

УДК: 574.47+502.72+004.932.72'1

DOI: 10.35595/2414-9179-2025-2-31-154-163

Л. А. Шилоносков¹, Э. Е. Ротэрмель², Т. А. Беляев³,
Д. В. Макурин⁴, Л. А. Иванчина⁵

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СЕГМЕНТАЦИИ MEANSHIFT ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ КРОН ДЕРЕВЬЕВ НА СНИМКАХ БПЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ORFEO TOOLBOX

АННОТАЦИЯ

Точное автоматизированное обнаружение отдельных кроны деревьев по данным аэрофотосъемки представляет собой важную задачу. В последние годы в Пермском крае массово усыхают пихтовые древостои от воздействия уссурийского полиграфа (*Polygraphus proximus* Blandford). Для работы с такими лесами необходимо, чтобы система распознавала кроны деревьев разной категории санитарного состояния: кроны с зеленой хвоей, кроны с дехромированной хвоей, деревья с отсутствием хвои. Цель исследований — оценка точности распознавания отдельных кроны пихтовых древостоев, подвергшихся усыханию от воздействия *P. proximus*, с помощью метода MeanShift. Объектом исследований послужило насаждение, произрастающее в Пермском лесничестве Пермского края. После 2022 г. в насаждении усыхают деревья пихты, подвергшиеся воздействию *P. proximus*. Доля пихты в составе древостоев составляет 30 %. Доля сухостоя пихты, погибшего от воздействия *P. proximus*, составляет 71,6 %. Осуществлена аэрофотосъемка обследованного участка с помощью беспилотных летательных аппаратов DJI Mavic 3M Multispectral, снабженного мультиспектральной камерой и DJI Mavic 3T (Thermal), снабженного тепловизионной камерой. Для выделения кроны был выбран инструмент сегментации по методу MeanShift. Сегментация была выполнена в программном обеспечении QGIS 3.36.3 с встроенным в инструменты анализа модулем Orfeo Tool Box. Общая точность распознавания кроны составляет 73 %, а значение F-меры — 69 %. Указанный алгоритм требует доработок. Недостатком алгоритма является невозможность сегментировать кроны каждого отдельного дерева. Новизной нашего способа обнаружения кроны является использование тепловизионных снимков с целью отделения кроны от подстилающей поверхности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: отдельные кроны деревьев, уссурийский полиграф, ортофотоплан, сегментация по методу MeanShift, модуль Orfeo Tool Box, тепловизионные снимки

¹ Пермский государственный национальный исследовательский университет, ул. Букирева, д. 15, Пермь, Россия, 614068, e-mail: lonya.sh@mail.ru

² Пермский государственный национальный исследовательский университет, ул. Букирева, д. 15, Пермь, Россия, 614068

³ Пермский государственный национальный исследовательский университет, ул. Букирева, д. 15, Пермь, Россия, 614068

⁴ Пермский государственный национальный исследовательский университет, ул. Букирева, д. 15, Пермь, Россия, 614068

⁵ Пермский государственный национальный исследовательский университет, ул. Букирева, д. 15, Пермь, Россия, 614068, e-mail: ivanchina.ludmila@yandex.ru

Leonid A. Shilonosov¹, Eduard E. Roterme², Timur A. Belyaev³,
Dmitriy V. Makurin⁴, Lyudmila A. Ivanchina⁵

APPLICATION OF THE MEANSHIFT SEGMENTATION METHOD FOR TREE CROWN DELINEATION FROM UAV IMAGERY USING ORFEO TOOLBOX

ABSTRACT

Accurate automated detection of individual tree crowns from aerial imagery constitutes an important task. In recent years, fir stands in the Perm Krai have experienced mass dieback due to the impact of the Ussuri bark beetle (*Polygraphus proximus* Blandford). Effective management of such forests requires a system capable of recognizing tree crowns across different sanitary-condition categories: crowns with green needles, crowns with discolored needles, and trees lacking needles. The aim of this study was to evaluate the accuracy of recognizing individual crowns of fir stands affected by dieback from *P. proximus* using the MeanShift method. The object of investigation was a stand located within the Perm Forestry of Perm Krai. Since 2022, fir trees in this stand affected by *P. proximus* have been undergoing dieback. The proportion of fir in the stand composition is 30 %, and the proportion of standing dead fir killed by *P. proximus* is 71.6 %. Aerial surveys of the study area were conducted using a DJI Mavic 3M Multispectral UAV equipped with a multispectral camera and a DJI Mavic 3T (Thermal) UAV equipped with a thermal imaging camera. For crown delineation, the MeanShift segmentation tool was selected. Segmentation was performed in QGIS software using the Orfeo ToolBox module integrated into its analysis tools. The overall accuracy of crown recognition reached 73 %, and the F-measure value was 69 %. The method requires further refinement; a key limitation is its inability to segment every individual tree crown. The novelty of our crown-detection approach lies in the use of thermal imagery to distinguish crowns from the underlying surface.

KEYWORDS: individual tree crowns, four-eyed fir bark beetle, orthophotomap, MeanShift Segmentation, Orfeo Tool Box module, thermal-imaging

ВВЕДЕНИЕ

В связи с плотной структурой лесного полога, а также ввиду разнообразных экологических условий, точное автоматизированное обнаружение отдельных крон деревьев по данным аэрофотосъемки (далее — АФС) представляет собой важную и непростую задачу. Четкому распознаванию крон препятствуют взаимное перекрытие крон и вариация освещения [Kapil et al., 2024].

Точное автоматизированное распознавание отдельных крон деревьев может быть использовано для решения множества практических задач: оценки запасов углерода [Никитина, 2024; Fujimoto et al., 2019], определения сомкнутости крон древесного полога и полноты древостоев [Сухих и др., 1977; Гоммеритадт, 2019], мониторинга санитарного состояния лесов [Ecke et al., 2022], выявления повреждения вредителями и болезнями [Kapil et al., 2022].

В последние годы в Пермском крае массово усыхают пихтовые древостои от воздействия уссурийского полиграфа (*Polygraphus proximus* Blandford, 1894, далее по тексту: *P. proximus*) [Кривец и др., 2024]. Для работы с такими лесами необходимо, чтобы

¹ Perm State University, 15, Bukireva str., Perm, 614068, Russia, e-mail: lonya.sh@mail.ru

² Perm State University, 15, Bukireva str., Perm, 614068, Russia

³ Perm State University, 15, Bukireva str., Perm, 614068, Russia

⁴ Perm State University, 15, Bukireva str., Perm, 614068, Russia

⁵ Perm State University, 15, Bukireva str., Perm, 614068, Russia, e-mail: ivanchina.ludmila@yandex.ru

система распознавала кроны деревьев разной категории санитарного состояния: кроны с зеленой хвоей, кроны с дехромированной хвоей, деревья с отсутствием хвои.

Ранее учеными для выделения отдельных кроны применялись следующие методы:

- метод автоматической сегментации с использованием нейронной сети Mask R-CNN [Никитина, 2024];
- сегментация изображений с использованием алгоритма Large-Scale Mean-Shift (LSMS) и классификация с применением двух методов контролируемого обучения — случайного леса (Random Forest, RF) и опорных векторов (Support Vector Machines, SVM), основанных на подходе машинного обучения [De Luca et al., 2019];
- метод ShadowSense, сочетающий в себе инструменты Domain Adversarial Training (DAT) и Foreground FPN Feature Alignment (FG FPN FA) [Kapil et al., 2024].

Цель исследований — оценка точности распознавания отдельных кроны пихтовых древостоев, подвергшихся усыханию от воздействия *P. proximus*, с помощью метода MeanShift.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследований послужило насаждение, произрастающее в Пермском лесничестве Пермского края. После 2022 г. в насаждении усыхают деревья пихты, подвергшиеся воздействию *P. proximus*.

Обследование проводилось в вегетационный сезон 2024 г. методом закладки пробной площади (далее — ПП) [Бунькова и др., 2020]. Заложена ПП прямоугольной формы площадью 0,36 га. Общее количество учтенных деревьев составило 207 штук. Границы ПП представлены на рис. 1.

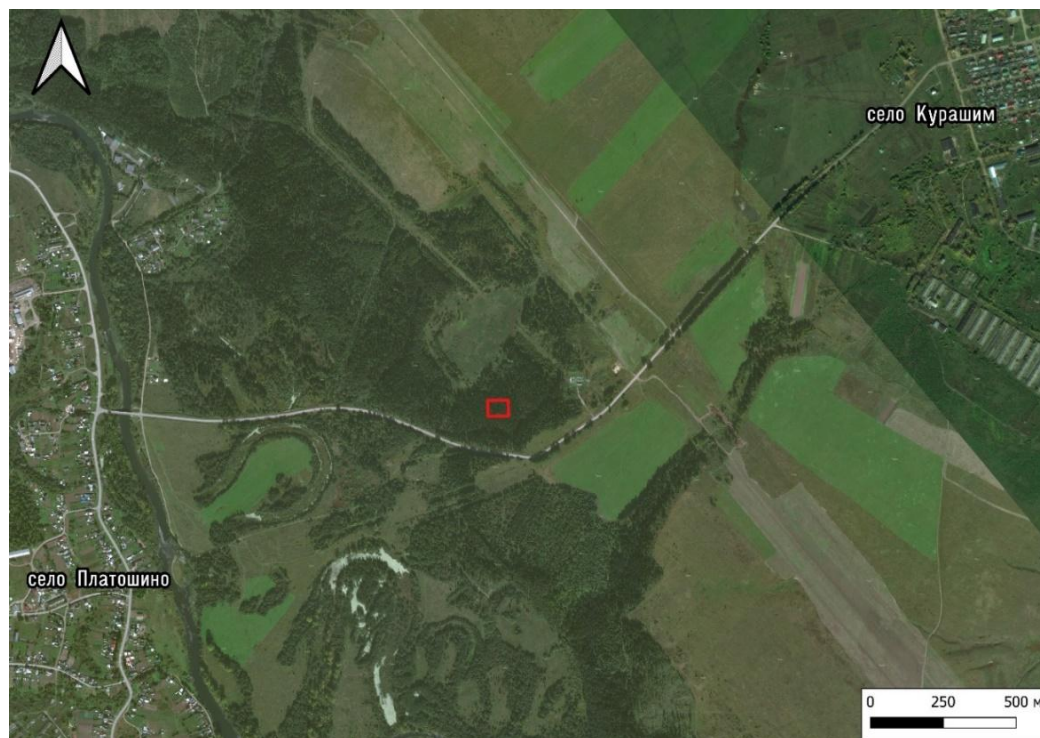


Рис. 1. Схема расположения пробной площади в пределах Пермского лесничества
Fig. 1. Map of the location of the sample plot within the boundaries of the Perm forestry district

В границах пробной площади проводился сплошной пересчет деревьев с определением породы каждого дерева и измерением диаметра и высоты каждого дерева. Диаметр измерялся на высоте 1,3 м с помощью мерной вилки. Высота каждого дерева определялась с помощью высотомера Suunto PM-5. Для определения среднего возраста пихтового древостоя бурились керны у модельных деревьев у комля ствола с помощью возрастного бурава Haglof.

У каждого дерева определялась категория санитарного состояния по шкале, представленной в действующих Правилах санитарной безопасности в лесах¹. Наличие повреждений вредителями и болезнями оценивалось визуально.

Таксационная характеристика древостоя определена в камеральных условиях по общеизвестным в лесной таксации формулам и методам [Анучин, 1982] (табл. 1).

Лесное насаждение произрастает в условиях кисличного типа леса. Доля пихты в составе древостоев составляет 30 %. Доля сухостоя пихты, погибшего от воздействия *P. proximus*, — 71,6 %.

Табл. 1. Таксационная характеристика обследованного древостоя
Table 1. The taxation characteristic of surveyed forest stand

Тип леса / ТЛУ		Е.к. / С2			Итого
Состав по элементам леса		7Е	3П	+Б	
Возраст, лет		81			
Средние	Диаметр, см	35,0	26,3	44,2	–
	Высота, м	25,0	25,0	–	25,0
Густота, шт./га		321	254	6	581
Полнота	Абсолютная, м ² / га	30,80	13,80	0,86	45,46
	Относительная	0,67	0,30	0,03	1,0
Класс бонитета		1			
Запас, м ³ /га	Общий	372	155	–	527
	Растущий	351	35	–	386
	Сухостой	13	111	–	124
	Захламленность	8	9	–	17

Аэрофотосъемка обследованного участка осуществлялась на высоте 150 м с помощью беспилотного летательного аппарата DJI Mavic 3M Multispectral, снабженного мультиспектральной камерой и с помощью беспилотного летательного аппарата DJI Mavic 3T (Thermal), снабженного тепловизионной камерой.

По аэрофотоснимкам были построены ортофотопланы. На первом этапе обработки производилась обработка исходных данных: ортофотоплан, полученный на основе мультиспектральной съемки, был совмещен с ортофотопланом, который построен на основании тепловизионной съемки. Далее с целью недопущения ошибок, связанных с NoData, ортофотопланы были обрезаны по одинаковой маске.

Для выделения крон был выбран инструмент сегментации по методу MeanShift, который служит для объектно-ориентированного анализа изображений. Этот метод работает хорошо для выделения однородных по цвету и пространству объектов, например крон деревьев, зданий, дорог и т. д. [Zhou et al., 2011]. Сегментация была выполнена в программном обеспечении QGIS 3.36.3 с встроенным в инструменты анализа модулем Orfeo Tool Box (OTB), который является библиотекой инструментов для обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), с инструментом сегментации по методу

¹ Об утверждении Правил санитарной безопасности в лесах: утверждены Постановлением Правительства Российской Федерации от 9 декабря 2020 года № 2047

MeanShift. Параметры с их описаниями, имеющие определяющее значение в данном инструменте, указаны в табл. 2.

На вход в данном инструменте загружается ортофотоплан, построенный по мультиспектральным снимкам. Далее по результатам сегментации стоит задача отделить непосредственно кроны от подстилающей поверхности. В следующем этапе используется пространственно привязанный ортофотоплан, отражающий температуры на исследуемой территории. На указанном ортофотоплане за счет разности температур кроны деревьев отчетливо отделяются от подстилающей поверхности (рис. 2).

Из ортофотоплана выделяется зональная статистика в векторный слой, полученный по результатам сегментации. Таким образом, мы получаем среднее значение и стандартное отклонение для каждого сегмента векторного слоя. Это делается для того, чтобы отсеять класс подстилающей поверхности в дальнейшем.

Табл. 2. Параметры с их описаниями, имеющие определяющее значение в инструменте сегментации по методу MeanShift
Table 2. Parameters with their descriptions that have a defining significance in the MeanShift segmentation tool

Английское название	Русское название	Описание	Значение
filter.meanshift.spatialr	Пространственный радиус	Задаёт радиус в пикселях для пространственного окна, в пределах которого вычисляется центр масс. Увеличение значения приводит к более гладкой сегментации	10
filter.meanshift.ranger	Спектральный (ранговый) радиус	Определяет диапазон допустимых различий в значениях (например, цветах или спектральных характеристиках) между пикселями для их объединения в кластер	12
filter.meanshift.thres	Порог сходимости	Минимальное изменение (обычно разница между соседними итерациями), при достижении которого алгоритм считает, что сходимость достигнута, и останавливается	1
filter.meanshift.maxiter	Максимальное число итераций	Ограничивает максимальное число итераций алгоритма при поиске центра масс. Если за указанное число шагов не достигнута сходимость, итерации прекращаются	100
filter.meanshift.minsize	Минимальный размер сегмента	Определяет минимально допустимое количество пикселей в сегменте. Сегменты, имеющие меньшее число пикселей, могут быть удалены или объединены с соседними	70

Далее создается простая обучающая модель, где некоторые сегменты визуально оцениваются на принадлежность к классам кроны или подстилающей поверхности (достаточно 10 штук каждого из классов). Файл, содержащий данные о классах в инструменте Train Vector Classifier, переводится в формат «.model», где задаются параметры, учитывающие среднее значение и стандартное отклонение, и после этого используется в инструменте Vector Classifier, который уже рассчитывает предсказанные значения класса для каждого из сегментов, таким образом отделяя кроны от подстилающей поверхности.

Показатели метрики рассчитаны в программе Microsoft Office Excel версии 2021 г.

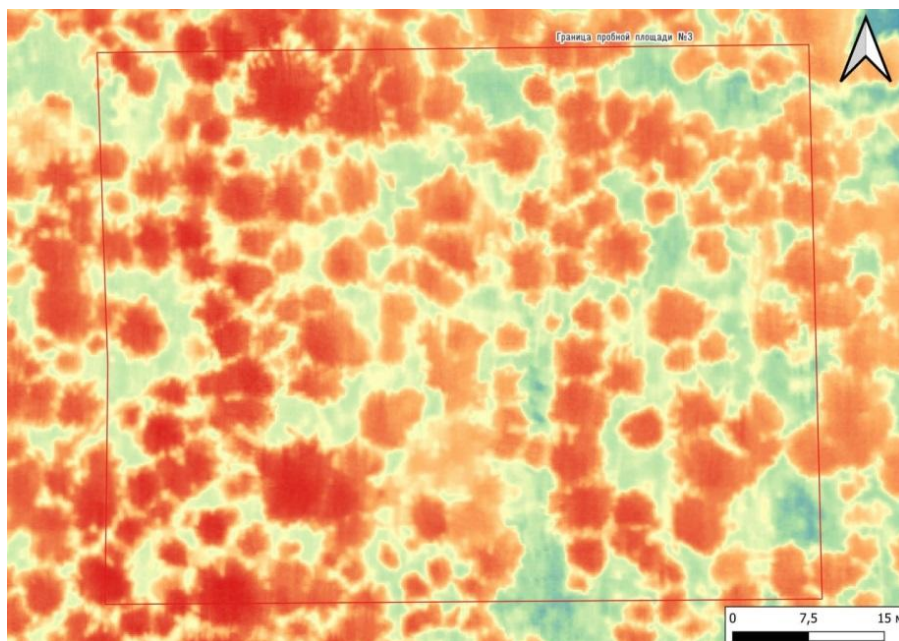


Рис. 2. Ортофотоплан, отражающий температуры на исследуемой территории
Fig. 2. Orthophotomap depicting temperatures in the area under investigation

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате сегментации получают раздробленные сегменты, которые при этом уже имеют явно очерченные границы крон (рис. 3). Сегменты позволяют разделить изображение лесного полога на однородные объекты, которые соответствуют очертаниям крон деревьев.

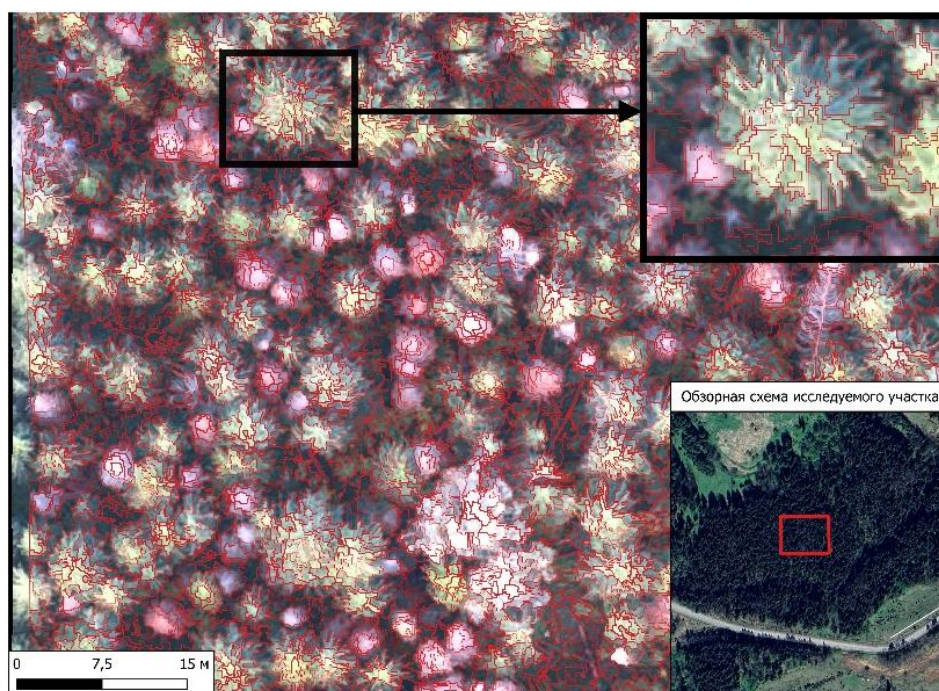
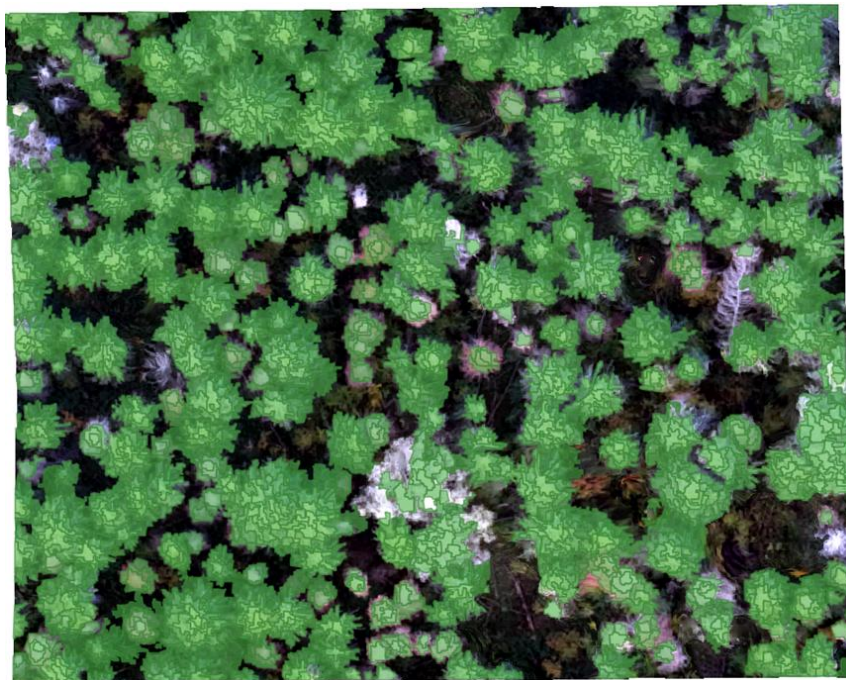


Рис. 3. Результат сегментации в Orfeo Tool Box по методу MeanShift
Fig. 3. Result of MeanShift segmentation in Orfeo ToolBox

После прохождения остальных этапов кроны отделяются от подстилающей поверхности (рис. 4). Подстилающая поверхность и кроны живых деревьев характеризуются одинаковой окраской — разными оттенками зеленого, что затрудняет выделение крон. Однако за счет разницы температур между кронами деревьев и подстилающей поверхностью, отраженной на снимках, полученных с помощью воздушного тепловизора, отделить объекты друг от друга становится менее затруднительно.



*Рис. 4. Классификация сегментации. Класс «кроны»
Fig. 4. Segmentation classification: the “crowns” class*

После прохождения валидации результата на основе эталонных данных были получены следующие значения для расчета метрик: TP = 1 580, FN = 539, FP = 882, TN = 2 264. Оценка точности алгоритма представлена в табл. 3.

*Табл. 3. Значения метрических показателей для оценки
точности алгоритма выделения крон
Table 3. Metric values for evaluating the accuracy
of tree crown delineation method*

Метрика	Формула	Значение, %
Точность общая (Accuracy)	$(TP + TN) / (TP + TN + FP + FN)$	73,01
Точность положительных (Precision)	$TP / (TP + FP)$	64,18
Полнота (Recall (Sensitivity))	$TP / (TP + FN)$	74,56
Специфичность (Specificity)	$TN / (TN + FP)$	71,96
Уровень ложных срабатываний (False Positive Rate (FPR))	$FP / (FP + TN)$	28,04
F1-мера (F1-score)	$2 * Precision * Recall / (Precision + Recall)$	68,98

Согласно материалам табл. 3, общая точность алгоритма выделения крон составляет 73 %, а уровень ложных срабатываний — 28 %. Значение F-меры составляет 69 %. Полученные значения свидетельствуют о приемлемой, но невысокой эффективности способа выделения крон деревьев.

В соответствии с оценкой точности, этот алгоритм требует доработок. Данный алгоритм не сегментирует крону каждого отдельного дерева (при плотном прилегании крон они будут сливаться в один контур) и подходит для случаев, если древостой характеризуется низкой густотой, низкой полнотой и низкой сомкнутостью крон деревьев.

ВЫВОДЫ

Общая точность распознавания крон с помощью сегментации по методу MeanShift составляет 73 %, а значение F-меры — 69 %. Алгоритм требует доработок. Недостатком алгоритма является невозможность сегментировать крону каждого отдельного дерева. В высокополнотных и густых древостоях с высокой сомкнутостью крон они будут сливаться в один контур. Алгоритм подходит для древостоев, характеризующихся низкой сомкнутостью крон. Новизной нашего способа обнаружения крон является использование тепловизионных снимков с целью отделения крон от подстилающей поверхности за счет разницы температур.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-76-10057, <https://rscf.ru/project/24-76-10057/>.

ACKNOWLEDGEMENTS

The research was funded by a grant from the Russian Science Foundation No. 24-76-10057, <https://rscf.ru/project/24-76-10057/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Анучин Н. П.* Лесная таксация. М.: Лесная промышленность, 1982. 552 с.
- Бунькова Н. П., Залесов С. В., Залесова Е. С., Магасумова А. Г., Осипенко Р. А.* Основы фитомониторинга. Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, 2020. 90 с.
- Гоммерштадт О. М.* Использование данных БПЛА для изучения горизонтальной структуры лесов Севера. Материалы XXVI Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2019». Севастополь: Филиал МГУ в г. Севастополе, 2019. С. 245–246.
- Кривец С. А., Керчев И. А., Бисирова Э. М., Волкова Е. С., Астапенко С. А., Ефременко А. А., Косилов А. Ю., Кудрявцев П. П., Кузнецова Ю. Р., Пономарёв В. И., Потапкин А. Б., Тараскин Е. Г., Титова В. В., Шилоносков А. О., Баранчиков Ю. Н.* Обзор современного вторичного ареала уссурийского полиграфа (*Polygraphus Proximus* Blandford) на территории Российской Федерации. Российский журнал биологических инвазий, 2024. № 1. С. 49–69. DOI: 10.35885/1996-1499-17-1-49-69.
- Никитина А. Д.* Автоматическая сегментация крон сосновых древостоев с использованием MASK R-CNN на RGB-ортофотопланах БПЛА. Вопросы лесной науки, 2024а. Т. 7. № 2. С. 1–21. DOI: 10.31509/2658-607x-202372-146.
- Никитина А. Д.* Определение запасов углерода в сосновых древостоях хвойно-широколиственных лесов с использованием данных высокодетальной съемки. Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук. М., 2024б. 204 с.

Сухих В. И., Гусев Н. Н., Данюлис Е. П. Аэрометоды в лесоустройстве. М.: Лесная промышленность, 1977. 192 с.

De Luca G., Silva J. M. N., Cerasoli S., Araújo J., Campos J., Di Fazio S., Modica G. Object-Based Land Cover Classification of Cork Oak Woodlands using UAV Imagery and Orfeo ToolBox. *Remote Sensing*, 2019. V. 11. P. 1238. DOI: 10.3390/rs11101238.

Ecke S., Dempewolf J., Frey J., Schwaller A., Endres E., Klemmt H.-J., Tiede D., Seifert T. UAV-based Forest Health Monitoring: A Systematic Review. *Remote Sensing*, 2022. V. 14. No. 13. P. 3205. DOI: 10.3390/rs14133205.

Fujimoto A., Haga C., Matsui T., Machimura T., Hayashi K., Sugita S., Takagi H. An End to End Process Development for UAV-SFM Based Forest Monitoring: Individual Tree Detection, Species Classification and Carbon Dynamics Simulation. *Forests*, 2019. V. 10. No. 8. P. 680. DOI: 10.3390/f10080680.

Kapil R., Marvasti-Zadeh S. M., Erbilgin N., Ray N. ShadowSense: Unsupervised Domain Adaptation and Feature Fusion for Shadow-Agnostic Tree Crown Detection from RGB-Thermal Drone Imagery. *IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV)*, 2024. DOI: 10.1109/WACV57701.2024.00808.

Kapil R., Marvasti-Zadeh S. M., Goodsmann D., Ray N., Erbilgin N. Classification of Bark Beetle-Induced Forest Tree Mortality Using Deep Learning. *arXiv preprint arXiv:2207.07241*, 2022. DOI: 10.48550/arXiv.2207.07241.

REFERENCES

Anuchin N. P. Dendrometry. Moscow: Forest Industry, 1982. 552 p. (in Russian).

Bunkova N. P., Zalesov S. V., Zalesova E. S., Magasumova A. G., Osipenko R. A. Basics of Phytomonitoring. Ekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, 2020. 90 p. (in Russian).

De Luca G., Silva J. M. N., Cerasoli S., Araújo J., Campos J., Di Fazio S., Modica G. Object-Based Land Cover Classification of Cork Oak Woodlands using UAV Imagery and Orfeo ToolBox. *Remote Sensing*, 2019. V. 11. P. 1238. DOI: 10.3390/rs11101238.

Ecke S., Dempewolf J., Frey J., Schwaller A., Endres E., Klemmt H.-J., Tiede D., Seifert T. UAV-based Forest Health Monitoring: A Systematic Review. *Remote Sensing*, 2022. V. 14. No. 13. P. 3205. DOI: 10.3390/rs14133205.

Fujimoto A., Haga C., Matsui T., Machimura T., Hayashi K., Sugita S., Takagi H. An End to End Process Development for UAV-SFM Based Forest Monitoring: Individual Tree Detection, Species Classification and Carbon Dynamics Simulation. *Forests*, 2019. V. 10. No. 8. P. 680. DOI: 10.3390/f10080680.

Gommershtadt O. M. Using UAV Data to Study the Horizontal Structure of Northern Forests. *Proceedings of the XXVI International Scientific Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists “Lomonosov-2019”*. Sevastopol: Branch of Lomonosov Moscow State University in the city of Sevastopol, 2019. P. 245–246 (in Russian).

Kapil R., Marvasti-Zadeh S. M., Erbilgin N., Ray N. ShadowSense: Unsupervised Domain Adaptation and Feature Fusion for Shadow-Agnostic Tree Crown Detection from RGB-Thermal Drone Imagery. *IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV)*, 2024. DOI: 10.1109/WACV57701.2024.00808.

Kapil R., Marvasti-Zadeh S. M., Goodsmann D., Ray N., Erbilgin N. Classification of Bark Beetle-Induced Forest Tree Mortality Using Deep Learning. *arXiv preprint arXiv:2207.07241*, 2022. DOI: 10.48550/arXiv.2207.07241.

Krivets S. A., Kerchev I. A., Bisirova E. M., Volkova E. S., Astapenko S. A., Efremenko A. A., Kosilov A. Yu., Kudryavtsev P. P., Kuznetzova Yu. P., Ponomarev V. I., Potapkin A. B., Taras-kin E. G., Titova V. V., Shilonosov A. O., Baranchikov Yu. N. Overview of the Current Secondary Range of the Four-eyed Fir Bark Beetle (*Polygraphus Proximus* Blandford) in the Russian Federation. *Russian Journal of Biological Invasions*, 2024. No. 1. P. 49–69 (in Russian). DOI: 10.35885/1996-1499-17-1-49-69.

Nikitina A. D. Automatic Segmentation of Tree Crowns in Pine Forests Using MASK R-CNN on RGB Imagery from UAVS. *Forest Science Issues*, 2024a. V. 7. No. 2. P. 1–21 (in Russian). DOI: 10.31509/2658-607x-202372-146.

Nikitina A. D. Determination of Carbon Stocks in Pine Stands of Coniferous-Broadleaf Forests Using High-Resolution Survey Data. Dissertation for PhD in Biological Sciences. Moscow, 2024b. 204 p. (in Russian).

Sukhikh V. I., Gusev N. N., Danyulis E. P. Aerial Methods in Forest Management. Moscow: Forestry Industry, 1977. 192 p. (in Russian).
