

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Алены Дмитриевны Никитиной

на тему «Определение запасов углерода в сосновых древостоях хвойно-широколиственных лесов с использованием данных высокодетальной съёмки», представленную на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.15 – Экология (биологические науки)

Диссертационная работа А.Д. Никитиной обобщает многолетние исследования variability ключевых характеристик сосновых древостоев, непосредственно связанных с аккумуляцией углерода в лесных экосистемах дренированных местообитаний подзоны хвойно-широколиственных лесов в западной части Русской равнины с применением данных высокодетальной съёмки, а также методов машинного обучения и нейронных сетей. Исследование проведено как в молодых, так и средне- и старовозрастных древостоях сосновых лесов различного происхождения, формирующихся в различных природно-климатических условиях.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка цитируемой литературы из 260 источников (в том числе 161 на иностранном языке) и списка основных сокращений. Диссертация изложена на 204 страницах, содержит 13 таблиц и 57 рисунков, 7 приложений.

Большой объем проведенных исследований позволил А.Д. Никитиной оценить variability запасов углерода ствольной древесины, а также отличия в биометрических и структурных характеристиках древостоев сосновых лесов, формирующихся в одной подзоне.

Работа написана хорошим и емким языком, несмотря на большой объем привлеченного материала. Диссертация хорошо иллюстрирована, результаты представлены в таблицах и графиках.

Глава 1 (Экологические исследования сосновых лесов и возможности использования высокодетальной аэрокосмической съёмки) включает подробный анализ имеющихся в литературных источниках данных, посвященных экологическим особенностям, распространению и биосферной роли сосновых лесов, а также техническим аспектам использования высокодетальной аэрокосмической съёмки в задачах изучения лесов.

В **Главе 2** (Объекты исследования) приводится характеристика сосняков на территории Калининградской, Смоленской и Брянской областей, являющихся объектами диссертационного исследования.

В **Главе 3** (Методы исследования) детально описаны методы, примененные при наземных исследованиях, методы обработки данных высокодетальной съёмки как классическими алгоритмами, так и с применением нейронной сети архитектуры Mask

R-CNN. При статистической обработке данных использовались как классические (критерии Манна-Уитни и Краскелла-Уоллиса), так и современные статистические методы, такие как множественная линейная регрессия (MLR), метод опорных векторов (SVM) и модель многослойного персептрона (MLP) с множественным выходом и отдельными моделями. А.Д. Никитина в своей работе только применяла существующие алгоритмы, но и модифицировала их (в частности ей была добавлена процедура фильтрации выходных данных Mask R-CNN), что говорит о глубоком понимании механизмов работы используемых алгоритмов.

В **Главе 4** (Связь характеристик сосновых лесов по данным наземных измерений и БПЛА-съёмки) рассматриваются результаты корреляционного анализа между морфометрическими параметрами, определёнными с использованием БПЛА-съёмки, и данными наземных наблюдений. В частности оценена степень согласованности между такими параметрами, как площадь кроны, сомкнутость, число деревьев, высота, определёнными в ходе визуального дешифрирования ортофотопланов и анализа ЦММ, и наземными измерениями, выполненными на ПП. Также рассматривается согласованность результатов визуального дешифрирования и данных автоматической сегментации на основе алгоритма Mask R-CNN. Этот анализ позволил оценить точность и эффективность ранее разработанных подходов к автоматической обработке ортофотопланов, что важно для масштабирования исследований на большие территории. Таким образом автор корректно доказала правомерность использования предложенных методов.

В **Главе 5** (Запасы углерода стволовой древесины и структурно-биометрические характеристики древостоев сосновых лесов) представлены результаты изучения variability характеристик сосновых лесов в различных ООПТ по данным наземных измерений и возможности их оценки с использованием параметров, полученных при обработке аэрофотосъёмки БПЛА. Рассматриваемые в работе характеристики включают структурные (густота и сомкнутость) и биометрические (средние высота, диаметр и возраст) характеристики, а также показатели объёма и запаса углерода в стволовой древесине. Широкий диапазон анализируемых характеристик позволил автору создать регрессионные модели, которые надёжно определяют характеристики сосновых лесов, включая запас углерода, на основе высокодетальных данных с БПЛА, что значительно увеличивает эффективность экологического мониторинга лесных территорий.

Актуальность темы исследования обусловлена тем, что в контексте глобальных климатических изменений одной из важных задач лесной экологии является оценка варьирования бюджета углерода в лесах, играющих ключевую роль в секвестрации углекислого газа. В свою очередь, использование высокодетальной съёмки значительно повышает качество данных, позволяя проводить точный и глубокий анализ структуры древостоев, их биометрических характеристик, важных для оценки пулов углерода, и способствует переходу от точечных наземных измерений к непрерывным пространственным оценкам. Применение данных беспилотных летательных аппаратов

обеспечивает получение детальной информации на уровне отдельных деревьев, что увеличивает точность оценок и эффективность анализа углеродных пулов с высокой пространственной и временной детализацией. Однако, для широкого применения такого подхода необходима разработка и совершенствование методов, которые позволяют автоматизировать обработку данных БПЛА-съёмки.

Степень обоснованности научных положений и выводов. Большой объем работы, выполненной на современном уровне, позволил А.Д. Никитиной разработать, методику автоматизированной обработки данных БПЛА-съёмки для оценки морфометрических параметров, валидировать её по данным наземных измерений и применить для сосновых древостоев подзоны хвойно-широколиственных лесов в западной части Русской равнины. Научные положения и выводы основаны на результатах, полученных с использованием комплекса разнообразных объективных математических и статистических методов.

Оценка новизны, достоверности и значимости научных результатов.

Значимость исследования обусловлена адаптацией и совершенствованием методик дистанционного зондирования для изучения сосновых лесов хвойно-широколиственной подзоны западной части Русской равнины. Результаты работы можно использовать в задачах определения характеристик сосновых древостоев на больших территориях, а также в качестве информационной основы для оценки запасов углерода, структурных и биометрических характеристик древостоев, в практике устойчивого управления лесными ресурсами и экологического мониторинга лесных экосистем. Достоверность и значимость научных результатов диссертационной работы А.Д. Никитиной не вызывают сомнений. Важность работы велика, так как результаты работы могут являться основой для разработки самостоятельного модуля автоматической сегментации крон деревьев по аэрофотосъёмке БПЛА в открытом программном обеспечении для использования в других исследовательских и прикладных проектах.

Замечания по диссертационной работе А.Д. Никитиной:

1. Дополнительное обучение предобученной нейронной сети архитектуры Mask R-CNN проводилось в течение 9 эпох, что кажется очень малым периодом обучения. Чаще всего обучение нейросетей составляет несколько тысяч эпох, тем более что объем обучающего набора (8300 крон деревьев) это позволяет. Однако даже при таком количестве эпох обучения коэффициент корреляции Спирмена между ключевыми характеристиками, полученными по данным визуального дешифрирования и автоматической сегментации очень высокий. В связи с этим возникает вопрос о целесообразности дополнительного обучения данной нейронной сети.

2. Коэффициент корреляции Спирмена между числом деревьев, полученным с помощью дешифрирования БПЛА-снимков и в ходе натуральных измерений довольно низкий (0.52 для всех деревьев и 0.63 для сосны), что может привести к существенному разбросу оценок результирующих параметров, таких как запас углерода в стволовой

древесине.

3. В процессе обучения модели в качестве функции активации на скрытых слоях применялись функции *ReLU* (Rectified Linear Unit) и *Tanh* (гиперболический тангенс) с методом оптимизации SGD. Функция *Tanh* показала лучшие результаты прогноза по всем параметрам. Это является довольно нестандартной ситуацией (например, Sharma et al., 2017; Rasamoelina et al., 2020), следовательно, хотелось бы видеть обоснование (или предположения) с чем это может быть связано.

4. На стр. 138–139 приводятся запасы углерода стволовой древесины, после чего делается вывод, что «Эти данные свидетельствуют о значительном потенциале поглощения углерода лесов этих территорий, особенно в старовозрастных древостоях». Не до конца ясно, на основе чего сделан данный вывод.

Заключение

Диссертационная работа **Алены Дмитриевны Никитиной** представляет собой результат завершённых комплексных многолетних исследований. Выявленная вариабельность запасов углерода стволовой древесины, а также отличия в биометрических и структурных характеристиках древостоев сосновых лесов, формирующихся в одной подзоне, подчёркивают важность учёта локальной специфики и региональных факторов для уменьшения расхождений при оценках способности лесов поглощать парниковые газы. При этом показана целесообразность использования возможностей данных сверхвысокого пространственного разрешения космической и БПЛА-съёмки для проведения непрерывной, высокоточной пространственной оценки характеристик древостоя.

Научные положения и выводы, изложенные в диссертационной работе А.Д. Никитиной обоснованы и не вызывают сомнений.

По теме диссертации опубликовано 14 печатных работ, в том числе 3 публикации в изданиях, включённых в Перечень ВАК и систему цитирования Scopus, 10 тезисов докладов на международных и всероссийских научных конференциях, 1 глава в монографии. Публикации достаточно полно отражают содержание диссертации. Автореферат соответствует основному содержанию, результатам и выводам диссертации.

Автор неоднократно выступал на конференциях, что позволяет сделать заключение о хорошей апробированности материалов диссертации.

Уровень полученных результатов соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата биологических наук, а содержание диссертации соответствует специальности — 1.5.15 – Экология (биологические науки).

Диссертация полностью соответствует требованиям к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, предъявляемым в пп. 9–11, 13–14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., а ее автор, **Алена Дмитриевна Никитина**,

заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.15 – Экология (биологические науки).

Официальный оппонент, научный сотрудник Института физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Пушкинский научный центр биологических исследований Российской академии наук», кандидат биологических наук (03.02.08 – экология), Фролов Павел Владимирович

Почтовый адрес: 142290, Московская обл., г. Пушкино, ул. Институтская, д. 2.

Тел.: +7 (916) 072–10–65

E-mail: frolov@pbcras.ru

Подпись: Фролова И.В. Завершено

Начальник отдела кадров

14.08/2024 ОТДЕЛ