенные в разных частях автореферата немного противоречат защищаемому положению. Упоминаются различные природные условия, однако исходя из работы (дренированные местообитания - именно так указано по тексту, хотя не дается определения

что это такое), сложно судить о различных условиях, учитываются ли различия, касающиеся бонитета, который напрямую влияет на аллометрические характеристики (в данном случае сосны). Третий вывод из исследования (стр. 20): «Сравнительный анализ применения данных космической съёмки WorldView-3 и БПЛА в задаче оценки биометрических характеристик показывает высокий потенциал данных БПЛА-съёмки» - это понятно, но важно понять потенциал не только БПЛА но VHR, ведь с точки зрения изучения лесов (значительные площади), переход на другие масштабные уровни (мультимасштабный переход) очень важны и хотелось бы понимать ограничения по использованию VHR (в названии работы - высокодетальная съёмка) именно касательно предмета работы - оценка запаса углерода (в автореферате есть таблица 5.3., но в ней приведены лишь общие статистические характеристики). и от 100 до 246 т С на гектар, соответственно» - эти блоки расположенные в разных частях автореферата немного противоречат защищаемому положению. Упоминаются различные природные условия, однако исходя из работы (дренированные местообитания - именно так указано по тексту, хотя не дается определения что это такое), сложно судить о различных условиях, учитываются ли различия, касающиеся бонитета, который напрямую влияет на аллометрические характеристики (в данном случае сосны). Третий вывод из исследования (стр 20): «Сравнительный анализ применения данных космической съёмки WorldView-3 и БПЛА в задаче оценки биометрических характеристик показывает высокий потенциал данных БПЛА-съёмки» - это понятно, но важно понять потенциал не только БПЛА но VHR, ведь с точки зрения изучения лесов (значительные площади), переход на другие масштабные уровни (мультимасштабный переход) очень важны и хотелось бы понимать ограничения по использованию VHR (в названии работы - высокодетальная съёмка) именно касательно предмета работы - оценка запаса углерода (в автореферате есть таблица 5.3., но в ней приведены лишь общие статистические характеристики). , соответственно» - эти блоки расположенные в разных частях автореферата немного противоречат защищаемому положению. Упоминаются различные природные условия, однако исходя из работы (дренированные местообитания - именно так указано по тексту, хотя не дается определения что это такое), сложно судить о различных условиях, учитываются ли различия, касающиеся бонитета, который напрямую влияет на аллометрические характеристики (в данном случае сосны). Третий вывод из исследования (стр 20): «Сравнительный анализ применения данных космической съёмки WorldView-3 и БПЛА в задаче оценки биометрических характеристик показывает высокий потенциал данных БПЛА-съёмки» - это



понятно, но важно понять потенциал не только БПЛА но VHR, ведь с точки зрения изучения лесов (значительные площади), переход на другие масштабные уровни (мультимасштабный переход) очень важны и хотелось бы понимать ограничения по использованию VHR (в названии работы - высокодетальная съемка) именно касательно предмета работы - оценка запаса углерода (в автореферате есть таблица 5.3., но в ней приведены лишь общие статистические характеристики)».

7. Плотников Дмитрий Евгеньевич кандидат физико-математических наук, заведующий сектором 56.6 Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт космических исследований Российской академии наук»: «1. Общее замечание заключается в том, что ряд важных моментов диссертации, судя по всему, недостаточно полно освещено в автореферате. Это касается и условий сравнения данных БПЛА и спутника, и оценки полученных моделей. Так, в автореферате не приведены спектральные характеристики приборов, пространственное разрешение данных, а также финальный набор предикторов; для моделей не указаны их область применимости («универсальность» - конкретный ООПТ или глобальный охват). Однако, судя по всему, более подробные пояснения на этот счёт даны в тексте диссертации. 2. Не описано влияние выбора условий (даты, времени) съёмки БПЛА на результаты сегментации полученных изображений. В частности, можно предположить, что результаты сегментации будут различны в различные периоды года и в различное время суток. 3. Небольшие замечания по оформлению автореферата: например, не совсем понятно, почему рисунок 4.2 состоит из двух частей, недостаточное описание используемых обозначений в диаграммах размаха (рисунки 3.1 и 5.1)».

8. Кривобоков Леонид Владиленович кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории фитоценологии и лесного ресурсоведения Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук» – обособленного подразделения Федерального исследовательского центра Красноярского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук: «1. По нашему мнению, название работы не соответствует содержанию дважды. Во-первых, с помощью расчетов по таксационным показателям, полученным в наземном исследовании, либо при дешифровке данных, полученных с БПЛА, выявляется запас биомассы стволовой древесины, а не запасы углерода, последние в любом случае рассчитываются с помощью конверсионных коэффициентов. Во-вторых, более половины обследованных ПП (24 из 43), заложены на

Куршской косе, в интразональных псаммофитных экосистемах, которые, пространственно, т.е. географически, расположены в подзоне хвойно-широколиственных лесов, но, сами по себе, хвойно-широколиственными экосистемами ни к какой степени не являются. Отсюда и различия, например, в высоте и, соответственно, в бонитете, сосновых лесов Куршской косы, по сравнению с сосняками Брянской и Смоленской областей. 2. В разделе Актуальность темы исследования указано, что леса с преобладанием *Pinus sylvestris* представляют собой ключевые экосистемы в умеренных широтах Северного полушария. Что автор подразумевает под понятием ключевых экосистем применительно к сосновым лесам, если учесть, что в Северной Америке сосна обыкновенная не встречается в естественных условиях, а в Евразии естественные сосновые леса, в основном, представляют интразональные экосистемы на почвах легкого гранулометрического состава (песчаные боры), либо вторичные постпирогенные лесные экосистемы? 3. В Главе 3. Методы исследования указано, что проективное покрытие видов и сомкнутость древесного яруса оценивались в процентах, но не объяснено, каким образом производились оценки, глазомерно, с помощью каких-то методов или приборов, например, сетки Раменского (проективное покрытие видов) или с помощью графических компьютерных программ типа Photoshop на аэрофотоснимках (сомкнутость крон древесного яруса)? 4. В Главе 3. Методы исследования, на стр. 12, 1 абз., указано, что метод определения средней высоты древостоя, основанный на цифровой модели рельефа, по сравнению с методом, основанным на поиске локального минимума в рамках сцены съемки БПЛА, является более робастным? Что подразумевает автор под этим термином, возможно, что первый метод более достоверный? И зачем засорять научный язык, неужели в данном случае невозможно подобрать точный по смыслу синоним - научный термин из русского языка?».

9. Хамедов Владимир Александрович кандидат технических наук, доцент кафедры экологии и природопользования Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий»: « 1. В тексте автореферата указано об использовании усовершенствованного метода автоматической сегментации с применением нейронной сети Mask R-CNN, однако не указана суть усовершенствования метода и не обоснован выбор используемой архитектуры нейронной сети для решения поставленных в исследовании задач. 2. Автором не раскрыт вопрос обучения и верификации результатов выбранной нейронной сети».

10. Карелин Дмитрий Витальевич доктор биологических наук, главный научный

сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт географии Российской академии наук»: «В качестве пожелания отмечу, что в работе отмечено эффективное использование нейронных сетей для сегментации крон деревьев, однако было бы полезно дополнительно проанализировать другие методы сегментации, чтобы оценить их эффективность в изучаемых сосновых лесах».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой научной квалификацией, компетентностью в тематике рассматриваемой диссертации и наличием в течение последних пяти лет достаточного количества публикаций, рассматривающих вопросы, близкие по содержанию к проведенным соискателем исследованиям.

Диссертационный совет отмечает, что проведенные А.Д. Никитиной исследования направлены на решение актуальной проблемы оценки углеродного бюджета сосновых лесов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. В диссертации подробно исследованы особенности запасов углерода стволовой древесины в сосновых древостоях разного возраста на особо охраняемых природных территориях (государственный природный биосферный заповедник “Брянский лес”, национальный парк “Куршская коса”, национальный парк “Смоленское Поозерье”). Автор предложил подход к оценке структурно-биометрических характеристик и запасов углерода стволовой древесины с использованием морфометрических параметров, рассчитанных по результатам усовершенствованного метода автоматической сегментации RGB-ортофотопланов, полученных с БПЛА. Также проведено сравнение биометрических характеристик, полученных с помощью данных БПЛА и космической съёмки сверхвысокого разрешения.

Автором проведён анализ вариабельности углеродного запаса древостоев на локальном уровне с учётом их возрастной структуры и пространственного распределения. Показано, что запасы углерода стволовой древесины в молодых и средневозрастных лесах существенно не различаются между сосновыми древостоями дреннированных местообитаний подзоны хвойно-широколиственных лесов разного происхождения, произрастающих в разных природно-климатических условиях, в то время как в старовозрастных лесах наблюдаются значимые различия.

Значимым вкладом работы является создание вычислительного инструментария для точного выделения отдельных крон деревьев, оптимизированного для сосновых древостоев подзоны хвойно-широколиственных лесов. Усовершенствованный метод автоматической сегментации на основе нейронной сети архитектуры Mask R-CNN позволил с высокой

точностью определять такие морфометрические параметры, как площадь и периметр крон, сомкнутость и густоту древостоев.

Впервые проведена оценка структурно-биометрических характеристик и запасов углерода стволовой древесины сосновых лесов на западе Русской равнины на основе морфометрических параметров автоматической сегментации. Автор проанализировала и сравнила различные методы регрессионного анализа, включая модели многослойного персептрона, которые показали лучшую согласованность результатов, для определения характеристик на основе данных дистанционного зондирования. Подход к оценке запасов углерода в сосновых лесах с использованием БПЛА доступного сегмента расширяет возможности детального мониторинга на больших территориях и может быть применён при разработке эффективных мер по управлению лесными ресурсами.

Работа основана на достаточном объёме первичных данных, включающих наземные измерения и данные высокодетальной съёмки и охватывающих типологическое разнообразие сосновых лесов подзоны хвойно-широколиственных лесов, что обеспечило достоверность полученных выводов. Применение современных статистических методов и нейронных сетей, подробное описание методики и полученных результатов подтверждают достоверность проведённого исследования. Полученные выводы полностью соответствуют поставленным задачам, обоснованы и следуют из представленных в работе результатов.

Диссертация представляет собой завершённое научное исследование, результаты которого имеют значительную теоретическую и практическую ценность. Применение съёмки БПЛА и нейронных сетей для оценки углеродных запасов в лесах может найти широкое применение в управлении лесными ресурсами и мониторинге лесных экосистем в условиях глобальных климатических изменений.

Соискатель лично участвовала во всех этапах исследования, включая проведение полевых работ, обработку данных БПЛА, разработку метода автоматической сегментации, сравнительный анализ различных методов регрессионного анализа и интерпретацию полученных результатов.

Диссертация А.Д. Никитиной охватывает основные аспекты поставленной научной задачи и соответствует требованиям, выдвигаемым для диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук Положением о присуждении ученых степеней, утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. Её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.15 – экология.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания и заданы вопросы:

Ольчев Александр Валентинович, доктор биологических наук, член совета, ведущий научный сотрудник, профессор кафедры метеорологии и климатологии Географического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»: 1. Вы для Вашего исследования выбрали правильный объект — сосновый древостой, потому что другие древостои, смешанные, хвойно-мелколиственные или широколиственные были гораздо более сложными. Скажите, пожалуйста, для решения вашей задачи вы использовали исключительно телевизионную съемку? И по структуре кроны, то, что видит БПЛА, вы восстанавливали биомассу, высоту и так далее? 2. Вопрос был в том, что вы фактически использовали ту минимальную информацию, которая у вас была доступна, чтобы восстановить структуру древостоя. Понятная ситуация, поскольку если бы вы использовали мультиспектральную съемку, а если бы у вас ещё LIDAR был, то ваша точность, по крайней мере по восстановлению высоты древостоя, была бы на порядок, а то и на два повыше. 3. Вы говорили, что проективное покрытие вы определяли в наземных измерениях тоже. Какой метод вы использовали для определения проективного покрытия на земле? Это полусферическая фотография или вы чисто визуально смотрели? 4. А подземную биомассу вы не пробовали определить?

Гонгальский Константин Брониславович, доктор биологических наук, член совета, профессор РАН, заведующий лабораторией изучения экологических функций почв Федерального государственного бюджетного учреждения наук «Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской академии наук»: Вы сфотографировали сверху проекцию кроны, и деревья не всегда стоят отдельно друг от друга. Кроны могут проникать друг в друга, какую-то часть этой информации вы теряли, вы её как-то восстанавливали, насколько кроны проникают друг в друга, и насколько это влияет на оценки величины запаса биомассы?

Полилов Алексей Алексеевич, доктор биологических наук, член совета, член-корреспондент РАН, заведующий кафедрой энтомологии Биологического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»: 1. Все-таки, сосновый лес это - достаточно гомогенное сообщество. Не проще ли было эти задачи решить просто наземными измерениями, выбрав несколько площадок и вообще не прибегая

к сложным съемкам, математическим моделям и так далее. И, собственно, вопрос даже не в этом, а вопрос в том, можно ли с помощью полученной вами нейросети сделать такую же работу не на трех ваших пробных площадках, для которых есть наземные измерения, а для какого-то любого случайного соснового леса средней полосы. Или вы попробовали это сделать, и у вас есть какой-то результат? 2. Почему вы выбрали именно эту нейросеть? Судя по очень высоким RMSE можно было взять какую-то другую и получить результат лучше, чем у вас, или нет? И еще десяток таких же нейронных сетей, которые делают примерно то же самое.

Замолодчиков Дмитрий Геннадьевич, доктор биологических наук, член совета, главный научный сотрудник лаборатории структурно-функциональной организации и устойчивости лесных экосистем Федерального государственного бюджетного учреждения наук «Центр по проблема экологии и продуктивности лесов Российской академии наук»: поясните, пожалуйста, чем ваша работа помогает именно оценке углеродного баланса, а не запаса углерода в лесах?

Калякин Михаил Владимирович, доктор биологических наук., член совета, директор Зоологического музея Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»: чем эта работа нова по сравнению с тем, что делалось в этой области до того, если вообще что-то делалось, в чем самый новаторский оттенок, элемент?

Алексей Владимирович Тиунов, доктор биологических наук, заместитель председателя совета, член-корреспондент РАН, заведующий лабораторией общей энтомологии и почвенной зоологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской академии наук»: высота определяется корреляцией с площадью кроны? Или какими-то другими способами? Вы измеряете расстояние между кроной и БПЛА и что далее?

Соискатель дала следующие ответы на вопросы и замечания:

На вопросы А.В. Ольчева: 1. Мы использовали RGB-ортофотосъемку, у нас не было мультиспектральных данных по БПЛА, и собирали ортофотоплан. Потом мы извлекали средние морфометрические параметры на пробной площади. То есть мы оперировали сомкнутостью, густотой, средней площади кроны и периметром кроны. И они уже служили предикторами для регрессионных моделей. 2. Общепринятым глазомерным способом, геоботаническим. Сетки Раменского не использовали. 3. Для сомкнутости нет, не

использовали. Конечно, LIDAR позволяет больше получить информацию о структуре лесов, однако это не всегда доступная съемка, требующая больших трудозатрат, и наш метод с применением БПЛА более доступного сегмента позволяет использовать его для различных прикладных задач, в том числе не только научных. 4. Пока не пробовали.

На вопрос К.Б. Гонгальского: Лес может иметь сложную вертикальную структуру. Сосновые древостои действительно более простые. Но если касаться методологической части, то у Mask R-CNN архитектура позволяет детектировать сложные объекты с неравномерным градиентом, в том числе с перекрывающимися. То есть какую-то информацию мы могли восстановить. Но, конечно, большая часть данных восстанавливалась за счет разных предикторов и совокупности именно в регрессионном анализе.

На вопросы А.А. Полилова: 1. Мы старались охватить все типологическое разнообразие сосновых древостоев, поэтому подразумеваем, что нашу модель можно экстраполировать, то есть интерполировать на другие сосновые леса. У нас была оценка модели с валидационными данными, то есть у нас была кросс-валидация, по сути, все данные прошли через такую независимую оценку. 2. Действительно, архитектур нейронных сетей в настоящее время очень много, но тех нейронных сетей, которые занимаются именно ограничением контуров объектов, то есть сегментацией масок объектов, не так много. Из основных нейронных сетей, к которым относится и Mask R-CNN, это еще U-net. Но он был разработан на биомедицинском хакатоне, соответственно, для данных, которые обладают очень четкой различимостью. Маска R-CNN же позволяет работать с более сложными объектами, не всегда четко дифференцируемыми, перекрывающимися. Основные структуры именно архитектуры нейронных сетей.

На вопрос Д.Г. Замолотчикова: наша работа оценивает запас углерода стволовой древесины, но он является очень важным компонентом углеродного баланса лесов. И, соответственно, повысив точность определения этого компонента, мы повысим точность и оценок баланса углерода. Конечно, мы не учитываем различные эмиссии, хотя такие работы с применением БПЛА тоже есть. Разрабатываются специальные датчики, которые могут фиксировать метан и CO<sub>2</sub> с использованием беспилотников. Может быть, мы когда-нибудь тоже к этому придем. С увеличением наземных данных и почвенных обследований, эмиссии углерода почв, и уже включением их в различные регрессионные модели. Но на данном этапе именно наше исследование сосредоточено на этом компоненте углеродного баланса.

На вопрос М.В. Калякина: на текущий момент нам неизвестны результаты определения точной сегментации для сосновых лесов, исследуемых объектов. Что в целом методы автоматической сегментации внедряются, но оценки, очень умеренные для лесов естественного происхождения в современной литературе. Как правило, больше тестируются плантации или городские насаждения. Также нами выявлена вариабельность запасов углерода стволовой древесины по наземным данным, что позволяет конкретизировать некие локальные оценки и оценить вариабельность углерода для сосновых древостоев для подзоны хвойно-широколистных лесов. И также результаты нашей автоматической сегментации послужили основой для точных достаточно оценок именно запаса углерода и структурно-биометрических характеристик. И таких работ мы не видели.

На вопрос А.В. Тиунова: Высота определяется по цифровой модели местности через карту глубин. По фотограмметрии, по стереопарам строится карта глубин.

На заседании 24 сентября 2024 г. диссертационный совет принял решение за постановку и выполнение научной задачи, вносящей вклад в решение проблемы определения запасов углерода в древостоях с помощью современных дистанционных методов и цифровых технологий, присудить Никитиной А.Д. ученую степень кандидата биологических наук по специальности 1.5.15 – экология (биологические науки).

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 6 докторов наук по специальности диссертации 1.5.15 – экология (биологические науки), участвовавших в заседании, из 30 человек, входящих в состав совета, дополнительно члены в совет не вводились, проголосовали: за - 20, против - 0, недействительных бюллетеней - 0.

Заместитель председателя  
диссертационного совета, чл.-корр. РАН

  
Тиунов Алексей Владимирович

Ученый секретарь  
диссертационного совета, к.б.н.

  
Кацман Елена Александровна

24 сентября 2024 г.

