

2. Гумусовое состояние дерново-подзолистых почв лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева / В. Д. Наумов, Н. Л. Поветкина, А. В. Лебедев, А. В. Гемонов // Вклад особо охраняемых природных территорий в экологическую устойчивость регионов: Современное состояние и перспективы: Материалы всероссийской (с международным участием) конференции, Кологрив, 20–21 сентября 2018 года. – Кологрив: Федеральное государственное бюджетное учреждение "Государственный природный заповедник "Кологривский лес" имени М.Г. Сеницына", 2018. – С. 77-82.

3. Дубенок Н.Н. Результаты экспериментальных работ за 150 лет в Лесной опытной даче Тимирязевской сельскохозяйственной академии / Н.Н. Дубенок, В.В. Кузьмичев, А. В. Лебедев. – Москва: Федеральное государственное унитарное предприятие "Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр "Наука", 2020. – 382 с.

4. Дубенок Н.Н. Анализ экологических функций древостоев березы и дуба в условиях урбанизированной среды по материалам долгосрочных наблюдений / Н.Н. Дубенок, В.В. Кузьмичев, А.В. Лебедев, // Российская сельскохозяйственная наука. – 2018. – № 5. – С. 29-31. – DOI 10.31857/S250026270000632-0.

5. Географические культуры сосны в лесной опытной даче Тимирязевской академии: К 180-летию М.К. Турского / В.Д. Наумов, Н.Л. Поветкина, А.В. Лебедев, А.В. Гемонов. – Москва: МЭСХ, 2019. – 182 с.

6. Ятченко П.П., Борисова А.А. Мучнистая роса на самосеве дуба в древостоях Лесной опытной дачи // Лесохозяйственная информация, 2015, № 1. – С. 57-61.

УДК 630.5

ВЛИЯНИЕ СЕЗОННОСТИ НА КАЧЕСТВО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ДЕРЕВЬЕВ ПО ТРЕХМЕРНЫМ ОБЛАКАМ ТОЧЕК

Кабонен Алексей Валерьевич, аспирант кафедры Технологии и организации лесного комплекса ФГБОУ ВО Петрозаводский государственный университет, alexkabonen@mail.ru

Иванова Наталья Владимировна, к.б.н., с.н.с. Института математических проблем биологии РАН – филиал ФГУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН», natalya.dryomys@gmail.com

Аннотация: В статье представлены результаты оценки качества детектирования вершин деревьев и определения их высот по трехмерным фотограмметрическим облакам точек, полученных на основе разносезонной аэрофотосъемки смешанного древостоя. В результате установлено, что алгоритмы обработки данных позволили корректно детектировать большинство деревьев (78%) в периоды полного облиствения и осеннего

окрашивания.

Ключевые слова: БПЛА, лазерное сканирование, фотограмметрия, фенология.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) и системы лазерного сканирования LiDAR (Light Detection and Ranging) успешно нашли применение для решения задач в области исследования и мониторинга лесов [1, 2]. Лазерное сканирование представляет собой автоматическое сферическое измерение окружающего трехмерного (3D) пространства лазером с последующей регистрацией измерений в виде трехмерного облака точек. БПЛА позволяют получить данные в виде набора геопривязанных RGB (red, green, blue) фотографий, снятых с перекрытием. Фотограмметрическая обработка этих материалов, как и в случае данных LiDAR, позволяет получить для дальнейшего анализа облака точек и трехмерные модели поверхности. На основе этих данных можно осуществлять автоматический поиск деревьев, оценивать их высоты, диаметры стволов и другие характеристики [3 и др.].

Мало исследованным остается влияние сезона съемки на качество получаемых оценок. Было показано [4], что полеты в течение весеннего сезона более эффективны (точность > 80%) для картографирования некоторых видов деревьев по мультиспектральным данным. Вопрос влияния сезона съемки на качество результатов, полученных по облакам точек или цифровым моделям высот, пока остается вне внимания исследователей.

Целью данной работы стала оценка качества детектирования деревьев и их высот в смешанных и хвойных насаждениях по фотограмметрическим (БПЛА) и наземным LiDAR данным в зависимости от фенологической фазы.

Работа выполнена на территории арборетума Ботанического сада Петрозаводского государственного университета. Исследованы три пробных участка, различающихся по составу и возрасту деревьев. В 2019-2021 гг. было проведено четыре аэрофотосъемки с квадрокоптера Phantom 4 Pro в периоды безлистного состояния деревьев, роста зеленой биомассы, полного облиствения и осеннего окрашивания листьев. Дополнительно к этому было выполнено однократное наземное лазерное сканирование насаждения с помощью Leica BLK 360.

В таблице 1 приведены характеристики для всех полетов и результаты фотограмметрической обработки в программном обеспечении Agisoft Metashape.

Таблица 1

Технические характеристики полетных планов и материалов аэрофотосъемки

Период полета	Дата	Высота полета, м	Число сделанных снимков, шт.	Разрешение ортофотоплана, см/пиксель	Плотность облака точек, точек/м ²
Безлистное состояние	28.04.20	45	974	1.1	4.6 тыс.

Продолжение таблицы 1					
Рост биомассы	22.05.19	80	683	2.8	4.3 тыс.
Полное облиствение	21.06.21	70	732	2.7	3.8 тыс.
Осеннее окрашивание	21.09.21	60	894	1.2	4.1 тыс.

Дальнейший анализ данных фотограмметрической обработки для каждого срока съемки предполагал автоматический поиск вершин деревьев и оценку их высот в среде статистического программирования R с использованием функций специализированного пакета lidR. Для верификации полученные результаты сравнивали с ручными измерениями по облаку точек LiDAR в программном обеспечении Cyclone 3DR. Для сравнения на каждом пробном участке было определено число корректно детектированных алгоритмом деревьев (TP), число ложных срабатываний (FP) и число пропущенных деревьев (FN). Качество работы алгоритма было определено на основе общепринятых оценок [5]; для этого вычислены значения полноты обнаружения p , качества обнаружения r и средневзвешенной оценки качества F по следующим формулам:

$$r = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$p = \frac{TP + FP}{2 \times r \times p}$$

$$F = \frac{r + p}{2}$$

Для всех корректно детектированных деревьев сравнивали высоты, полученные в результате автоматических вычислений, с высотами, измеренными в ручном режиме по данным LiDAR. При этом следует отметить, что поскольку временной интервал между проведением съемки LiDAR и съемкой квадрокоптером составлял 1–3 года, данные LiDAR не были идеальным эталоном для оценок, полученных для 2019 и 2020 гг. Таким образом, помимо различий, обусловленных двумя разными методами сбора данных, присутствовала ошибка, связанная с ростом деревьев.

В результате сравнения плотностей фотограмметрических облаков, полученных для разных фенологических фаз, показано, что с увеличением зеленой биомассы увеличивается число точек, отнесенных к деревьям, и снижается число точек, относящихся к классу земной поверхности. При максимальной сомкнутости крон лиственных деревьев в период полного облиствения число точек земной поверхности стремится к нулю, что затрудняет процесс нормализации облаков относительно уровня земли для дальнейшего анализа данных. Реконструированные по данным с БПЛА плотные облака для безлистного периода, напротив, содержат максимальное число точек земной поверхности и минимальное число точек, относящихся к лиственным деревьям.

Выявленные закономерности отразились на качестве детектирования деревьев в разные сезоны года (табл. 2). Выяснено, что в период безлистного

состояния на всех участках детектировано наименьшее число деревьев за весь период наблюдений, о чем свидетельствуют низкие значения показателя r . Полнота обнаружения p также была низкой. Лишь в 25% случаев алгоритму корректно удалось обнаружить листовые деревья. В период роста зеленой биомассы качество обнаружения деревьев возросло. Число корректно детектированных деревьев на всех трех участках составило 66% от общего числа деревьев, при этом количество ложных срабатываний снизилось в 2 раза относительно безлистного состояния.

Таблица 2

Оценка качества результатов автоматического поиска вершин

Фенологическая фаза	Участок 1			Участок 2			Участок 3		
	r	p	F	r	p	F	r	p	F
Безлистное состояние	0.34	0.41	0.37	0.54	0.63	0.58	0.64	0.74	0.68
Рост биомассы	0.65	0.75	0.69	0.59	0.82	0.68	0.64	0.84	0.72
Полное облиствение	0.75	0.92	0.83	0.76	0.93	0.84	0.81	0.92	0.86
Осеннее окрашивание	0.77	0.87	0.82	0.78	0.95	0.86	0.82	0.91	0.86

Наилучшие результаты получены для периодов полного облиствения и осеннего окрашивания листьев. Оценки качества детектирования для этих периодов были весьма схожими на всех трех пробных участках. Верификация полученных данных для этих периодов показала хорошее качество автоматического поиска деревьев. В результате ручного детектирования по облакам LiDAR на участке 1 учтено 58 деревьев, на участке 2 – 53 дерева, на участке 3 – 45 деревьев, а автоматическое детектирование выявило 59, 52 и 46 деревьев соответственно для двух периодов в среднем, что, в общем, составляет почти 100% от общего числа деревьев. При этом большинство деревьев (78.9%), найденных алгоритмом, были определены корректно.

Из данных в табл. 2 следует, что с уменьшением количества зеленой биомассы увеличивалось число ложноположительных FP и ложноотрицательных срабатываний FN . В период безлистного состояния увеличение FP и FN было двукратным относительно полного облиствения. Это объясняется тем, что алгоритм воспринимает разброс облаков точек с низкой плотностью как набор нескольких деревьев. Во всех случаях значение r было ниже, чем p , т.е. качество обнаружения деревьев превышало полноту их поиска. Эти результаты показывают, что в исследуемых участках алгоритм чаще находил ложные вершины, чем пропускал деревья, т.е. ошибка недооценки числа деревьев ниже, чем ошибка переоценки. На участках, где доминировали хвойные деревья, а участие листовых не превышало 30%, число неучтенных вершин было невелико. При высокой доле участия листовых деревьев, напротив, отмечено максимальное число ложных и пропущенных вершин.

Так как значение индексов p и r для разных периодов было неоднородным, это по-разному повлияло на общую оценку качества F . Наиболее низкое значение F (0.49) было для периода безлистного состояния деревьев, что свидетельствует о низком качестве детектирования по причине

наличия лиственных деревьев. Высокие значения F (0.84) для периодов полного облиствения и осеннего окрашивания показывают, что в целом качество детектирования деревьев было хорошим на всех исследованных участках. Значение F (0.69) для периода роста биомассы также можно охарактеризовать как качественное.

При сопоставлении оценок высот деревьев выяснено, что высоты, оцененные по фотограмметрическим облакам точек в период полного облиствения, хорошо согласовывались с высотами, измеренными лазерным сканированием LiDAR ($R^2 = 0.99$). Результаты автоматического вычисления высот успешно детектированных лиственных деревьев в момент безлистного состояния в большинстве случаев показали неоднородное занижение на 15–50% относительно данных LiDAR. Выявлено, что периоды появления и опадания листвы приводят к повышению точности оценки высоты хвойных деревьев в смешанных древостоях, что связано, вероятно, со снижением сплошной поверхности полога. В то же время для древостоев, состоящих только из хвойных деревьев, показано одинаковое качество оценки высот независимо от сезона года. Наиболее близкие значения высот были получены для деревьев с конусовидной формой кроны.

Исследование выполнено при поддержке Фонда венчурных инвестиций Республики Карелия в рамках Программы поддержки прикладных научных исследований и разработок студентов и аспирантов ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет» (Договор № 4-Г21 от 27.12.2021). Публикация результатов подготовлена частично в рамках бюджетной темы ИМПБ РАН — филиал ИПМ им. М.В. Келдыша РАН.

Библиографический список

1. Liang, X. Terrestrial laser scanning in forest inventories / X. Liang, V. Kankare, J. Hyypä, Y. Wang, A. Kukko, H. Haggren, X. Yu, H. Kaartinen, A. Jaakkola, F. Guan, M. Holopainen, M. Vastaranta // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2016. - Vol. 115. - P. 63–77. - DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2016.01.006
2. Zhang, J. Seeing the forest from drones: testing the potential of lightweight drones as a tool for long-term forest monitoring / J. Zhang, J. Hud, J. Liane, Z. Fan, X. Ouyang, W. Ye // Biological Conservation. - 2016. - Vol. 198. - P. 60–69. - DOI: 10.1016/j.biocon.2016.03.027
3. Safonova, A. Individual tree crown delineation for the species classification and assessment of vital status of forest stands from UAV images / A. Safonova, Y. Hamad, E. Dmitriev, G. Georgiev, V. Trenkin, M. Georgieva, S. Dimitrov, M. Iliev // Drones. – 2021. - Vol. 5(3). - Article: 77. - DOI: 10.3390/drones5030077
4. Jackson, M. Season, classifier, and spatial resolution impact honey mesquite and yellow bluestem detection using an Unmanned Aerial System / M. Jackson, C. Portillo-Quintero, R. Cox, G. Ritchie, M. Johnson, K. Humagain, M. Subedi // Rangeland Ecology and Management. - 2020 - Vol. 73(5). - P. 658–672. - DOI: 10.1016/j.rama.2020.06.010

5. Goutte, C. A probabilistic interpretation of precision, recall and F-score, with implication for evaluation / C. Goutte, E. Gaussier. // Proceedings of the European Conference on Information Retrieval. - Berlin / Heidelberg: Springer, 2005. - P. 345–359.

СЕКЦИЯ «МЕЛИОРАЦИЯ И ЗЕМЛЕЙСТРОЙСТВО»

УДК 631.67.03

ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА МЕЛИОРИРУЕМЫХ ЗЕМЛЯХ В СЛОЖНЫХ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

Попова Екатерина Александровна, аспирант ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, kkk97@list.ru

Горошкина Дарья Павловна, магистр ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, dahagoroshek123@gmail.com

Семенова Кристина Сергеевна, научный руководитель, доцент кафедры сельскохозяйственных мелиораций, лесоводства и землеустройства ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

***Аннотация:** в статье проанализированы проблемы производства сельскохозяйственных культур Краснодарского края и пути их решения с использованием агроландшафтной мелиорации.*

***Ключевые слова:** мелиорация сельскохозяйственных земель, орошение, Краснодарский край.*

Неудовлетворительное состояние большей части сельскохозяйственных земель в стране, рост городской территории и уменьшение площади пашни, а также изменение климата и увеличение населения определяют необходимость широкого развития мелиорации. Настоящая концепция имеет целью определить пути предупреждения дальнейшей деградации сельскохозяйственных земель страны, а также основные направления мелиорации, обеспечивающие прогрессирующее повышение плодородия почв, продуктивности и устойчивости агроландшафтов, интенсификацию сельскохозяйственного производства при наименьших отрицательных воздействиях на окружающую среду.

Основная цель мелиорации сельскохозяйственных земель - качественное улучшение и расширенное воспроизводство почвенного плодородия, получение оптимального урожая сельскохозяйственных культур при наименьших отрицательных воздействиях на окружающую среду (землю, воды, фауну, флору и т.п.). Таким образом, сущность мелиорации сельскохозяйственных земель заключается в качественном изменении и в управлении почвенными,