

УДК 528.7:528.8:004.94

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ ВОЗДУШНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕСТНОСТИ

**П. П. Куклина, С. В. Тюрин**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Университетская наб.,  
д. 7–9, 199034, Санкт-Петербург, Россия, [polinakuk00@gmail.com](mailto:polinakuk00@gmail.com), [st3353@yandex.ru](mailto:st3353@yandex.ru)*

Проведено исследование по использованию материалов воздушного лазерного сканирования для трехмерного моделирования местности. Рассматривается современное значение 3D-моделей местности. В статье представлены результаты исследования по созданию моделей с использованием данных воздушного лазерного сканирования, рассмотрены применимость материалов, виды моделирования, определены технологические процессы и сделаны выводы.

**Ключевые слова:** воздушное лазерное сканирование; аэрофотосъемка; полигональная модель; объектная модель; трехмерная модель местности.

## USE OF AIRBORNE LASER SCANNING MATERIALS FOR THREE-DIMENSIONAL LANDSCAPE MODELLING

**P. P. Kuklina, S. V. Tyurin**

*St Petersburg University, 7/9 Universitetskaya Emb., 199034, St Petersburg,  
Russia, [polinakuk00@gmail.com](mailto:polinakuk00@gmail.com), [st3353@yandex.ru](mailto:st3353@yandex.ru)*

The authors investigate the use of airborne laser scanning materials for 3D landscape modelling. They review the current importance of 3D terrain models. The authors in the article present the results of a study on model creation using airborne laser scanning data, review the applicability of scanning materials, types of modelling, define the technological processes and make conclusions.

**Keywords:** aerial laser scanning; aerial photography; polygonal model; object model; three-dimensional model.

Трехмерное моделирование является передовым способом представления информации об окружающем мире. Технология получила распространение в различных сферах деятельности благодаря множеству преимуществ. В области пространственных данных эти преимущества следующие: 3D-модель более информативный источник данных, чем ее двумерный аналог; она эффективна для отображения и анализа пространственной

информации; также трехмерная модель является хорошим иллюстративным материалом, так как позволяет рассматривать объекты с различных точек пространства. Технология используется для моделирования не только существующих объектов, но и проектируемых или виртуальных. В последние годы использование трехмерной геоинформации стремительно развивается. Для многих городов мира созданы 3D-модели разного уровня детализации [1, 2, 3], отвечающие разным задачам, например, используются городскими службами для визуализации или принятия решений, позволяют моделировать потоки воздуха, рассчитывать процент освещенности [3], проводить пространственный анализ.

При этом общая тенденция построения технологического прогресса — снижение затрат. В данном случае, затрат, связанных с получением пространственной информации и созданием модели местности. Для этого активно используют современные геодезические технологии, такие как лазерное сканирование и фотограмметрическая съемка, а также инструменты автоматизации обработки данных.

Каждая из перечисленных технологий сбора данных может использоваться для 3D-моделирования самостоятельно, но их комбинация может привести к наилучшему результату. Лазерное сканирование необходимо для восстановления корректной геометрии объектов, оно также имеет меньше ограничений по условиям выполнения работ, позволяет получить поверхность стен или земли под растительностью. Данные фотограмметрической съемки незаменимы для создания детализированных, текстурированных моделей в естественных цветах. Поэтому для создания трехмерных моделей местности применяются аэрофотосъемка (АФС) и воздушное лазерное сканирование (ВЛС).

Современных возможностей для оперативного сбора пространственной информации с воздуха множество: используются беспилотные воздушные суда (БВС), аэросъемочные комплексы с несколькими сканерами и фотокамерами, вертолеты. Съемка может проводиться с наклоном к поверхности земли, могут выполняться облеты с помощью БВС объектов будущей модели.

Необходимо отметить, что при выполнении воздушного лазерного сканирования для получения топографической информации, используемой для 3D моделирования местности, следует учитывать несколько аспектов, чтобы удовлетворить требования в отношении точности, достоверности и полноты информации. Важнейший аспект — возможные ошибки сбора и первичной обработки информации (систематические и случайные) [4]. В качестве примера, выделим одну из самых значимых, на наш взгляд, это плановая ошибка положения координат из-за дивергенции лазерного луча. Поэтому работы должны обязательно сопровождаться

оценкой точности на разных этапах. Требования к точности должны разрабатываться с опорой на конкретные задачи и ожидания от 3D-модели местности, с учетом внутри государственных и международных стандартов, определяющих требования по выполнению ВЛС (Lidar Base Specification, документы ASPRS[5]).

Создание трехмерных моделей местности (определение пространственного положения, текстурирование и добавление атрибутивной информации) может выполняться по различным исходным материалам. В связи с этим, выделяют следующие виды трехмерных моделей местности:

- картографическая (объекты, созданные по векторным данным, высота извлечена из атрибута или растра);
- полигональная (непрерывная поверхность);
- объектная (объекты состоящие из геометрических примитивов, твердотельные, содержащие атрибутивную информацию).

ВЛС может быть применимо для создания любого из видов 3D-моделей, но оно становится незаменимым при построении высокоточной полигональной модели, а также разработке объектных моделей с высоким уровнем детализации LOD1, LOD2, LOD3 по стандарту CityGML 2.0 [6].

Создание полигональных моделей по данным АФС и ВЛС можно представить совокупностью технологических процессов, представленных в блок-схеме (рис. 1). Основные виды работ:

- 1) фотограмметрическая обработка данных АФС, создание и классификация плотного облака точек;
- 2) обработка данных ВЛС;
- 3) интеграция АФС с данными ВЛС;
- 4) полигональное моделирование, текстурирование модели и редактирование.

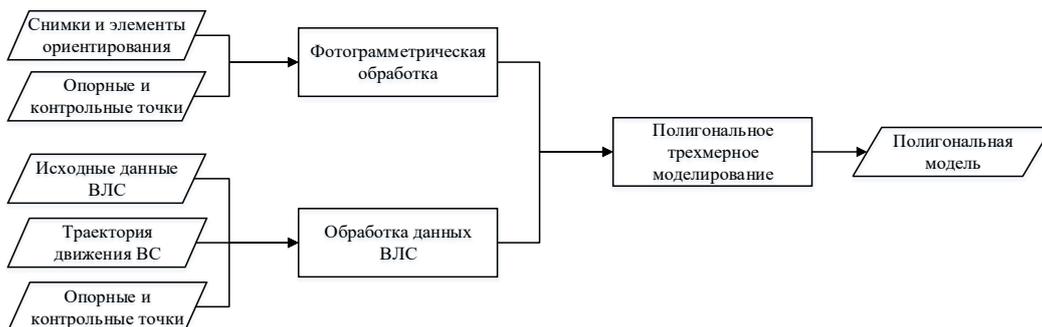


Рис. 1. Блок-схема процессов создания полигональной трехмерной модели местности по данным АФС и ВЛС

Общая технологическая схема создания объектных моделей местности представлена на рисунке 2, и состоит из четырех основных блоков обработки, каждый из которых имеет свои особенности:

- 1) обработка данных ВЛС;
- 2) подготовка векторных данных для моделирования;
- 3) трехмерное объектное моделирование;
- 4) создание текстур моделей зданий.

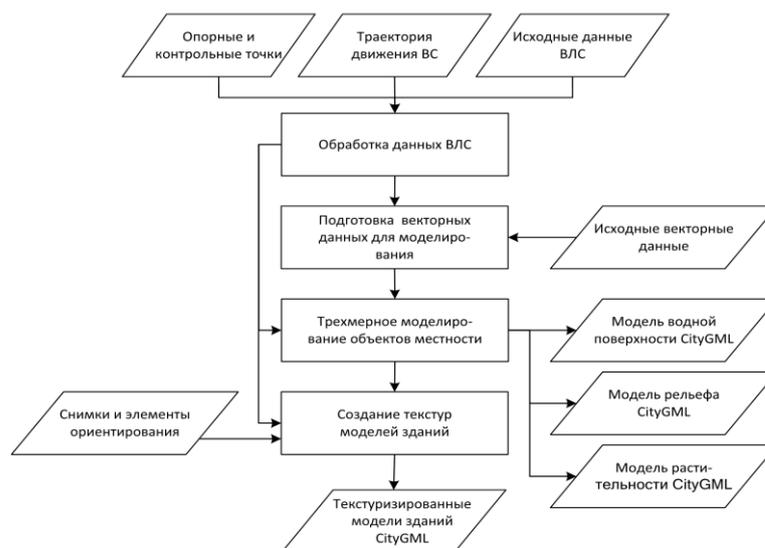


Рис. 2. Общая технологическая схема создания объектных моделей местности по данным ВЛС и АФС

Как видно из технологических схем (рис. 1 и 2), воздушное лазерное сканирование является важнейшим элементом при создании трехмерной модели. Необходимо отметить, что многие процессы, входящие в технологическую схему автоматизированы, но на данном этапе для повышения корректности модели приходится прибегать к ручному редактированию, что увеличивает трудоемкость процесса.

Возможность использования ВЛС как для полигонального, так и объектного моделирования была исследована на практике. Использовались материалы АФС и ВЛС, полученные с комплекса Leica ALS80 HP + RCD30 и Leica CityMapper 2. Для фотограмметрической обработки и полигонального моделирования использовалось программное обеспечение (ПО) Agisoft Metashape, работа с облаками точек ВЛС проводилась в ПО TerraSolid, для объектного моделирования использовались инструменты TerraSolid и ПО с открытым кодом 3dfier, Geoflow. Лазерное сканирование позволило получить геометрически более точную полигональную модель в сравнении с моделью, построенной исключительно по материалам аэрофотосъемки. Также использование материалов

ВЛС позволило автоматизировать процесс создания объектной модели местности LOD 2.2. Другими результатами исследования стали обзор существующих 3D-моделей и требований к ним, обзор программного обеспечения, разработанные технологические процессы и метод по совершенствованию объектов гидрографии в полигональных моделях [7]. Некоторые из моделей, полученных в ходе исследования, представлены на рис. 3.

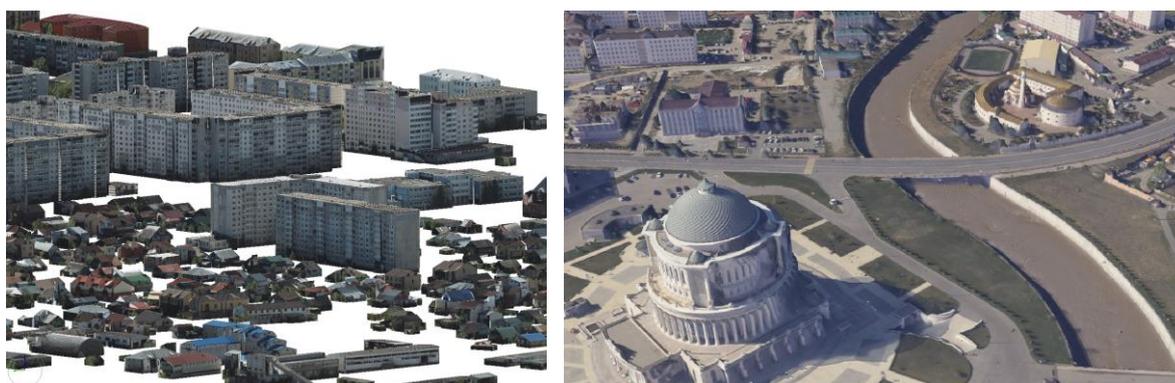


Рис. 3. Фрагменты объектной и полигональной моделей местности, созданных в рамках исследования

### Библиографические ссылки

1. 3D модели Хельсинки [Электронный ресурс]. URL: [https://hri.fi/data/en\\_GB/dataset/helsingin-3D-kaupunkimalli](https://hri.fi/data/en_GB/dataset/helsingin-3D-kaupunkimalli) (дата обращения: 15.01.2024).
2. Берлин 3D [Электронный ресурс]. URL: <https://www.businesslocationcenter.de/berlin3D-downloadportal/?lang=en> (дата обращения: 15.01.2024).
3. PLATEAU, проект под руководством Министерства земли, инфраструктуры, транспорта и туризма по разработке, использованию и преобразованию 3D-моделей городов по всей Японии в открытые данные [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mlit.go.jp/plateau/> (дата обращения: 15.01.2024).
4. Lemmens, M., Fortuin, E. H. W. Error analysis of airborne laser altimetry [Electronic resource] // Survey Department Rijkswaterstaat – Delft. – 1997. – 70 p. (date of access: 15.01.2024).
5. ASPRS Guidelines Vertical Accuracy Reporting for Lidar Data: Version 1.0 : drafted May 15, 2004 : released by the National Digital Elevation Program (NDEP) May 24, 2004 : submitted to the Federal Geographic Data Committee (FGDC) / ownership ASPRS Lidar Committee (PAD) : editor M. Flood. 2004. 20 p. [Electronic resource] URL: [https://www.asprs.org/a/society/committees/lidar/Downloads/Vertical\\_Accuracy\\_Reporting\\_for\\_Lidar\\_Data.pdf](https://www.asprs.org/a/society/committees/lidar/Downloads/Vertical_Accuracy_Reporting_for_Lidar_Data.pdf) (date of access: 15.01.2024).
6. OGC. OGC Standards: CityGML [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ogc.org/standards/citygml> (дата обращения: 15.01.2024).
7. Kuklina P. P.; Tyurin S. V.; Artemyev O. V. The use of breaklines of hydrographic objects in three-dimensional modeling of cities. // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2023; Vol. XLVIII-1/W2-2023. p. 21-26. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-1-W2-2023-21-2023>.