

УТВЕРЖДАЮ
Директор ФБУ ВНИИЛМ,
академик РАН

Мартынюк А.А.
« 08 » *сентября* 2024 г.

Отзыв ведущей организации

ФБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства» на диссертационную работу
Никитиной Алены Дмитриевны
«Определение запасов углерода в сосновых древостоях хвойно-широколиственных лесов с использованием данных высокодетальной съемки», представленную на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.15 - «Экология»

Актуальность темы исследования

Оценка потенциала лесов по смягчению изменения климата является актуальным и популярным направлением научных исследований. Количественная оценка накопленных биомассой лесных экосистем запасов углерода является предметом исследований многочисленных научных коллективов по всему миру. Широкомасштабные глобальные и региональные оценки выполнены с использованием данных дистанционного зондирования. Однако, существенным недостатком современных оценок остается, по заключению Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), большая неопределенность. Поиск перспективных источников информации и методов ее использования для понимания углеродного цикла в наземных экосистемах и снижения неопределенности оценок продолжается, поэтому представленная диссертация следует в русле мировых тенденций совершенствования информационной основы для углеродных оценок наземных экосистем. В России в рамках разрабатываемой национальной системы мониторинга пулов и потоков парниковых газов особое внимание уделяется повышению объективности оценки способности наземных экосистем, в частности лесных сообществ, поглощать и накапливать атмосферный углерод. Данные беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) – источник детальной информации на подеревном и повыдельном уровне, с которым связывают перспективы объективного анализа углеродных пулов с высокой пространственной и временной детализацией, а также снижения неопределенности оценок. Для реализации потенциала съёмки с БПЛА, как объективного источника данных, необходимо разработать и экспериментально опробовать современные технологии автоматизированной обработки и анализа пространственных

данных. В этом ключе, тема диссертационного исследования Никитиной А.Д. относится к приоритетным направлениям современных научных исследований и бесспорно актуальна, т.к. нацелена на разработку технологичных методов автоматизированной обработки данных высокодетальной съемки с использованием нейронных сетей и машинного обучения для определения структурных и биометрических характеристик деревьев и древостоев, и последующей оценки запасов углерода на локальном уровне. Объект исследования - сосновые древостои дренированных местообитаний зоны хвойно-широколиственных (смешанных) лесов. Региональная специфика характеристик сосновых древостоев, произрастающих в разных географических условиях, выявлена при обследовании 3-х тестовых особо охраняемых природных территорий (ООПТ): национальный парк (НП) «Куршская коса», НП «Смоленское Поозерье», государственный природный биосферный заповедник (ГПБЗ) «Брянский лес».

Диссертация содержит решение следующих научных задач:

- выявление различий структурных и биометрических характеристик сосновых древостоев для оценки вариабельности запасов углерода в стволовой древесине со стратификацией по возрастным категориям и географическим условиям;
- оптимизация метода автоматической сегментации крон деревьев с использованием данных аэрофотосъемки БПЛА для извлечения морфометрических параметров сосновых древостоев;
- оценка эффективности использования морфометрических параметров, извлеченных на основе БПЛА-съемки и спутниковой съемки сверхвысокого разрешения (VHR), в регрессионных моделях для определения структурно-биометрических характеристик сосновых древостоев и запасов углерода стволовой древесины.

Новизна диссертационного исследования и полученных результатов

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем.

- Разработан метод автоматической сегментации крон деревьев по RGB-ортофотопланам аэросъемки с БПЛА с использованием нейронной сети архитектуры Mask R-CNN, адаптированный для сосновых древостоев зоны хвойно-широколиственных лесов западной части Русской равнины.
- Получены устойчивые и статистически значимые оценки биометрических и структурных характеристик, а также запасов углерода стволовой древесины сосновых лесов с использованием данных автоматической сегментации изображений БПЛА и методов регрессионного анализа.
- Выявлены различия структурных и биометрических характеристик и запасов углерода сосновых древостоев разных возрастных категорий, формирующихся в разных географических условиях.

Достоверность полученных диссертантом результатов и работоспособность методов подтверждена экспериментальной проверкой, включающей валидацию адаптированных алгоритмов автоматической сегментации на контрольной выборке и верификацию регрессионных моделей на выборочных участках в границах объектов исследований.

Апробация результатов работы:

Результаты диссертационного исследования представлены в форме докладов на 10 всероссийских и международных научных конференциях. По материалам диссертации опубликовано 14 научных работ, из которых 3 публикации в рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК и систему цитирования Scopus, и одна глава в монографии.

Личное участие автора в получении результатов диссертационного исследования

Никитина Алена Дмитриевна самостоятельно обосновала цели, задачи, методику диссертационного исследования. В ходе исследования непосредственно участвовала в полевых работах на тестовых участках в 3-х географически разноплановых ООПТ (НП Куршская Коса, НП Смоленское Поозерье, ГПБЗ Брянский лес), выполнила статистический анализ натуральных данных и параметров автоматизированной обработки изображений, разработала программный код, провела автоматизированную обработку материалов аэросъемки с БПЛА и космических снимков, верифицировала результаты обработки. В ходе подготовки работы провела основательный анализ отечественных и зарубежных литературных источников по вопросам применения данных сверхвысокого пространственного разрешения с космических носителей и БПЛА для изучения лесов, включая анализ методов их обработки.

Диссертант продемонстрировал глубокие знания методов статистического анализа данных; понимание, владение и оперирование передовыми технологиями и программными средствами анализа пространственных данных, в числе которых геоинформационные системы (ГИС), нейронная сеть, методы машинного обучения.

К наиболее существенным научным результатам, полученным лично соискателем ученой степени, относятся:

1. Разработан подход к автоматической сегментации крон деревьев по RGB-ортофотопланам БПЛА-съёмки с использованием нейронной сети архитектуры Mask R-CNN, адаптированный для сосновых древостоев зоны хвойно-широколиственных лесов. Предложенный подход можно также адаптировать к оценке морфометрических параметров других видов древостоев.

2. Обоснована эффективность использования морфометрических параметров, извлеченных методом автоматической сегментации данных

аэрофотосъемки БПЛА, в качестве предикторов для оценки ключевых биометрических и структурных характеристик сосновых древостоев и запасов углерода. Получены устойчивые и статистически значимые оценки.

3. Показано, что запасы углерода в стволовой древесине сосновых древостоев хвойно-широколиственных лесов двух возрастных категорий – до 40 лет и 40-80 лет – по всем объектам исследования схожи, а у древостоев старше 80 лет наблюдаются различия запасов углерода по всем объектам исследований.

Научная и практическая значимость полученных автором диссертации результатов и направления практического внедрения

Научная значимость диссертационной работы заключается в создании и настройке алгоритма автоматической сегментации крон деревьев сосны на изображениях с БПЛА, включая подготовку данных, обучение свёрточной нейронной сети Mask R-CNN, обработку данных сегментации, оценку качества модели и фильтрацию полученных результатов с последующим преобразованием в стандартный векторный формат. На сегодня выделение крон деревьев в автоматизированном режиме остается сложной и многовариантной задачей. Показано, что метод автоматической сегментации с высокой точностью воспроизводит результаты визуального дешифрирования и представляет собой эффективный инструмент для получения таких количественных характеристик сосновых древостоев как средняя площадь кроны, средний периметр кроны, сомкнутость, число деревьев. Полученные результаты востребованы на практике для снижения трудозатрат при обследовании и учете сосновых насаждений на значительных площадях с использованием дистанционных данных.

Метод и алгоритмы автоматической сегментации данных БПЛА и регрессионные модели, разработанные диссертантом, целесообразно внедрить при ведении мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов в наземных экосистемах России в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ».

Полученные автором диссертации результаты имеют практическое значение и их целесообразно использовать при ведении специальных обследований в лесах особо охраняемых территорий, лесопарках, лесах научно-исторического значения, на научно-исследовательских и учебно-опытных полигонах, на участках аренды; при осуществлении экологического мониторинга, для обучения студентов современным методам обработки дистанционной информации и комплексного анализа пространственных данных.

Диссертация изложена на 204 стр., включает 5 глав основного текста, введение, заключение, список литературы из 260 источников, в том числе 166 англоязычных, 7 Приложений и список основных сокращений.

Замечания к диссертационной работе

По диссертационной работе есть ряд вопросов и замечаний.

1. Введение. Научная новизна (стр.6). «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». На наш взгляд формулировка положения 1 не очень удачна и допускает различные толкования. Такие, например, как запасы углерода в молодых и средневозрастных насаждениях одинаковы, а это противоречит логике, т.к. по мере роста насаждений идет накопление биомассы и увеличение запасов углерода. По-видимому, автор имел в виду схожесть запасов углерода насаждений в категории до 40 лет по объектам исследования между собой и сопоставимость запасов углерода насаждений в возрасте от 40 до 80 лет также между собой по объектам исследования.

2. Глава 1. На стр. 18 текста диссертации приведено спорное утверждение о том, что площадь сосновых лесов на территории тестовых субъектов Калининградской, Смоленской и Брянской областей растет. Это утверждение основано на данных Космической научной обсерватории углерода лесов ([URL:http://carbon.cepl.rssi.ru](http://carbon.cepl.rssi.ru)). Процитируем: в 2020 году площадь сосновых лесов составила 57,7 тыс. га в Калининградской области, 440,3 тыс. га в Брянской области и 258,9 тыс. га в Смоленской области. В этих регионах наблюдался устойчивый рост площади сосновых древостоев с 2003 г. согласно рисунку 1.2 (стр.18). Это утверждение бездоказательно, кроме сведений Космической лаборатории необходимо было бы привести данные официальной лесной статистики, показывающие, что в указанных субъектах сосновые леса занимают площади, отличные от данных Космической научной лаборатории, и роста их площади в последние годы не наблюдается. Для сравнения, в официальной статистике приведены следующие значения площади сосновых лесов по состоянию на 2015 г.: в Калининградской области – 37,0 тыс га, в Брянской – 428,4 тыс га, в Смоленской – 142,1 тыс га. В 2020 г. площадь сосновых лесов в Калининградской области – 34,8 г., т.е. уменьшилась за 5 лет на 2,2 тыс га, в Брянской – 431,7, т.е. увеличилась на 3,3, в Смоленской– 139,2 тыс. га, т.е. тоже уменьшилась на 2,9 тыс га. Далее, в главе 2 стр. 44 этим спорным утверждением автор подкрепляет актуальность диссертационного исследования сосновых лесов регионов. На наш взгляд, такая аргументация излишняя, т.к. вне зависимости от изменения площади сосновых лесов в субъектах, «леса с господством *Pinus sylvestris* L. относятся к наиболее распространенным типам лесных экосистем в мире» (стр. 13), имеют

огромное экологическое и экономическое значение и выбор их в качестве объекта исследования обоснован.

3. Глава 2. При описании натуральных обследований на тестовых объектах ООПТ «Куршская Коса», «Смоленское Поозерье», «Брянский лес» – разделы 2.1.1-2.1.3 отсутствует класс бонитета насаждений. В разделе 2.1, в части 2.1.1 (стр. 47) отмечено «Несмотря на невысокое плодородие почв (на Куршской косе), общий бонитет сосновых насаждений остается высоким». Желательно было бы конкретизировать какой класс бонитета у сосновых насаждений в среднем и указать его.

4. Глава 4. Терминологическое замечание. В тексте встречаются терминологические неточности и жаргонизмы. Так в разделе 4.2 автор использует жаргонизм «ручное дешифрирование». Пример: «значения коэффициента корреляции Спирмена, представленные в таблице 4.4, иллюстрируют степень связи между данными, полученными через ручное дешифрирование и автоматическую сегментацию с использованием алгоритма Mask R-CNN» и др. В теории дешифрирования и практике использования аэрометодов в лесном хозяйстве есть устоявшийся термин «визуальное дешифрирование», а не ручное, и его желательно придерживаться.

5. Глава 5. В разделе представлены результаты регрессионного моделирования характеристик сосновых древостоев с применением методов множественной линейной регрессии (MLR), метода опорных векторов (SVM) и многослойного перцептрона (MLP).

Раздел 5.3.2 Оценка объёма и запаса углерода стволовой древесины сосновых лесов. Остался неясным ряд вопросов: по какому уравнению, алгоритму и какие входные параметры, полученные по снимкам с БПЛА использованы в регрессионных моделях? Все исходные: площадь кроны, периметр кроны, густота, сомкнутость, средняя высота древостоев, высота каждого дерева? Или только часть этих показателей? Рассчитывался ли запас древесины по тому же уравнению 3.3, приведенному в главе 3, что и по натурным измерениям? То же касается и расчетов запаса углерода в стволовой древесине. Рассчитывался ли запас углерода по уравнению 3.4, приведенному в главе 3? Если так, то использованы ли в расчетах конверсионные коэффициенты пересчета объемных запасов древесины в запас углерода в биомассе и какие?

6. Терминологическое замечание. По всему тексту используется термин группа возраста в контексте отличном от его толкования в лесном хозяйстве. В лесном хозяйстве принято делить по возрасту насаждения на 4 группы: молодняки 1-го и 2-го класса возраста, средневозрастные, приспевающие, спелые и перестойные. В работе автор не придерживается такого деления, предлагая возрастные группы: молодняки (до 40 лет), средневозрастные от 40 до 80 лет и старовозрастные – более 80 лет. Во избежание недоразумений целесообразно было бы на наш взгляд отказаться

от термина группа возраста, а использовать, например, такой - возрастная категория или указывать количественное значение, лет.

Замечания к диссертации не снижают в целом качество рецензируемой работы, которая содержит новаторские пионерные решения и заслуживает высокой оценки.

Заключение

В целом, диссертация Никитиной Алены Дмитриевны на тему «Определение запасов углерода в сосновых древостоях хвойно-широколиственных лесов с использованием данных высокодетальной съемки» 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.

Все результаты, изложенные в диссертации, получены автором лично или при ее непосредственном участии. Научные положения, выносимые на защиту, обоснованы, а методические решения аргументированы и экспериментально подтверждены. Диссертация обладает внутренним единством. Оформление диссертации соответствует требованиям ГОСТ, стиль изложения отвечает принятому в научно-технической литературе. Автореферат содержит полное описание научных диссертационных исследований и полученных результатов. Результаты и выводы диссертации соответствуют паспорту научной специальности 1.5.15 - «Экология», в частности, п. 6 (Экосистемы и биогеоценозы. Биологическая продуктивность), п. 8 (Биогеографические закономерности организации надорганизменных систем), п. 12 (Экологические принципы охраны природы на экосистемном уровне). Общее количество публикаций по теме диссертации 14, в том числе 3 работы, - в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень ВАК, что соответствует требованиям к количеству публикаций на соискание ученой степени кандидата наук.

Представленная работа отвечает требованиям Постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 № 842 «О порядке присуждения ученых степеней», а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.15 - «Экология».

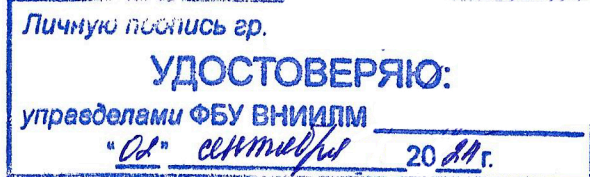
Отзыв подготовлен

доктором сельскохозяйственных наук, главным научным сотрудником отдела аналитических исследований состояния и динамики лесов Андреем Николаевичем Филипчуком и кандидатом географических наук, доцентом по научной специальности 25.00.35 «Геоинформатика», зам зав. отделом

аналитических исследований состояния и динамики лесов Наталией Викторовной Малышевой, обсужден и одобрен на заседании научно-методической секции по вопросам лесоводства и биологии Ученого совета ФБУ ВНИИЛМ (протокол № 8 от 02.09.2024).

Зам. директора Федерального бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства», доктор с.-х. наук, академик РАН

Сергей Анатольевич Родин



Главный научный сотрудник отдела аналитических исследований состояния и динамики лесов Федерального бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства», доктор сельскохозяйственных наук

Андрей Николаевич Филипчук



Зам. зав. отдела аналитических исследований состояния и динамики лесов Федерального бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства», кандидат географических наук, доцент

Наталья Викторовна Малышева



141202, Московская область, г. Пушкино, ул. Институтская, д. 15
(495) 993-30-54
info@vniilm.ru