

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОСТРОЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЛОТНОЙ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ПО МАТЕРИАЛАМ БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Татьяна Александровна Хлебникова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (913)474-19-70, e-mail: t.a.hlebnikova@ssga.ru

Ольга Анатольевна Опритова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, руководитель Сибирского учебного научно-производственного картографического центра, тел. (913)940-08-97, e-mail: ooolg@yandex.ru

В статье представлены результаты экспериментальных работ совместной фотограмметрической обработки плановых и перспективных снимков, полученных с беспилотной авиационной системы (БАС), исследований точности, экспорта в ГИС. Показано, что включение перспективных снимков, полученных с БАС, в процесс совместной обработки с плановыми снимками повышает достоверность построенной фотограмметрической модели.

Ключевые слова: аэрофотосъемка, беспилотная авиационная система (БАС), фотограмметрическая обработка снимков, фотограмметрическая модель, плотная цифровая модель, цифровая модель рельефа (ЦМР), цифровая фотограмметрическая система (ЦФС).

EXPERIMENTAL STUDIES OF DENSE DIGITAL MODEL GENERATION BY UAS DATA AND ITS APPLICATION

Tatyana A. Khlebnikova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, D. Sc., Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (913)474-19-70, e-mail: t.a.hlebnikova@ssga.ru

Olga A. Opritova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Head of the Siberian Training Research and Production Cartographical Center, phone: (913)940-08-97, e-mail: ooolg@yandex.ru

The paper presents results of researches of joint photogrammetric processing of both planned and perspective images, obtained with the use of UAS, photogrammetric model accuracy, export in GIS. It is shown that to increase the reliability of photogrammetric models of objects it is necessary to perform perspective images in addition to planned one the reliability of the photogrammetric model.

Key words: aerial photography, unmanned aerial system (UAS), photogrammetric processing of images, photogrammetric model, dense digital model, digital elevation model (DEM), digital photogrammetric station (DPS).

Введение

В условиях развития цифровой экономики Российской Федерации цифровые данные являются одним из ключевых факторов производства практически во всех социально-экономических сферах. Возрастает спрос на цифровые геопространственные данные, являющиеся связующим звеном различных баз данных при построении единого геоинформационного пространства (ЕГИП) в рамках стратегии пространственного развития России [1].

Геопространство – это совокупность находящихся на территории (над, под территорией) географических объектов природного и техногенного характера, природных явлений, техногенных и природных процессов и событий, обладающих интересующими нас пространственными свойствами [2, 3].

Научно-технический прогресс в компьютерных технологиях и достижения трехмерной машинной графики привели к созданию, развитию и использованию геоинформационных систем (ГИС). Основной функцией ГИС является пространственный анализ геопространства. Для анализа необходимы модели объектов геопространства, поэтому второй основной функцией геоинформационных систем является моделирование объектов геопространства [4–9].

Моделирование геопространства позволяет оптимизировать управленческие решения за счет более полного информационного обеспечения – предоставления данных в удобном для анализа, в том числе и автоматизированного, и восприятия виде.

Традиционно большую часть геопространственных данных для ЕГИП обеспечивают средства и методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) – космическая и аэрофотосъемка (АФС).

Обработка материалов дистанционного зондирования Земли выполняется на цифровых фотограмметрических системах.

Результатом обработки данных, полученных средствами и методами ДЗЗ, являются цифровые карты (планы), ортофотопланы, цифровые модели местности, рельефа и др. Эти продукты являются составными элементами единого геопространства [10–13].

Результаты обзора отечественных и зарубежных публикаций позволили установить, что моделирование геопространства небольших территорий наиболее эффективно выполняется с применением БАС и цифровых фотограмметрических систем. Такой подход позволяет в короткие сроки (в течение 1–2 дней) получить исходную основу в виде фотограмметрических моделей, по точности и детальности отвечающих требованиям нормативно-технических документов для крупномасштабного картографирования, решения маркшейдерских, кадастровых и других задач [14–17]. Однако в литературных источниках немного сведений о примерах использования результатов фотограмметрической обработки в ГИС.

В этой связи авторами была поставлена цель – провести исследование практических особенностей (примеров использования), возникающих при об-

работке снимков, полученных с БАС и последующего использования результатов фотограмметрической обработки в ГИС.

Методы и материалы

В настоящее время из числа отечественных цифровых фотограмметрических систем для обработки материалов аэрофотосъемки с БПЛА, наиболее известны ЦФС PHOTOMOD и Agisoft PhotoScan.

Цифровая фотограмметрическая система PHOTOMOD (Компания Ракурс, г. Москва) осуществляет полный комплекс задач от сбора данных для построения сетей фототриангуляции до создания цифровых моделей рельефа и метрических трехмерных моделей [18]. Перечень задач, решаемых с использованием этой цифровой фотограмметрической системы, обширен. Их выбор зависит от потребностей конкретной производственной организации. Такую ЦФС используют для обработки большого объема материалов.

В результате фотограмметрической обработки материалов цифровой аэрофотосъемки получают: стереомодели, точечные цифровые модели поверхности, ортофотопланы и др., которые служат источником для формирования пространственных данных на территорию съемки.

Использование стереомodelей позволяет определять пространственные координаты любой точки объекта съемки. Однако для работы со стереомodelями необходимо иметь специализированное программно-аппаратное обеспечение – полнофункциональную ЦФС, участие опытного оператора с достаточной остротой стереозрения.

Ортофотопланы представляют собой сплошное изображение участка местности, могут быть загружены в распространенные геоинформационные системы и позволяют определить плановые координаты точек видимых частей объектов съемки. Вместе с тем при работе с ортофотопланами у оператора нет возможности изменить ракурс наблюдения и получить информацию о взаимном пространственном расположении конструктивных элементов объекта съемки.

Для решения ряда задач современные программные средства позволяют использовать точечные цифровые модели поверхности для получения пространственных данных в качестве альтернативы стереомodelям.

Точечные цифровые модели поверхности обладают следующими достоинствами:

- нет необходимости использовать полнофункциональные ЦФС;
- точность определения пространственных координат объектов не зависит от остроты стереозрения оператора;
- есть возможность изменять ракурс наблюдения;
- содержат информацию о вертикальных и наклонных элементах объекта съемки.

Для проведения экспериментальных исследований нами выбраны отечественные программные продукты: Agisoft PhotoScan Professional Edition (версия 1.2.0), разработанная Группой Компаний Геоскан (далее – Agisoft PhotoScan), ГИС Панорама – КАРТА 2011, разработанная АО КБ «Панорама», (далее – ГИС КАРТА 2011). На сайте компании в перечне программных продуктов с 2018 г. нет названия ГИС КАРТА 2011, следующая версия этой программы переименована.

ГИС КАРТА 2011 – универсальная геоинформационная система, имеющая средства создания и редактирования цифровых карт, планов, обработки данных ДЗЗ, выполнения различных измерений и расчетов, оверлейных операций, построения 3D-моделей, обработки растровых данных, средства подготовки графических документов в цифровом и печатном виде, инструментальные средства для работы с базами данных [19].

Особенностью Agisoft PhotoScan является то, что обработка снимков включает ряд последовательно выполняемых операций, часть которых реализуется современными методами машинного зрения и базируется на использовании аппарата проективной геометрии и фотометрической обработки изображений [20]:

- выбор и отождествление на снимках соответственных точек;
- выбор системы координат и загрузка данных опорной сети и центров фотографирования;
- установка маркеров опорных точек на снимках;
- построение плотного облака точек;
- построение полигональной модели объекта;
- построение текстуры модели или ортофотоплана;
- построение цифровых моделей рельефа и текстурированных моделей поверхности.

Экспериментальные исследования выполнены по материалам плановой и перспективной АФС, полученной с БАС вертолетного типа DJI Phantom 4. На БАС была установлена цифровая фотокамера DJI FC330 с фокусным расстоянием 4 мм, размером кадра 4000 x 3000 пикселей, пикселя – 1,56 x 1,56 мкм. Продольное и поперечное перекрытие плановых снимков составило 80 %.

Результаты и обсуждение

В результате фотограмметрической обработки плановых снимков получена точечная цифровая модель поверхности участка территории. Исследования показали, что построенная фотограмметрическая модель имеет недостаточную плотность и не позволяет оператору уверенно распознать и определить местоположение части конструктивных элементов строения. На модели отсутствуют изображения вертикальных и наклонных элементов объекта (рис. 1, а).



Рис. 1. Изображения точечных цифровых моделей, полученных:
а) по плановым снимкам; *б)* в результате совместной обработки данных плановой и перспективной съемки

Выявлено, что для построения качественных точечных цифровых моделей поверхности необходимо, чтобы каждая точка объекта съемки отображалась на трех и более снимках. Снимки плановой АФС вертикальных и наклонных элементов объектов это требование не всегда обеспечивают.

Для решения возникшей проблемы дополнительно к плановой выполнена перспективная АФС по круговому маршруту вокруг строения с величиной базиса, соответствующей 10° дуги окружности, и углом наклона снимков около 30° .

Перспективная аэрофотосъемка – фотографическая съемка местности с воздуха при заданном наклоне оптической оси аэрофотоаппарата.

В результате совместной фотограмметрической обработки плановых и перспективных снимков получены точечная цифровая модель, обеспечивающая визуальную достоверность и возможность определения местоположения конструктивных элементов в составе вертикальных и наклонных поверхностей строения (рис. 1, *б)* и ортофотоплан.

Использование для фотограмметрической обработки двух видов съемки приводит к увеличению времени съемки, а увеличение количества снимков в фотограмметрическом проекте – к увеличению времени обработки. Однако для моделирования участков территории или отдельных объектов недвижимости это не имеет принципиального значения ввиду небольших площадей.

Точечная цифровая модель (рис. 2) и ортофотоплан конвертировались в обменный формат ГИС КАРТА 2011.

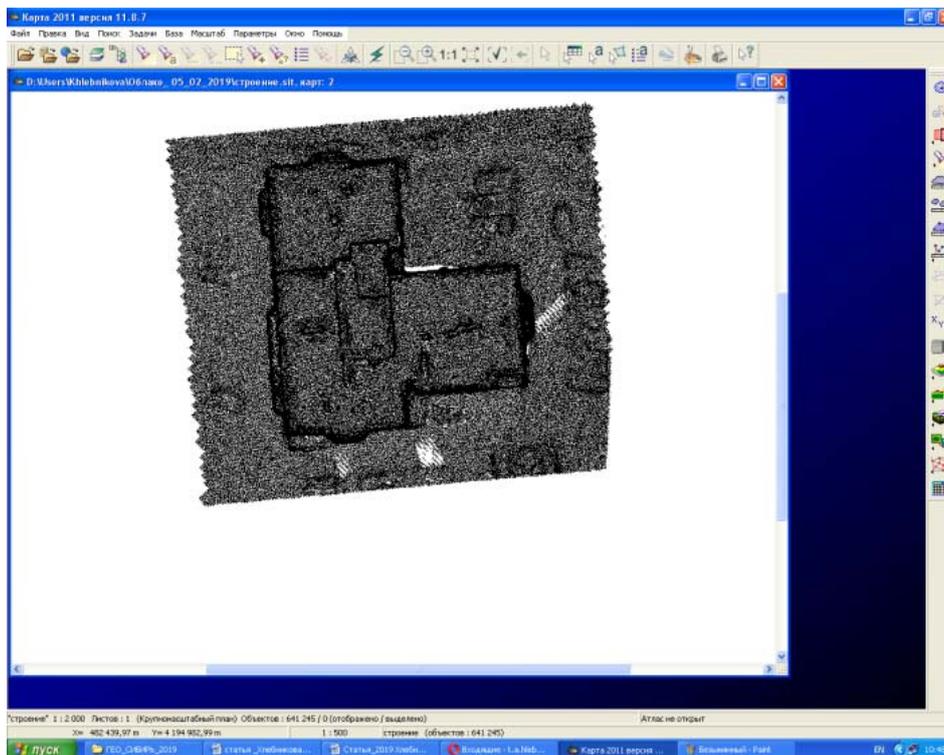


Рис. 2. Изображение точечной цифровой модели

Точечная цифровая модель отображается в ГИС КАРТА 2011 в виде массива отдельных точек и позволяет определять плановые координаты и абсолютные высоты каждой точки. Векторизацию объектов выполнять затруднительно и неэффективно.

Средствами ГИС КАРТА 2011 по точечной цифровой модели построена ЦМР в виде регулярной матрицы высот, которая позволяет получить: растровые изображения экспозиций склонов; матрицу уклонов поверхности; профиль по участку объекта, по заданной линии; определение зоны видимости; определение площади, длины линии с учетом рельефа; построение зоны затопления и т. д.

Заключение

Таким образом, при формировании моделей геопространства на застроенных территориях по данным АФС с использованием БАС целесообразно выполнять совместную фотограмметрическую обработку плановых и перспективных снимков, что позволяет получить достоверные фотограмметрические модели для решения задач в строительстве, проектировании, территориальном планировании, кадастре, градостроительстве и др.

Совместная фотограмметрическая обработка плановых и перспективных снимков позволяет обеспечить достаточное количество точек на вертикальных и наклонных элементах объекта для уверенной идентификации конструктивных элементов строения.

В результате исследований установлено, что использование перспективных снимков для построения фотограмметрических моделей позволяет дополнительно определить состояние объекта, форму и протяженность конструктивных элементов на вертикальных и наклонных элементах объекта, пространственное взаимное расположение конструктивных элементов объекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Об утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации» : распоряжение Правительства РФ от 28.07.2017 № 1632-р [Электронный ресурс]. – Режим доступа СПС «КонсультантПлюс».
2. Карпик А. П., Лисицкий Д. В. Электронное геопространство: сущность и концептуальные основы // ГЕО-Сибирь-2009. V Междунар. науч. конгр.: сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 20–24 апреля 2009 г.). – Новосибирск: СГГА, 2009. Т. 1, ч. 1. – С. 55–60.
3. Кацко С. Ю. Неогеография и картография // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 2. – С. 102–106.
4. Нехин С. С. Геоинформация, соединяющая континенты // Геодезия и картография. – 2004. – № 10. – С. 19–28.
5. Нехин С. С. Шелковый путь информации из изображений // Геодезия и картография. – 2009. – № 2. – С. 36–48.
6. Хлебникова Т. А., Трубина Л. К. Возможности использования трехмерных видеосцен в экологической оценке состояния городских территорий // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 5/С. – С. 170–174.
7. Трубина Л. К., Хлебникова Т. А., Николаева О. Н. Методические подходы к созданию 3d-моделей для исследования экологического состояния городских территорий // География и природные ресурсы, 2017 № 2, С. 199–205.
8. Хлебникова Т. А., Оприцова О. А. Экспериментальные исследования технологии моделирования геопространства по материалам аэрофотосъемки // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология»: сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск: СГУГиТ, 2016. Т. 1. – С. 16–20.
9. Журкин И. Г., Хлебникова Т. А. Цифровое моделирование измерительных трехмерных видеосцен: монография. – Новосибирск : СГГА, 2012. – 246 с.
10. Мониторинг деформаций сооружений в сочетании с технологией трехмерного моделирования / В. А. Середович, Т. А. Широкова, Д. В. Комиссаров и др. // Геодезия и картография. – 2006. – № 6. – С. 12–14.
11. Мышляев В. А. О цифровой картографической продукции нестандартных масштабов // Геодезия и картография. – 2009. – № 7. – С. 62–63.
12. Хлебникова Т. А., Юрченко В. И. О создании цифровых ортофотопланов по материалам аэрофотосъемки для территориального кадастра // Геодезия и картография. – 2001. – № 5. – С. 23–26.
13. Экспериментальные исследования по созданию картографических моделей компонентов экосистем, вовлеченных в природопользование [Рукопись] : отчет о НИР (заключительный) / СГУГиТ ; рук. работы Л. К. Трубина; исполн. О. Н. Николаева [и др.]. – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – 70 с.
14. Группа компаний Геоскан. Применение БЛА при решении картографических и кадастровых задач [Электронный ресурс]: отчет. – Режим доступа: <http://geoscan.ru>.

15. Иноземцев, Д. П. Беспилотные летательные аппараты: Теория и практика. Часть 2. Модель обработки аэрофотоснимков в среде AGISOFT PHOTOSCAN / Д. П. Иноземцев // Технологии. – 2013. – № 3 (50). – С. 48–51.
16. Использование многороторных БПЛА для целей ДЗЗ / В. К. Барбасов, Н. М. Гаврюшин, Д. О. Дрыга, М. С. Батаев // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 5. – С. 122–126.
17. Исследование возможностей применения квадрокоптера для съемки береговой линии обводненного карьера с целью государственного кадастрового учета / И. М. Ламков, А. Ю. Чермошенцев, С. А. Арбузов, А. П. Гук // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 4 (36). – С. 200–209.
18. PHOTOMOD : руководство пользователя. Версия 5.3 [Электронный ресурс]. – М. : Ракурс, 2014. – 181 с. – 1 электр. опт. диск (DVD+R).
19. Геоинформационная система «Карта 2011»: Руководство пользователя. Версия 11. [Электронный ресурс] – Ногинск: КБ Панорама. – 1991 – 2012. – 151 с. – 1 электр. опт. диск (DVD+R).
20. Иноземцев Д. П. Беспилотные летательные аппараты: Теория и практика. Часть 2. Модель обработки аэрофотоснимков в среде AGISOFT PHOTOSCAN // Технологии. – 2013. – № 3 (50). – С. 48–51.

© Т. А. Хлебникова, О. А. Опритова, 2019