

DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2020.3.09
УДК 630.181

Цифровое моделирование природно-ландшафтных комплексов по данным, полученным с помощью беспилотных летательных аппаратов

А.В. Кабонен

*Петрозаводский государственный университет,
аспирант кафедры технологии и организации лесного комплекса,
Петрозаводск, Республика Карелия, Российская Федерация,
alexkabonen@mail.ru*

Ю.В. Ольхин

*Петрозаводский государственный университет,
доцент кафедры технологии и организации лесного комплекса,
кандидат биологических наук,
Петрозаводск, Республика Карелия, Российская Федерация,
yuri_olkhin@mail.ru*

В статье представлено исследование арборетума Ботанического сада Петрозаводского государственного университета, основанное на применении беспилотного летательного аппарата и цифрового трехмерного компьютерного моделирования. Созданы реалистичные 3D-модели местности исследования в момент безлистного состояния и в период интенсивного роста биомассы. Выявлена возможность способа определения высоты и диаметра кроны деревьев с использованием цифровых моделей местности с погрешностью, не превышающей точность позиционирования дрона. Аналогичный подход цифровизации биологических данных показан на примере создания 3D-моделей отдельных древесных растений.

Ключевые слова: *биомоделирование, цифровая модель местности, ортофото-план, беспилотные летательные аппараты, аэрофотосъемка, фотограмметрия, объемно-пространственная структура, ботанический сад, арборетум, инвентаризация, картография.*

Для ссылок: DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2020.3.09.

Кабонен, А.В. *Цифровое моделирование природно-ландшафтных комплексов по данным, полученным с помощью беспилотных летательных аппаратов* / А.В. Кабонен, Ю.В. Ольхин. –

DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2020.3.09. – Текст : электронный // Лесохозяйственная информация : электрон. сетевой журн. – 2020. – № 3. – С. 101–110. URL: <http://lhi.vniilm.ru/>

Введение

Традиционные методические подходы к изучению природно-ландшафтных комплексов требуют инновационных изменений. В настоящее время существует возможность исследования растений и насаждений в естественной среде с максимальной детализацией и точностью, благодаря развитию методов оцифровки растений с помощью лазерного сканирования и аэрофотосъемки с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), на основе создания 3D-моделей объектов исследований. Методы лазерного сканирования широко применяют для описания биомассы и структуры экосистем [1], они способствуют значительному прогрессу в разработке теорий формирования архитектоники конкретного дерева и структуры леса [2], а также обеспечивают точные и быстрые возможности моделирования роста деревьев и насаждений для оценки развития биомассы [3].

Реалистичное 3D-моделирование ландшафтов леса является современной технологией анализа множественных характеристик растений (например, высоты и диаметра кроны) [4]. С учетом данных характеристик определяются таксационные показатели насаждений, а также создаются модели прогноза их роста и развития. В настоящее время в России преобладают классические методики определения высоты и диаметра кроны деревьев при проведении полевых измерений с применением, как правило, высотометров и мерных рулеток. Исследования растений с использованием методов оцифровки, основанные на применении лазерного сканирования [4], немногочисленны. Вероятно, это связано с дороговизной лазерного оборудования. В настоящее время в качестве альтернативы лазерному сканированию может быть предложено проведение аэрофотосъемки с применением БПЛА с последующей фотограмметрической обработкой полученных данных [5]. Однако достоверность и возможная погрешность данного метода при измерении высоты и диаметра кроны деревьев не установлена.

Данный метод можно применять не только для лесных насаждений, но и для любых

природно-ландшафтных комплексов. Например, таким образом целесообразно исследовать территории ботанических садов. Полученные данные могут быть использованы в целях повышения точности картографии, при дешифрировании и определении характеристик растительности, а также для визуализации и проектирования реконструкции территорий на основе анализа цифровых моделей местности (ЦММ). Арборетумы ботанических садов характеризуются разнообразием древесной растительности, акклиматизация и интродукция которых нуждается в постоянном изучении. Для научных исследований, мониторинга, планирования реконструкции и хозяйственных мероприятий в этих насаждениях необходимо иметь максимально точные планы размещения растений и актуальные сведения об их объемно-пространственной структуре. При анализе объемно-пространственной структуры необходимой составляющей является ее визуализация в цифровом трехмерном виде, что представляет собой сложную задачу из-за неоднородной структуры кроны разных видов растений.

Задачи картографирования и дешифрирования решаются путем создания геоинформационных систем с использованием электронных планов посадок [6–8], космических снимков [9], спутниковых карт Google и др. [10]. Однако информативность планов размещения растений в таких геоинформационных системах не даёт полного представления о пространственном расположении растений относительно друг друга и о GPS-координатах отдельных растений. Точность размещения растений на таких планах не отвечает запросам картографирования коллекций в ботанических садах и аналогичных объектах из-за высокой плотности, большого количества высаженных растений и произрастания их под пологом деревьев.

Не является исключением и арборетум Ботанического сада Петрозаводского государственного университета (ПетрГУ), коллекция которого создавалась одновременно с закладкой сада в 1951 г. В основу размещения коллекции был положен географический принцип [11]: на площади 5 га создано 3 отдела – европейской,

азиатской и американской флоры. Пространственное размещение коллекции не изменилось до наших дней. На момент исследования точного плана размещения коллекции арборетума и цифровой модели его объемно-пространственной структуры не существовало.

Цель нашей работы заключалась в создании сезонных цифровых 3D-моделей объемно-пространственной структуры коллекции арборетума Ботанического сада ПетрГУ с использованием данных, полученных с помощью беспилотного летательного аппарата, а также в определении погрешности при измерениях высоты и диаметра крон деревьев на таких цифровых моделях.

Объекты и методы исследований

Исследование проведено в 2019 г. на территории арборетума Ботанического сада ПетрГУ (южная Карелия). На площади 5 га дважды была выполнена аэрофотосъемка с помощью БПЛА: первая – в период безлистного состояния растений в начале апреля, вторая – в период интенсивного роста листвы в конце мая. Кратность аэрофотосъемки обусловлена необходимостью фотофиксации растений, находящихся под пологом широколиственных деревьев, с одной стороны, и выявлении развития биомассы – с другой.

Для аэрофотосъемки использовали квадрокоптер Phantom 4 pro plus со стандартным оборудованием на борту, камерой (матрица камеры: 1'CMOS; число эффективных пикселей: 20 млн; разрешение полученных аэроснимков: 4 096×2 160) и спутниковыми системами позиционирования GPS и ГЛОНАСС – точность позиционирования в вертикальной плоскости: $\pm 0,1$ м (система визуального позиционирования), $\pm 0,5$ м (позиционирование по спутникам); в горизонтальной плоскости: $\pm 0,3$ м (система визуального позиционирования), $\pm 1,5$ м (позиционирование по спутникам). В рамках данного исследования погрешность точности позиционирования снимков для последующей обработки рассматривалась как не превышающая заявленные характеристики БПЛА.

Для построения маршрута полета БПЛА использовано приложение Pix4DCapture, реализующее автоматизированный полет дрона с фотофиксацией по заранее запланированному маршруту, высоте и режиму полета (в данном случае режим полета DOUBLE GRID For 3D-models с высотой 45 м при съемке в безлистном состоянии и высотой 80 м при съемке в период роста биомассы). Так как территория съемки не имела прямоугольную форму, ее разделили на 2 граничащих участка маршрута полета. Изображения территории, не относящиеся к части арборетума, после съемки удаляли.

Полученные данные обрабатывали в программе Agisoft Metashape Professional Version 1.5.4, в которой реализована автоматизированная технология создания 3D-моделей высокого качества на основе цифровых снимков. Алгоритм обработки данных включал реализацию предлагаемого в руководстве пользователя решения (выравнивание снимков, построение плотного облака точек, построение текстурированной и тайловой моделей, карты высот и ортофотоплана). Отдельные растения фотографировали цифровым фотоаппаратом Canon 650d со стандартным объективом. Процесс создания моделей отдельных растений был аналогичен обработке по созданию ЦММ.

С целью установления полного таксономического состава коллекции арборетума в сентябре 2019 г. была проведена ее инвентаризация в полевых условиях. Годы посадок растений были взяты в системе для регистрации коллекционных фондов ботанических садов «Калипсо» [12]. Для проверки достоверности способа определения высоты и диаметра кроны по ЦММ в полевых условиях данные характеристики дополнительно измеряли с помощью электронного высотомера Haglof и мерной рулетки.

Результаты и обсуждение

В результате инвентаризации территории арборетума выявлено 913 коллекционных растений, общее количество древесно-кустарниковых

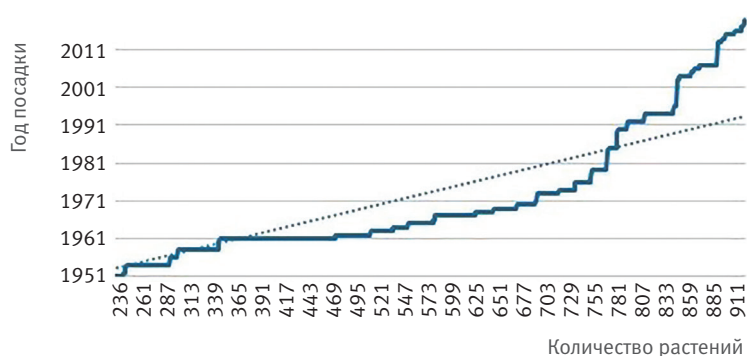


Рис. 1. ФОРМИРОВАНИЕ КОЛЛЕКЦИИ АРБОРЕТУМА БОТАНИЧЕСКОГО САДА ПЕТРГУ С 1951 ПО 2018 Г.



Рис. 2. СНИМОК ЧАСТИ АРБОРЕТУМА С БПЛА, ВЫСОТА ПОЛЕТА ДРОНА 75 М:
 1 – МАССИВ *ABIES BALSAMEA* (L.) MILL.,
 2 – *PINUS STROBUS* L., 3 – *POPULUS TREMULA* L. В ПЕРИОД ОБЛИСТВЕНИЯ, 4 – *SORBUS AUCUPARIA* L. В ПЕРИОД ОБЛИСТВЕНИЯ,
 5 – *LARIX SIBIRICA* LEDEV., 6 – *PICEA GLAUCA* (MOENCH) VOSS, 7 – *PICEA GLAUCA* (MOENCH) VOSS В НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНОМ СОСТОЯНИИ, 8 – *THUJA OCCIDENTALIS* L.

видов составило 136. Возраст большинства растений – более 40 лет. На основе времени посадки растений была установлена этапность формирования коллекции арборетума. Линия тренда на рис. 1 указывает на ее постоянное и постепенное пополнение. Первый этап формирования коллекции пришелся на год закладки сада (1951), за этот год было высажено 235 сохранившихся до наших дней растений. В ходе следующего этапа (до 1962 г.) было высажено еще 234 растения, с 1962 до 1972 г. – 208, с 1972 до 1992 г. – 104, с 1992 по 2018 г. – 132 растения.

Зная размещение каждого растения и год его посадки, можно восстановить и проанализировать объемно-пространственную структуру территории в разные периоды формирования коллекции, несмотря на отсутствие старых планов посадок и цифровых данных о внешнем виде арборетума в прошлом. Данный способ может быть использован в разработке цифровых проектов восстановления памятников ландшафтного искусства, реконструкции ландшафтных объектов и при создании исторических стилизаций садов и парков [13].

В результате аэрофотосъемки было получено 974 снимка территории арборетума в безлистном состоянии и 230 снимков при съемке в момент роста биомассы. Полученные изображения (рис. 2) дают возможность идентифицировать растения, определить их количество и состояние, проводить дешифрирование, устанавливая видовую принадлежность, отмечать фенологические фазы и морфологические особенности. Все материалы аэрофотосъемки подверглись автоматизированной компьютерной обработке для построения ортофотоплана и цифровых моделей местности.

В результате обработки данных в программе Agisoft Metashape получены следующие характеристики проекта съемки в безлистном состоянии: связующие точки – 620 020 точек; карта глубины – 964, низкое качество, мягкая фильтрация; плотное облако – 321 893 906 точек, высокое качество; модель – 471 129 полигонов; тайловая модель – 9 уровней; карта высот – 23 000×29 156; ортофотоплан – 39 053×42 104, с разрешением 9,58 мм/пикс.

Ортофотоплан территории арборетума был экспортирован в формат tiff. Разрешение составило 9 364×10 096 пикселей при объёме памяти 215 МБ. Созданный ортофотоплан, благодаря наличию GPS-координат аэрофотоснимков и алгоритмов работы программы Agisoft Metashape, автоматически привязывался к системе координат WGS-84 с погрешностью, приблизительно равной точности позиционирования дрона. Привязка ортофотоплана к системе координат позволила получить координаты каждого растения на местности с незначительными отклонениями (менее ± 1 м), что достаточно для точечного картирования деревьев и их последующего поиска с использованием GPS-навигаторов. Все выявленные в ходе проведения инвентаризации коллекционные растения (913 шт.) детально просматриваются на ортофотоплане, что актуализировало его применение в существующей геоинформационной системе сада с элементами точечного картирования растений и позволило создать максимально точный план размещения всей коллекции (рис. 3). В северной части на ортофотоплане располагается сектор азиатской и сибирской флоры арборетума, в центральной, южной и юго-западной частях – сектор европейской флоры, в юго-восточной части – сектор североамериканской флоры.

С целью анализа и визуализации объемно-пространственной структуры арборетума были созданы цифровые модели местности для двух периодов. Текстурированная модель безлистного состояния имеет реалистичный вид (рис. 4), однако на ней, из-за отсутствия зеленой биомассы на лиственных деревьях, не просматриваются их кроны и стволы (в режиме плотного облака у лиственных деревьев стволы присутствуют).

В период интенсивного роста биомассы (рис. 5) для всех лиственных деревьев и поверхности земли характерно наличие зелени. Появление пустот в цифровой модели местности связано с недостаточным количеством аэроснимков на некоторых участках объекта съемки и сложностью ветвления растительности. Тем не менее на ЦММ можно увидеть развитие биомассы,

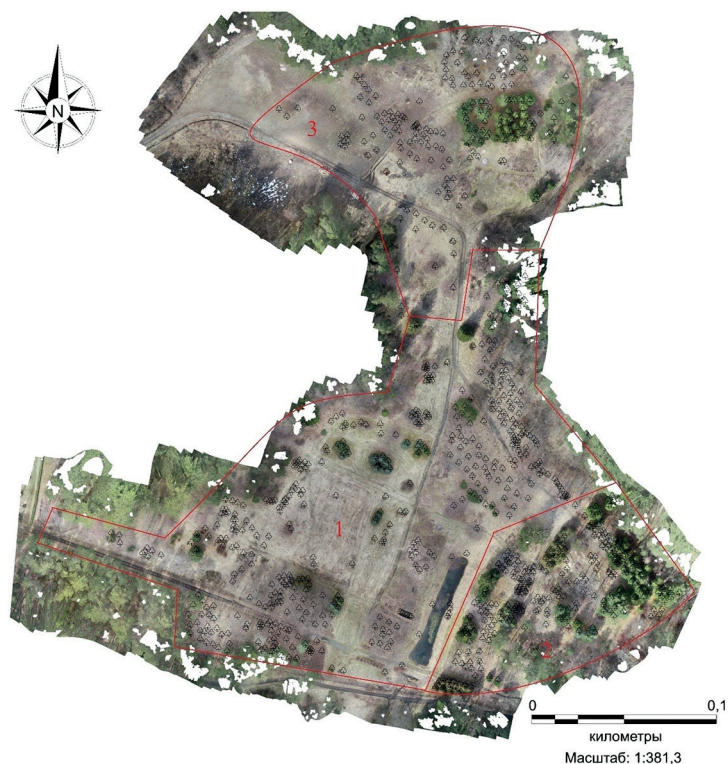


Рис. 3. Ортофотоплан коллекции арборетума Ботанического сада ПетрГУ в период безлистного состояния растений: 1 – сектор европейской флоры, 2 – сектор североамериканской флоры, 3 – сектор азиатской и сибирской флоры

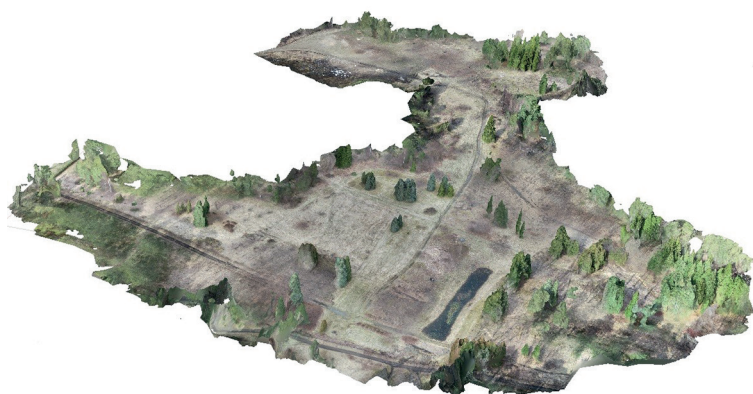


Рис. 4. Цифровая модель местности арборетума в безлистном состоянии (режим просмотра – текстурированная модель)

определить количество и точное расположение растений, измерить высоту и диаметр кроны, оценить объемно-пространственную структуру и рельеф арборетума с разных ракурсов, определить площадь открытых и закрытых пространств



Рис. 5. Цифровая модель местности арборетума в период интенсивного роста биомассы (РЕЖИМ ПРОСМОТРА – ПЛОТНОЕ ОБЛАКО ТОЧЕК)

и идентифицировать отдельные виды растений. С помощью современных программ по редактированию 3D-моделей можно удалить часть ЦММ или внести в нее новые данные для создания реалистичной визуализации работ по реконструкции территории.

На ЦММ в программе Agisoft Metashape с помощью инструмента «линейка» были установлены высота и диаметр кроны растений. Для определения точности метода измерения их результаты сравнивали с данными полевых измерений, выполненных классическими методами и приборами. Установлено, что погрешность определения характеристик высоты и диаметра кроны на ЦММ не превышает заявленной

точности позиционирования дрона. В ряде случаев значения соответствовали полевым данным. Таким образом, метод определения высоты и диаметра кроны деревьев на ЦММ является приемлемым для проведения инвентаризации природно-ландшафтных комплексов.

Для метода формирования цифровых моделей местности на основе фотограмметрии и материалов аэрофотосъемки характерен недостаточно реалистичный вид растений, что не позволяет детально рассматривать их структуру, отдельные побеги и другие части. С целью решения данной проблемы с помощью метода фотограмметрии были созданы цифровые 3D-модели некоторых видов, сортов и форм древесных растений Ботанического сада ПетрГУ (рис. 6). На 3D-моделях детально просматривается форма растений, отдельные побеги и хвоя. Перспективным направлением развития геоинформационных систем ботанических садов и природно-ландшафтных комплексов является использование 3D-моделей отдельных растений, интегрированных с ЦММ.

В программе Agisoft Metashape доступна автоматизированная загрузка данных на интернет-платформу для просмотра 3D-моделей Sketchfab. Результаты загрузки созданных 3D-моделей арборетума и отдельных растений доступны по ссылке: <https://sketchfab.com/alexkabonen/models>.

При наличии качественного оборудования и грамотном проведении аэрофотосъемки создание цифровых моделей местности на основе аэроснимков является современной



Рис. 6. 3D-модели отдельных растений Ботанического сада ПетрГУ: 1 – *PICEA ORIENTALIS* 'GOLDEN START', 2 – *PICEA ABIES* 'ТОМПА', 3 – *CHAMAECYPARIS LAWSONIANA* 'SUNKIST'

альтернативой лазерному сканированию местности и позволяет определять часть биометрических показателей растений, а также визуализировать сложившуюся объемно-пространственную структуру объекта. Такие материалы служат хорошей основой для проектирования мероприятий по организации пространства природно-ландшафтных комплексов.

Выводы

В результате исследования решены следующие задачи:

1. Показана динамика формирования коллекции арборетума Ботанического сада ПетрГУ с 1951 по 2018 г., насчитывающей в настоящее время 136 видов, представленных 913 растениями.

2. Создан ортофотоплан территории арборетума с GPS-координатами каждого растения, отображающий точное пространственное

размещение коллекции арборетума, который можно перенести в существующую геоинформационную систему.

3. Созданы цифровые модели местности территории арборетума в безлистном состоянии и в момент интенсивного роста биомассы, которые демонстрируют объемно-пространственную структуру арборетума. При создании ЦММ важно учитывать наличие биомассы.

4. Установлена погрешность способа определения высоты и диаметра крон деревьев на ЦММ, не превышающая заявленные характеристики использованного БПЛА.

5. Впервые созданы реалистичные 3D-модели отдельных растений в естественной среде обитания с помощью метода фотограмметрии.

В дальнейшем результаты исследования будут использованы для 3D-моделирования арборетума Ботанического сада ПетрГУ в разные периоды формирования его структуры с учетом года посадки и динамики развития растений на протяжении всего существования арборетума.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-316-90044.

Список использованных источников

1. Burt, A.P. New 3D-measurements of forest structure : Ph.D. thesis / A.P. Burt. – UCL (University College London), 2017.
2. Estimating architecture-based metabolic scaling exponents of tropical trees using terrestrial LiDAR and 3D modelling / A. Lau Sarmiento, C. Martius, H. Bartholomeus, A. Shenkin, T. Jackson, Ya. Malhi, M. Herold, L. Bentley // *Forest Ecology and Management*. – 439. – 132–145. – 10.1016/j.foreco.2019.02.019.
3. Fast Automatic Precision Tree Models from Terrestrial Laser Scanner Data / P. Raunonen, M. Kaasalainen, M. Akerblom, S. Kaasalainen, H. Kaartinen, M. Vastaranta, M. Holopainen, M. Disney and P. Lewis // *Remote Sensing*. – 2013. – 5(2). – P. 491–520.
4. Ткачева, А.А. Моделирование трехмерных сцен лесных участков по данным лазерного сканирования и аэрофотоснимкам / А.А. Ткачева, М.Н. Фаворская // *Информационно-управляющие системы*. – 2015. – Вып. 6 (79). – С. 40–49.
5. Кабонен, А.В. Дешифрирование форм и морфологических особенностей древесных растений на снимках, полученных с помощью беспилотных летательных аппаратов / А.В. Кабонен, Ю.В. Ольхин // *Экосистемы*. – 2019. – Вып. 20 (50). – С. 197–202.
6. Котенко, Ю.В. Проведение работ по картографированию ландшафтного дендрария в Ставропольском ботаническом саду им. В.В. Скрипчинского / Ю.В. Котенко // *Hortus Botanicus*. – 2016. – Т. 11. – С. 198–203.
7. Инвентаризация и точечное картирование древесных растений в европейском и американском секторах арборетума Ботанического сада Петрозаводского государственного университета / А.В. Егличева, В.И. Андросова, М.А. Шредерс, Т.Н. Чернышева, А.Ю. Королева // *Hortus Botanicus*. – 2015. – Т. 10. – С. 294–302.
8. Ольхин, Ю.В. Разработка геоинформационной системы объекта ландшафтной архитектуры на примере парка Ямка города Петрозаводска / Ю.В. Ольхин, А.В. Кабонен // *Экосистемы*. – 2016. – Вып. 6 (36). – С. 46–50.
9. Компоненты информационного пространства ботанического сада. Геоинформационная система Ботанического сада ПетрГУ / А.А. Прохоров, Е.А. Платонова, М.А. Шредерс, В.В. Тарасенко, В.В. Андриусенко, В.В. Куликова // *Hortus Botanicus*. – Т. 8. – 2013. – С. 66–74.
10. Кабонен, А.В. Веб-геоинформационная система Ботанического сада Петрозаводского государственного университета [Электронный ресурс] / А.В. Кабонен, В.В. Андриусенко // *Hortus Botanicus*. – Т. 13. – Петрозаводск, 2018. – С. 356–360. – Режим доступа: <https://hb.karelia.ru>.
11. 50-летняя история Ботанического сада Петрозаводского государственного университета [Электронный ресурс] / А.С. Лантратова, Е.Ф. Марковская, Е.Л. Обухова, Е.А. Платонова, А.А. Прохоров // *Hortus Botanicus*. – Т. 1. – Петрозаводск, 2001. – С. 9–18. – Режим доступа: <https://hb.karelia.ru>.
12. Прохоров, А.А. Использование системы «Калипсо» для регистрации коллекционных фондов ботанических садов и гербариев [Электронный ресурс] / А.А. Прохоров, М.И. Нестеренко // *Hortus Botanicus*. – Т. 1. – 2001. – С. 69–77. – Режим доступа: <https://hb.karelia.ru>.
13. Ольхин, Ю.В. 3d моделирование исторического ландшафтно-архитектурного объекта на примере Петровского сада г. Петрозаводска [Электронный ресурс] / Ю.В. Ольхин // *Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ*. – 2017. – № 03(127). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru>.

References

1. Burt, A.P. New 3D-measurements of forest structure : Ph.D. thesis / A.P. Burt. – UCL (University College London), 2017.

2. Estimating architecture-based metabolic scaling exponents of tropical trees using terrestrial LiDAR and 3D modelling / A. Lau Sarmiento, C. Martius, H. Bartholomeus, A. Shenkin, T. Jackson, Ya. Malhi, M. Herold, L. Bentley // *Forest Ecology and Management*. – 439. – 132–145. – 10.1016/j.foreco.2019.02.019.
3. Fast Automatic Precision Tree Models from Terrestrial Laser Scanner Data / R. Raunonen, M. Kaasalainen, M. Akerblom, S. Kaasalainen, N. Kaartinen, M. Vastaranta, M. Holopainen, M. Disney and R. Lewis // *Remote Sensing*. – 2013. – 5(2). – R. 491–520.
4. Tkacheva, A.A. Modelirovanie trekhmernykh scen lesnykh uchastkov po dannym lazernogo skanirovaniya i aerofotosnimkam / A.A. Tkacheva, M.N. Favorskaya // *Informacionno-upravlyayushchie sistemy*. – 2015. – Vyp. 6 (79). – S. 40–49.
5. Kabonen, A.V. Deshifirovanie form i morfologicheskikh osobennostej drevesnykh rastenij na snimkah, poluchennykh s pomoshch'yu bespilotnykh letatel'nykh apparatov / A.V. Kabonen, Yu.V. Ol'hin // *Ekosistemy*. – 2019. – Vyp. 20 (50). – S. 197–202.
6. Kotenko, Yu.V. Provedenie rabot po kartografirovaniyu landshaftnogo dendrariya v Stavropol'skom botanicheskom sadu im. V.V. Skripchinskogo / Yu.V. Kotenko // *Hortus Votanicus*. – 2016. – T. 11. – S. 198–203.
7. Inventarizaciya i tochechnoe kartirovanie drevesnykh rastenij v evropejskom i amerikanskom sektorah arboretuma Botanicheskogo sada Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta / A.V. Eglacheva, V.I. Androsova, M.A. Shreders, T.N. Chernysheva, A.Yu. Koroleva // *Hortus Votanicus*. – 2015. – T. 10. – S. 294–302.
8. Ol'hin, Yu.V. Razrabotka geoinformacionnoj sistemy ob'ekta landshaftnoj arhitektury na primere parka Yamka goroda Petrozavodsk / Yu.V. Ol'hin, A.V. Kabonen // *Ekosistemy*. – 2016. – Vyp. 6 (36). – S. 46–50.
9. Komponenty informacionnogo prostranstva botanicheskogo sada. Geoinformacionnaya sistema Botanicheskogo sada PetrGU / A.A. Prohorov, E.A. Platonova, M.A. Shreders, V.V. Tarasenko, V.V. Andryusenko, V.V. Kulikova // *Hortus Votanicus*. – T. 8. – 2013. – S. 66–74.
10. Kabonen, A.V. Veb-geoinformacionnaya sistema Botanicheskogo sada Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta [Elektronnyj resurs] / A.V. Kabonen, V.V. Andryusenko // *Hortus Votanicus*. – T. 13. – Petrozavodsk, 2018. – S. 356–360. – Rezhim dostupa: <https://hb.karelia.ru>.
11. 50-letnyaya istoriya Botanicheskogo sada Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta [Elektronnyj resurs] / A.S. Lantratova, E.F. Markovskaya, E.L. Obuhova, E.A. Platonova, A.A. Prohorov // *Hortus Votanicus*. – T. 1. – Petrozavodsk, 2001. – S. 9–18. – Rezhim dostupa: <https://hb.karelia.ru>.
12. Prohorov, A.A. Ispol'zovanie sistemy «Kalipso» dlya registracii kollekcijnykh fondov botanicheskikh sadov i gerbariev [Elektronnyj resurs] / A.A. Prohorov, M.I. Nesterenko // *Hortus Votanicus*. – T. 1. – 2001. – S. 69–77. – Rezhim dostupa: <https://hb.karelia.ru>.
13. Ol'hin, Yu.V. 3d modelirovanie istoricheskogo landshaftno-arhitekturnogo ob'ekta na primere Petrovskogo sada g. Petrozavodsk [Elektronnyj resurs] / Yu.V. Ol'hin // *Politematicheskij setevoy elektronnyj nauchnyj zhurnal KubGAU*. – 2017. – № 03(127). – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru>.

Digital Modeling of Natural Landscape Complexes According to Data Obtained By with Unmanned Aerial Vehicles

A. Kabonen

Petrozavodsk State University, Post-graduate student of the Department of Technologies and Organization of Timber Complex, Petrozavodsk, the Republic of Karelia, Russian Federation, alexkabonen@mail.ru

Yu. Olkhin

Petrozavodsk State University, Senior lecturer of the Department of Technologies and Organization of Timber Complex, Petrozavodsk, the Republic of Karelia, Russian Federation, yuri_olkhin@mail.ru

Key words: *biomodeling, digital surface model, orthophotomap, unmanned aerial vehicles, aerial photography, volumetric and spatial structure, arboretum, inventory, cartography.*

This article represents a modern approach to mapping and visualization of natural landscape complexes using Petrozavodsk State University arboretum expositions. The main problems considered in the article are the lack of detailed maps with the precise location of plants on the territory and computer models of the structure of natural landscape complexes. The informative value of the existing maps does not give a full picture of the positional application, species diversity and plant biometrics. The article considers the issues of applying detailed aerial photography of the territory using an unmanned aerial vehicle, means of automatic image processing and three-dimensional computer modeling of volumetric and spatial structure. The arboretum species has been identified. Also, it has been found that the collection has been expanding constantly and gradually since the establishment of the garden in 1951 to this day. The precise species locations are shown on the orthophotomap, an arboretum three-dimensional digital surface model has been created and demonstrated. Implementation possibilities on how obtained results could be use to describe species diversity and plant biometrics demonstrate the volumetric and spatial structure and relief of the arboretum territory have been shown. The article will be useful for developing modern cartographic and visualized materials or geoinformation systems, and aerial photography of natural landscape complexes using drone aerial vehicles.