

УДК 528.721.28:629.735.4

**ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ КОМПЛЕКСНОЙ
АЭРО-, НАЗЕМНОЙ И ЛИДАРНОЙ СЪЕМКИ
ПРИ СОЗДАНИИ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ
МЕСТНОСТИ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ**

З. А. Десюкевич¹⁾, А. В. Пашкевич¹⁾, О. Н. Балицкий²⁾, М. А. Гуцаки²⁾

*¹⁾Белорусский государственный университет, ул. Ленинградская, 16, 220030,
г. Минск, Беларусь, ²⁾Государственное предприятие «БелПСХАГИ»,
ул. Мира, 1а, 223011, аг. Прилуки, Беларусь*

В статье обобщены теоретические основы выполнения аэрофотосъемки, а также принципы ее выполнения с помощью БЛА, выполнена работа по построению трехмерной модели местности на заданную территорию в ПО Agisoft Metashape, рассмотрены области применения трехмерного моделирования.

Ключевые слова: 3D-модель; дистанционное зондирование; аэрофотосъемка с беспилотного летательного аппарата; Agisoft Metashape; трехмерная модель местности на территорию аг. Прилуки; БЛА.

**APPLICATION OF INTEGRATED AERIAL, GROUND AND LIDAR
IMAGING MATERIALS IN THE CREATION OF A THREE-
DIMENSIONAL TERRAIN MODEL OF SETTLEMENT AREAS**

Z. A. Desyukevich¹⁾, A. V. Pashkevich¹⁾, O. N. Balitsky²⁾, M. A. Gutsaki²⁾

*¹⁾Belarusian State University, st. Leningradskaya, 16, 220030,
Minsk, Belarus, ²⁾State Enterprise «BelPSHAGI», st. Mira, 1a, 223011, ag. Priluki, Belarus*

The article studied the theoretical foundations of aerial photography, as well as the principles of its implementation using UAVs, carried out work on constructing a three-dimensional terrain model for a given area in Agisoft Metashape software, and considered the areas of application of three-dimensional modeling.

Keywords: 3D model; remote sensing; aerial photography from an unmanned aerial vehicle; Agisoft Metashape; three-dimensional model of the terrain on the territory of the ag. Pryluki; UAV.

На сегодняшний день в дистанционном зондировании широкое распространение получили беспилотные летательные аппараты, которые позволяют оперативно получать данные о земной поверхности с использованием радиоуправляемых авиамodelей с установленным цифровым оборудованием. Современные беспилотные аэрофотосъемочные комплексы

позволяют обеспечить разрешение снимков от 1,5 см, и точность определения координат до 1 см на местности. К основным преимуществам БЛА относятся оперативное получение точной информации о небольшой территории местности, отдельных объектов, сооружений и зданий.

На данный момент на территории Республики Беларусь аэрофотосъемочные работы выполняются в основном при помощи самолетов либо же беспилотных летательных аппаратов. К преимуществам аэрофотосъемки с БЛА относятся возможность получения изображений с высокой точностью и разрешением, экономия времени и средств, возможность выполнения съемки в труднодоступных местах и динамической съемки, оперативность съемки. В целом, технология выполнения аэрофотосъемки с БЛА является надежным и эффективным способом получения информации о поверхности земли, который находит все большее применение в различных отраслях.

В настоящее время материалы БЛА используются в различного рода исследованиях, в том числе и для решения задач трехмерного моделирования. 3D-моделирование представляет собой процесс разработки математического представления любой поверхности объекта в трех измерениях с помощью специализированного программного обеспечения. Продуктом трехмерного моделирования является 3D-модель. Трехмерные модели представляют собой физическое тело, использующее набор точек в трехмерном пространстве, соединенных различными геометрическими объектами, такими как треугольники, линии, изогнутые поверхности и т. д. На их поверхности впоследствии могут накладываться различные текстуры.

Спектр применения трехмерных информационных моделей очень широк. В него входят:

- крупные инженерные работы;
- трехмерное городское планирование;
- взаимодействие с горожанами и принятие управленческих решений;
- ландшафтное проектирование;
- исследование и мониторинг окружающей среды;
- рынок недвижимости, маркетинг и реклама;
- учебные симуляторы, компьютерные игры.

Если обобщить различные сферы применения, 3D-моделирование и визуализация необходимы для:

- оценки физических и технических особенностей объекта еще до его создания в оригинальном размере, материале и комплектации;
- повышения качества управления;
- создания 3D-моделей будущего экстерьера/интерьера.

При создании 3D-модели местности для данной работы в качестве исходных данных использовались аэрофотосъемочные материалы, предоставленные государственным предприятием «БелПСХАГИ». Данные дистанционного зондирования получены в ходе аэрофотосъемки беспилотным летательным аппаратом DJI Phantom 4 Pro v2.0, а также DJI Matrice 300 RTK и наземная съемка при помощи смартфона iPhone. Преимуществом данного БЛА является сохранение GPS-координат (геотаггинг), что упрощает последующее построение и привязку 3D-модели (рис. 1).

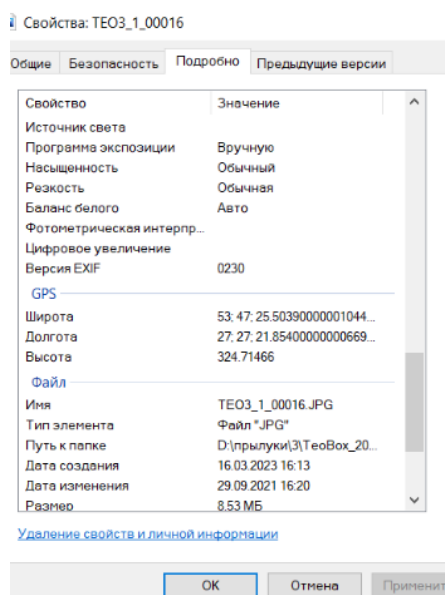


Рис. 1. Скан экрана свойств файла снимка

Для создания 3D-модели использовалось 1052 изображения территории аг. Прилуки. Обработка данных выполнялась при помощи специализированного ПО — программного продукта Agisoft Metashape версии 1.6.

Первым этапом при обработке данных аэрофотосъемки является выравнивание снимков. В ходе выравнивания снимков получены средние ошибки по координатам центров фотографирования, находящиеся в допуске (таблица).

Средняя ошибка по координатам центров фотографирования

Ошибка, X (м)	Ошибка, Y (м)	Ошибка, Z (м)	Ошибка XY (м)	Общая ошибка (м)
0,016345	0,019825	0,015961	0,030247	0,082378

Примечания. X – долгота, Y – широта, Z – высота

После выравнивания снимков создается плотное облако точек [1]. На основе плотного облака точек производится построение тайловой модели (рис. 2).



Рис. 2. Тайловая 3D-модель на территорию аг. Прилуки

Тайловая модель представляет собой особый формат модели, который содержит пирамиду масштабов в виде небольших блоков и позволяет визуализировать большие 3D-модели с высоким разрешением и детализацией. Формат иерархических тайлов удобно использовать при создании моделей объектов большой площади (например, населенных пунктов) [8].

Полученная тайловая 3D-модель является достаточно детализированной, поскольку съемка беспилотным летательным аппаратом производится на небольшой высоте. Точность камер БЛА — 5 см, что говорит о достаточно четких и выразительных данных. Для получения аэрофотоснимков хорошего качества учитываются погодные условия и наличие густой растительности.

Детальность трехмерной модели дает возможность определять основные характеристики объектов, такие как площадь земельных участков и капитальных строений, их высоту, оценивать местоположение и окружающую инфраструктуру исследуемого объекта, устанавливать материал изготовления строений и их цвет и возраст. Определение данных показателей сокращает время на полевое обследование объектов недвижимого имущества, а также позволяет проводить их кадастровую оценку.

Для повышения точности и детализации трехмерной модели выполняется съемка трех видов: комплексная, лидарная и наземная. Полученные материалы накладываются друг на друга и совмещаются в ПО Agisoft Metashape. Результатом проведения этих операций является тайловая модель с высоким пространственным разрешением (рис. 3).



Рис. 3. Фрагмент построения тайловой модели жилого здания на основе комплексной съемки

В дальнейшем применение современных ГИС с возможностью 3D-визуализации и наложения дополнительных слоев позволит перейти от использования традиционной ортофотоподложки в веб-ресурсах к трехмерным моделям местности, что будет олицетворять собой новую ступень развития геопространственных данных в целом.

Тайловые модели являются хорошими подложками для электронных карт. На их основе можно производить векторизацию улично-дорожной сети, ЛЭП, канализационных люков, а также контуров зданий для последующего нанесения атрибутивной информации.

Оцифровка объектов проводится в программном продукте Agisoft Metashape. Во избежание пробелов полигоны необходимо было связывать между собой. Возможность векторизовать объекты в 3D (то есть на модели) позволяет отобразить подвалы, фундаменты зданий и другие скрытые объекты, которые невозможно рассмотреть на ортофотоплане (рис. 4).

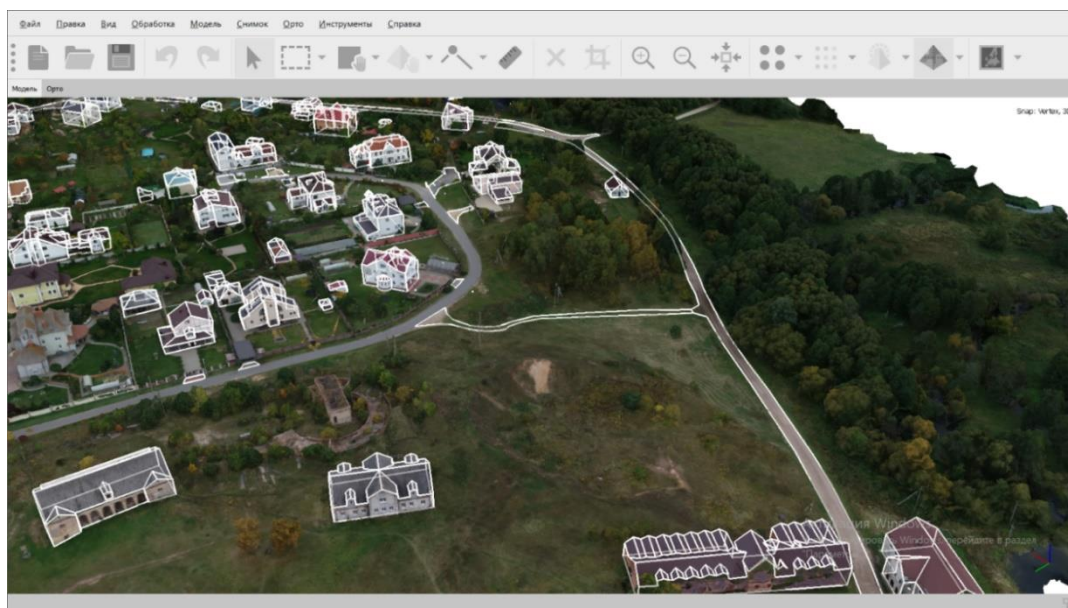


Рис. 4. Пример векторизации южной часть аг. Прилуки

Для добавления семантики объектов или атрибутов используется ПО Геоскан Спутник. Программный продукт поддерживает работу с тайловыми моделями и 3D-моделями.

Таким образом, на рисунке 5 отображены оцифрованные жилые строения и иные объекты недвижимости, с добавленной индивидуальной атрибутивной информацией, включающей параметры строений, материалы, применяемые при строительстве, указанием инвентарных номеров, информации о земельных участках.



Рис. 5. Оцифрованная южная часть населенного пункта в ПО ГеоСкан Спутник с атрибутивной информацией

Синими линиями показаны линии электропередач, которые автоматически построены программным обеспечением. Результаты построения довольно корректны и в некоторых местах можно наблюдать провисание проводов.

Таким образом, трехмерное моделирование объектов местности с использованием БЛА позволяет упростить решение задач землеустроительной и кадастровой деятельности, связанных с пространственным анализом земельных участков и объектов недвижимости, при этом сокращая затраты на их обследование. Визуализация объектов местности в трехмерном измерении позволяет более качественно проводить мониторинг земель, осуществлять планирование территорий и получать о них более детальную информацию, необходимую для составления тематических карт различного вида.

В настоящее время трехмерное моделирование является очень перспективным направлением во многих сферах жизни. С его помощью можно отобразить в объеме не только существующие, но и проектируемые объекты.

3D-модель позволяет получать справочную информацию об объектах недвижимости внутри населенных пунктов, такую как этажность зданий, наличие пристроек и хозяйственных построек, а также материалы зданий.

3D-технологии являются основой создания моделей «умный город», которые представляют собой трехмерные ГИС, позволяющие, не выходя из дома, получать наглядное представление об объектах инфраструктуры, быстро перемещаться по виртуальному городу, изучать обширные территории. Помимо визуального ознакомления с городом, такие ГИС дают возможность находить объекты путем ввода их адреса или координат и видеть, как они выглядят в реальности, в том числе в разное время суток, а также наблюдать за планами развития города.

Библиографические ссылки

1. *Чибуничев А. Г.* Фотограмметрия. Учебное пособие / Чибуничев А. Г. М. МИИГАиК, 2022. 328 с.

2. *Краснопевцев Б. В.* Фотограмметрия. Учебное пособие / Краснопевцев Б.В. М.: УПП «Репрография» МИИГАиК, 2008. 160 с.

3.. *Савиных В. П., Цветков В. Я.* Геоинформационный анализ данных дистанционного зондирования. Учебное пособие / Савиных В. П., Цветков В. Я. М.: Картгеоцентр-Геодезиздат, 2001. 228 с.

4. *Булавицкий В. Ф., Жукова Н. В.* Фотограмметрия и дистанционное зондирование территории. Учебное пособие / Булавицкий В. Ф., Жукова Н. В. Хабаровск: изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2016. 113 с.

5. Федотов Г. А., Неретин А. А. Основы аэрогеодезии и инженерно-геодезические работы. Учебное пособие / Федотов Г. А., Неретин А. А. М.: Издательский центр «Академия», 2012. 272 с.
6. Тюкленкова Е. П. Фотограмметрия и дистанционное зондирование. Учебное пособие / Тюкленкова Е. П. Пемза: ПГУАС, 2016. – 112 с.
7. Королев А. А. Курс лекций и практических занятий / Королев А. А. М.: МИИ-ГАиК., 2020. 40 с.
8. Панасюк М. В., Сафиоллин Ф. Н., Логинов Н.А., Пудовик Е. М. Картография, фотограмметрия и дистанционное зондирование Земли. Учебное пособие / Панасюк М. В., Сафиоллин Ф. Н., Логинов Н.А., Пудовик Е. М. Кз, 2018. 121 с.
9. Обиралов А. И., Лимонов А. Н., Гаврилова Л. А. Фотограмметрия и дистанционное зондирование. Учебное пособие / Обиралов А. И., Лимонов А. Н., Гаврилова Л.А. М.: Колос С, 2006. 334 с.
10. Шовенгердт Р. А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. Учебное пособие / Шовенгердт Р. А. М., 2010. 560 с.
11. Руководство пользователя Agisoft Metashape Professional Edition, версия 1.5 [Электронный ресурс]. 2019. Режим доступа: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_5_ru.pdf – Дата доступа: 07.10.2023 г.
12. Руководство пользователя ГИС Спутник, Выпуск 1.4 [Электронный ресурс]. 2019. Режим доступа: https://download.geoscan.aero/sputnik/Sputnik_Manual_1.4_ru.pdf – Дата доступа: 13.09.2023 г.
13. Сайт «ГУСГЕОКОМ» [Электронный ресурс]. 2023. Режим доступа: <https://www.rusgeo.com/vyipolnenie-polnogo-kompleksa-rabot-po-aerofotosyomke-mestnosti>. Дата доступа: 22.09.2023 г.
14. Сайт программного комплекса Agisoft [Электронный ресурс]. 2023. Режим доступа: <https://www.agisoft.com/> Дата доступа: 03.09.2023 г.
15. Сайт ГК «Геоскан» [Электронный ресурс]. 2023. Режим доступа: <https://www.geoscan.aero/ru/software/sputnik/gis> Дата доступа: 10.04.2023 г.
16. Чудинов С. А. Технология аэрофотосъемки при изысканиях автомобильных дорог. Учебное пособие / Чудинов С. А. ЕК., 2020. 103 с.
17. Книжников Ю. Ф., Кравцова В. И., Тутубалина О. В. Аэрокосмические методы географических исследований. Учебное пособие / Книжников Ю. Ф., Кравцова В. И., Тутубалина О. В. М., 2011 416 с.