

УДК 621.396.967

DOI: 10.31799/978-5-8088-1824-8-2023-3-188-195

**В. А. Ненашев**

кандидат технических наук, доцент

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

## КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ РАЗНОРОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ ОТ ЛИДАРА И КАМЕРЫ В БОРТОВОЙ АВИАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Системы сбора и обработки локационной информации актуальны и применимы в различных областях деятельности человека, будь то составление карты местности или виртуальной модели рельефа, подсчет количества деревьев, поиск людей, планирование возведения новых архитектурных и инженерных сооружений, охрана правопорядка и т. д.

В качестве исследования комплексирования данных от разнородных источников локационной информации будут произведены запуски дрона DJI Matrice 300 RTK с установленным на нем лидаром Zenmuse L1 со встроенной камерой.

В результате проведенных полетов были собраны данные и успешно проведен процесс их комплексирования от разнородных источников информации, получено цветное облако точек с высокой степенью детализации рельефа земной поверхности для построения высокоточных виртуальных моделей местности.

**Ключевые слова:** комплексирование информации, облако точек, лидарные данные, бортовые средства сбора информации, малые летательные аппараты.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22–79–00303).

**V. A. Nenashev**

PhD, Tech., Associate Professor

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## INTEGRATION OF HETEROGENEOUS INFORMATION FROM A LIDAR AND A CAMERA IN AN ONBOARD AVIATION SYSTEM FOR OBSERVING THE EARTH'S SURFACE

Systems for collecting and processing location information are relevant and applicable in various areas of human activity, whether it is compiling a terrain map or a virtual terrain model, counting the number of trees, searching for people, when planning the construction of new architectural and engineering structures, law enforcement, etc.

As a study of integrating data from heterogeneous sources of location information, launches of the DJI Matrice 300 RTK drone will be carried out, with the following installed on it: Zenmuse L1 lidar with a built-in camera.

As a result of the flights, data were collected and the process of their integration from heterogeneous information sources was successfully carried out, a colored point cloud with a high degree of detail of the earth's surface relief was obtained to build high-precision virtual terrain models.

**Keywords:** information aggregation, point cloud, lidar data, onboard information collection tools, small aircraft.

Сегодня актуальной задачей является комплексирование данных [1–12] с лидара и с камеры ввиду того, что первый предоставляет точную информацию о дальности, форме, размере, иными словами, формирует максимально информативную и удобную для дальнейшей работы 3D-модель пространства, состоящую из множества точек. Существенный недостаток лидарной съемки состоит в том, что она не предоставляет информации о цвете ввиду своей монохроматичности, именно это и должна решить обработка данных с камеры совместно с облаком точек от лидара.

Отсюда возникает первый и ключевой момент: следует провести сбор данных таким образом, чтобы локационная информация одновременно поступала на камеру и на лидар. Второй момент: для проведения такого эксперимента потребуется платформа, способная нести на себе одновременно сразу два устройства сбора локационной информации, при этом иметь возможность записи для того, чтобы уже провести постобработку. И третий момент: для качественной проверки потребуется провести данные испытания на открытой местности с со-

блюдением всех требований безопасности и действующих ограничений на полет носителя лидара и камеры.

Таким образом, программно-аппаратным стендом выступит DJI-система, в состав которой входит квадрокоптер-платформа Matrice 300 RTK, способная нести на себе различные модули, в нашем случае это будет особый подвес Zenmuse L1, включающий одновременно и лидар, и RGB-камеру. Управление малым летательным аппаратом (МЛА) будет происходить с помощью пульта DJI Smart Controller Enterprise, а обработка полученных данных будет проведена в пакете MATLAB. Внешний вид платформы Matrice 300 RTK представлен на рис. 1.

Платформа и силовая установка с усовершенствованными характеристиками повышают эффективность и стабильность полета даже в суровых условиях. Предусмотрена установка до 3 совместимых модулей (одного сверху и двух снизу) суммарной массой до 3 кг. В нашем случае модуль будет только один – Zenmuse L1 – и прикреплен снизу (рис. 2).

С целью увеличения уровня безопасности и обеспечения стабильности полета МЛА по шести сторонам платформы расположены оптические сенсоры и датчики ToF. Их диапазон обнаружения препятствий спереди, сзади, слева и справа составляет от 0,7 до 40 м, а снизу и сверху – от 0,6 до 30 м, что практически полностью предотвращает возможность столкновения дрона с различными объектами (например, птицами и ветками) при выполнении задачи. В табл. 1 представлены основные характеристики платформы.

Управляется МЛА с помощью пульта управления DJI Smart Controller Enterprise (рис. 3). Данный пульт оснащен 5,5-дюймовым ультра-



Рис. 1. Внешний вид платформы Matrice 300 RTK



Рис. 2. Платформа Matrice 300 RTK с модулем Zenmuse L1, закрепленным снизу

ярким дисплеем, который поддерживает формат 1080p. Связь с дроном происходит на частоте 2,4–2,483 ГГц с максимальной дальностью передачи сигнала до 15 км.

В модуль Zenmuse L1 одновременно интегрированы LiDaR, высокоточный блок IMU и камера с 1-дюймовым экраном КМОП, установленная на 3-осевом гиросtabilизаторе. Внешний вид модуля представлен на рис. 4, основные характеристики – в табл. 2.

Таблица 1

Основные характеристики платформы Matrice 300 RTK

Размер	В разложенном виде, без пропеллеров, 810 × 670 × 430 мм (Д × Ш × В)
Масса (с одной камерой внизу)	Около 6,4 кг (с учетом двух аккумуляторов)
Диапазон рабочих частот	2,4–2,483 ГГц
Точность позиционирования RTK	1 см в горизонтальной плоскости и 1,5 см в вертикальной плоскости
Максимальная угловая скорость	Наклон 300 °/с и поворот 100 °/с
Максимальная скорость набора высоты	6 м/с
Максимальная скорость снижения	По вертикали 5 м/с, по наклону 7 м/с
Максимальная скорость движения	23 м/с
Максимальная высота полета над уровнем моря	7000 м
Максимальная допустимая скорость ветра	15 м/с (12 м/с при взлете и посадке)
Максимальное время полета	55 минут
Спутниковые системы позиционирования	GPS + ГЛОНАСС + BeiDou + Галилео
Диапазон рабочих температур	от –20° до +50°



Рис. 3. Пульт управления DJI Smart Controller Enterprise



Рис. 4. Внешний вид Zenmuse L1

Таблица 2

## Основные характеристики модуля Zenmuse L1

Размеры	152 × 110 × 169 мм
Масса	930 г
Питание	От 30 до 60 Вт
Диапазон рабочих температур	От -20° до +50°
Диапазон распознавания	450 м при отражаемости 80% и 190 м при отражаемости 10%
Частота точек	240000 точек/с
Точность системы	По горизонтали 10 см при 50 м и по вертикали 5 см при 50 м
Точность определения расстояния LiDaR	3 см при 100 м
Частота обновления IMU	200 Гц
Разрешение курсовой камеры в пикселях	20 МП
Стабилизированная система гиростабилизатора	3 оси (наклон, поворот, панорамирование)
Хранение необработанных данных	microSD

Matrice 300 RTK и Zenmuse L1 составляют вместе единую систему, которая позволяет решать различные задачи: создание топографической карты, получение информации о плотности растительности, возможность детально рассмотреть труднодоступные места, экстренно среагировать на происшествие и получить информацию в кратчайшие сроки. Все полученные данные кодируются в определенный формат лишь с применением лицензированного ПО – DJI Terra.

Основным ПО для работы с Matrice 300 RTK и Zenmuse L1 является лицензированное приложение DJI Terra, которое устанавливается на ПК, на котором обязательно должна быть видеокарта фирмы NVIDIA, а также существует разновидность данного приложения, которая применяется на пульте DJI Smart Controller Enterprise. Обе программы могут выполнять функции формирования полетного задания, а также имеют схожий интерфейс, на этом соответствия заканчиваются. DJI Pilot позволяет проводить ручное управление МЛА, а также демонстрирует на 5,5-дюймовом дисплее получаемую информацию как с камеры, так и с LiDaR;

в DJI Terra непосредственно осуществляется весь процесс постобработки полученных данных. На рис. 5 представлено описание интерфейса сенсорного экрана DJI Smart Controller Enterprise: 1 – демонстрация изображения с выбранного датчика (в данном случае с камеры); 2 – отображение текущего типа датчика, с которого идет трансляция; 3 – параметры текущего датчика; 4 – выбор режима фокусировки (MF – ручной, AF-C – непрерывный, AF-S – покадровый); 5 – блокировка экспозиции; 6 – настройка текущего датчика; 7 – выбор режима записи (фото, видео, облако точек); 8 – кнопка съемки (спуск затвора, видеозапись, запись облака точек); 9 – меню просмотра фотографий и воспроизведения видео; 10 – настройка основных параметров; 11 – переключатель между видом с камеры / видом облака точек; 12 – переключатель «Один вид / два вида»; 13 – кнопка калибровки IMU; 14 – выбор цветовой палитры; 15 – кнопка предпросмотра облака точек; 16 – кнопка паузы.

В DJI Pilot, как и в DJI Terra, есть возможность формирования полетного задания, которое может быть следующих видов: картографи-



Рис. 5. Интерфейс экрана DJI Smart Controller Enterprise

ческое задание, задание на прямолинейный полет и режим огибания рельефа (рис. 6). В ходе создания полетного задания формируется маршрут (по точкам) или выбирается область, которую необходимо просканировать, редактируются параметры по созданию карты с помощью LiDaR и камеры (настраиваются плотность облака точек – количество точек на 1 м<sup>2</sup>, разрешение – сантиметров на пиксель, частота получения изображений), а также определяются высота полета и скорость полета, включается калибровка IMU. После выполнения полетного задания остается посадить МЛА, вытащить внутренний накопитель – microSD, после чего провести обработку при помощи DJI Terra на ПК.

С целью получения качественных данных и соблюдения всех норм и правил было решено провести полеты МЛА. Было найдено относительно ровное место, которое и послужило взлетно-посадочной площадкой для дрона. Принцип сборки и подготовки был разобран предварительно в аудитории, так что процесс занял не более десяти минут, и МЛА уже был установлен на начальную позицию и подготовлен для выполнения полетного задания. Matrice 300 RTK с установленным модулем Zenmuse L1 на взлетно-посадочной площадке представлен

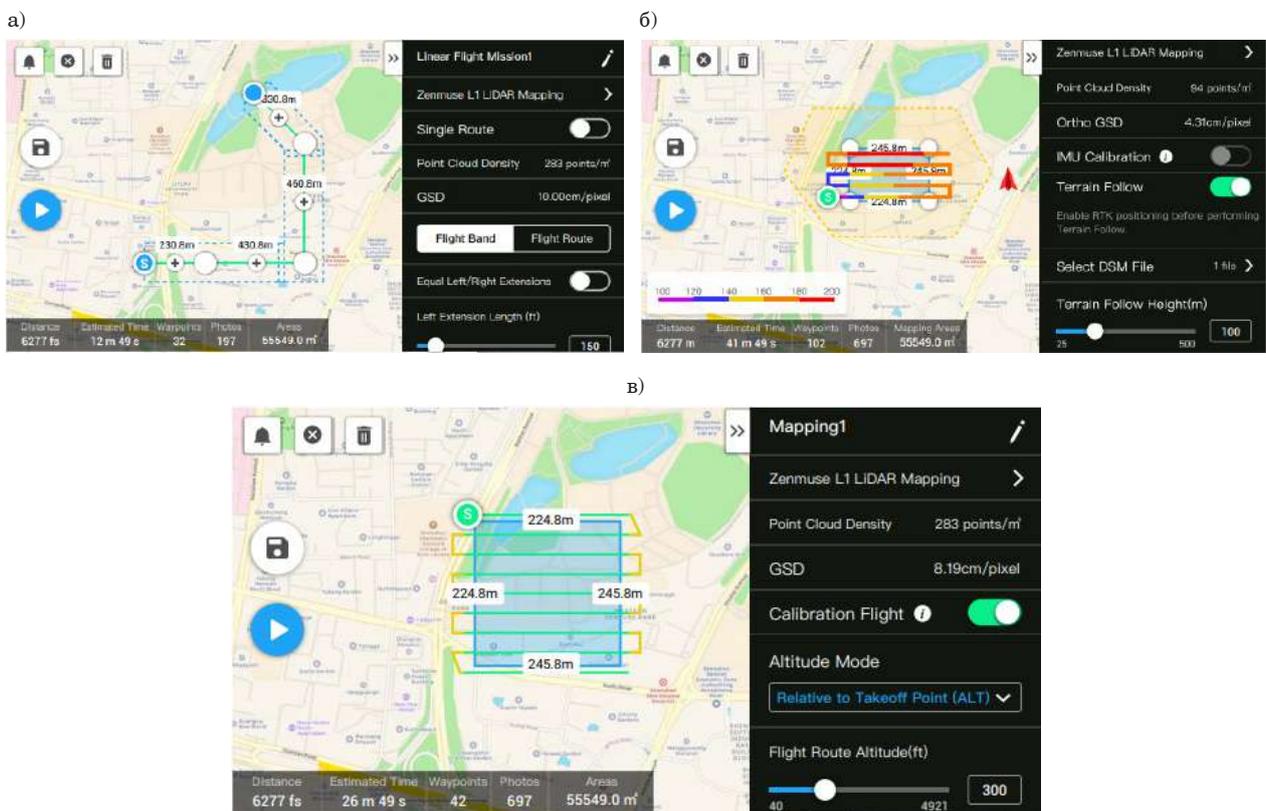


Рис. 6. Виды полетных заданий: а – прямолинейный полет; б – режим огибания рельефа; в – картографическое задание

на рис. 7. Оставалось составить задания. Всего было создано 3 различных проекта, оптимальным выступило картографическое задание. Таким образом, всего были приведены в исполнение 3 проекта, условно получившие названия: «Лес», «Садоводство» и «ЛЭП». Все полетные задания выполнялись при следующих характеристиках: высота полета – 100 м, скорость – 15 м/с.

Процесс составления полетного задания представлен на рис. 8, вертикальный взлет дрона – на рис. 9 и получение данных на дисплее пульта DJI



Рис. 7. МЛА Matrice 300 RTK с модулем Zenmuse L1 на взлетно-посадочной площадке



Рис. 8. Формирование полетного задания



Рис. 9. Вертикальный взлет дрона на заданную высоту



Рис. 10. Получаемые данные с фронтальной камеры во время полета

Smart Controller Enterprise непосредственно во время выполнения задания – на рис. 10 (данные на дисплее в данном случае не с модуля Zenmuse L1, а с фронтальной камеры МЛА).

После того, как были выполнены все запланированные проекты, из модуля Zenmuse L1 была извлечена microSD-карта, и данные, собранные на ней, были скопированы на ПК для постобработки.

Далее были проведены постобработка полученных данных, оценка полученных результатов, комплексирование. В первую очередь для обработки полученных данных нужно было получить данные с базовой станции, так как в комплекте не было базовой станции, потребовалось обратиться в стороннюю компанию – «Геоспайдер». Ближайшая станция располагалась в г. Кировске, примерно в 15 км от места испытаний. Базовая станция (также известная как опорная) устанавливается в определенной точке на земле, где ее местоположение по GPS постоянно противопоставляется местоположению дрона. Для правильной обработки данных с нашего МЛА требовался RTK-файл формата obs. Применение данной системы предоставляет следующие преимущества: повышенная точность (обычно до сантиметрового уровня) и коррекция в реальном времени (в нашем случае использовался файл за минувший день, так как данные файлы на базовых станциях формируются каждый день и сохраняются на какой-то период времени). Итак, получили файл obs (в папке он имеет ярлычок блокнота, так как для проверки содержимого был открыт этой программой), добавили его в сформированные папки с проектами и, что самое главное, изменили его название (чтобы оно соответствовало названию проекта и другим файлам). Пример полного комплекта требуемых для обработки данных представлен на рис. 11.

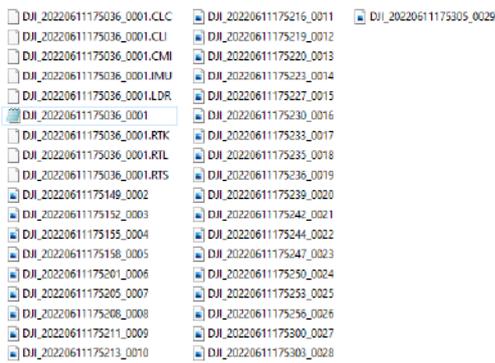


Рис. 11. Пример полного комплекта файлов в проекте



Рис. 12. Две последовательные фотографии, полученные при выполнении проекта «Садоводство»

Облако точек получится оценить только после обработки, а фотографии, которые дрон получал последовательно в результате выполнения проекта «Садоводство», можно увидеть на рис. 12.

Для начала требуется создать новый проект в программе DJI Terra, дать ему название, загрузить данные, настроить параметры обработки (плотность точек, выбор форматов, в которых необходимо сохранить данные), после чего дождаться завершения процесса реконструкции (интерфейс основных шагов представлен на рис. 13).

Для начала будут представлены результаты обработки проектов «Садоводство» и «ЛЭП» (рис. 14). Оба данные проекта были реализованы с использованием исключительно LiDaR.

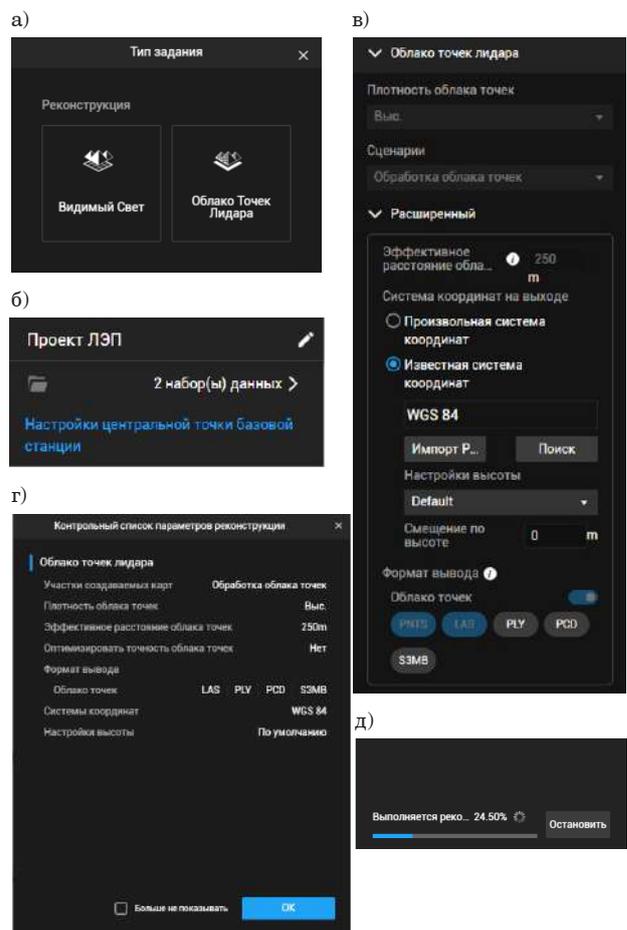


Рис. 13. Интерфейс основных шагов проведения обработки в DJI Terra: а – выбор типа проекта; б – загрузка данных и название проекта; в – настройки обработки; г – окно установленных параметров; д – процесс реконструкции

Как видно из результатов, получены облака точек высокого разрешения, где отчетливо видны объекты (столб ЛЭП, дома, деревья), но нет никакой информации о цвете, что затрудняет восприятие объектов для человеческого глаза.

Следующий проект – «Лес» – представляет больший интерес ввиду того, что были одновременно использованы два датчика: активный – LiDaR и пассивный – камера. Для начала представлено несколько ракурсов на полученное облако точек по шкале высоты над уровнем моря (рис. 15).

Теперь, имея на руках облако точек наземного пространства высокого разрешения, а также фотографии высокого разрешения, которые камера формировала на протяжении всего полетного задания, проверим получится ли получить цветную 3D-карту местности, проведя комплексирование данных от таких разнородных источников локационной информации, решив проблему устранения таких недостатков, как монохроматичность лидара и вычис-

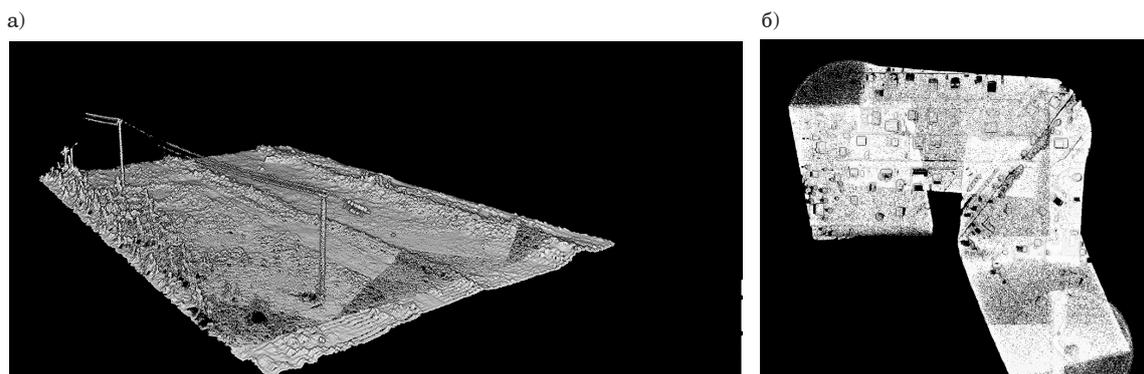


Рис. 14. Облако точек: а – проекта «ЛЭП»; б – проекта «Садоводства», слева общий вид, справа приближение для демонстрации разрешения

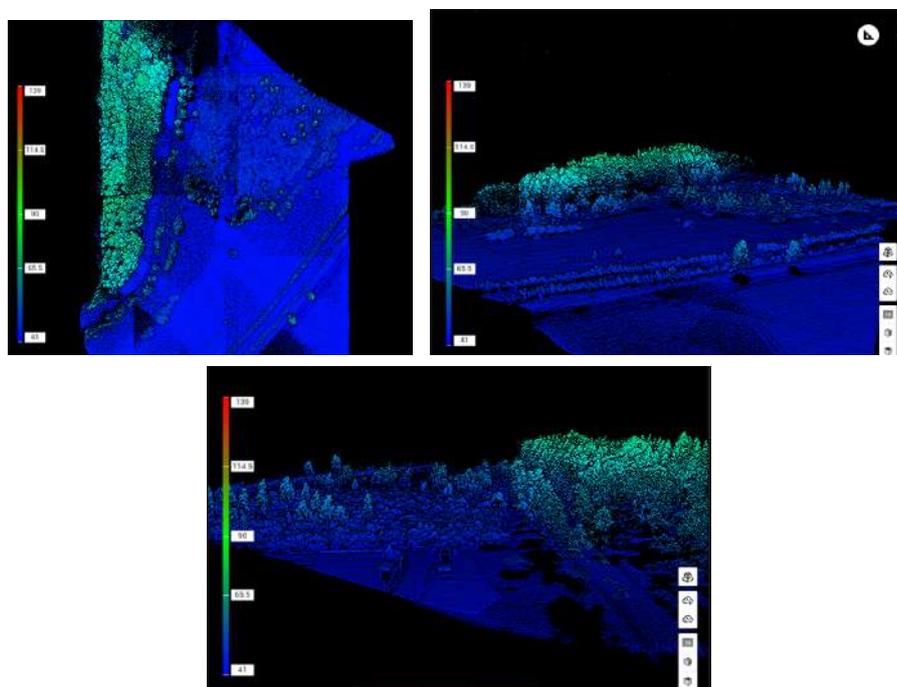


Рис. 15. Облако точек проекта «Лес» по шкале высоты над уровнем моря

лительная трудоемкость перевода 2D-фотографий в 3D. Результат комплексирования данных в пакете MATLAB представлен на рис. 16.

Как видно из результатов, получилось очень точное объединение данных с двух разнородных источников, этому поспособствовало как разрешение полученных исходных данных, так и подключение к GPS и RTK. Видно, что некоторые участки и элементы пространства стали для восприятия человеческого глаза более явными, например теперь однозначно видно участки дороги, можно судить о ее покрытии, а такие объекты, как две машины (синяя и красная), не выглядят столь явно на монохроматичном облаке точек.

Можно однозначно утверждать, что процесс комплексирования прошел успешно, полученные дан-

ные теперь представляют больший интерес для дальнейшего исследования, а тот факт, что имеется возможность получить на выходе данные результаты во всех популярных форматах, позволит использовать это облако точек в других программах.

### Заключение

Исходя из полученных результатов, можно однозначно сказать, что процесс комплексирования данных от разнородных источников информации был проведен успешно, а качество полученного цветного облака точек на высоком уровне. За системами, которые объединяют локационную информацию от нескольких разнородных источников, будущее. Применение лидара для получения

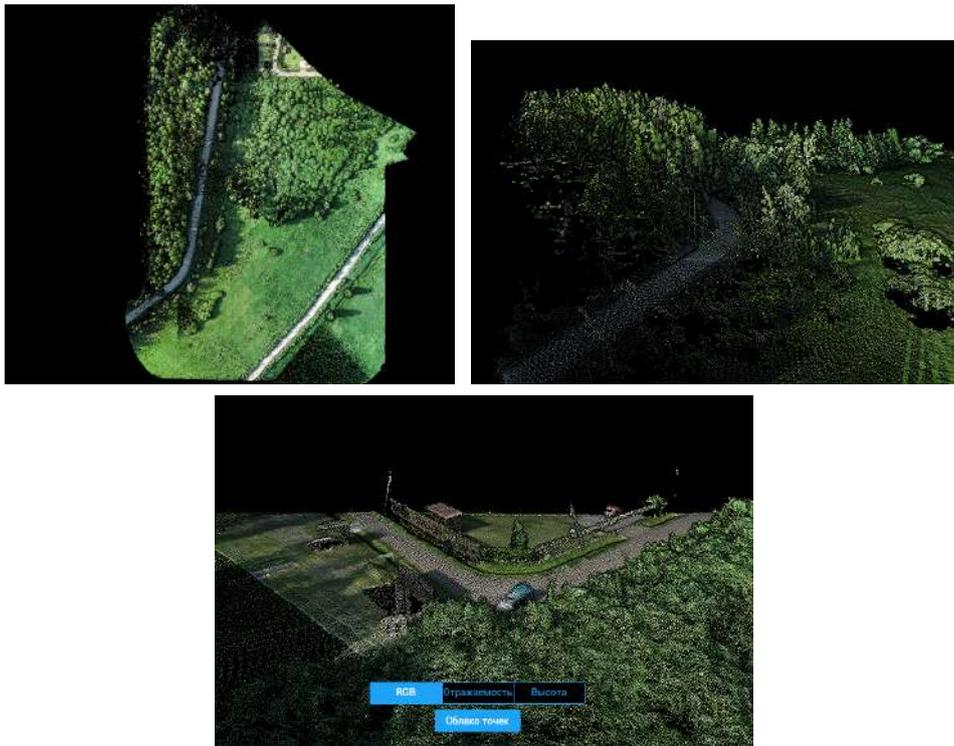


Рис. 16. Результаты комплексирования

локационных данных действительно становится все более и более распространенным: используются цифровые карты местности или цифровые карты рельефа для реализации различных проектов в неосвоенных местах, будь то газопровод, автомагистраль, новый завод, месторождение или другой иной инфраструктурный объект, проведение спасательных операций, помощь в обнаружении и обследовании, составление высокоточных цифровых моделей объектов, к которым человеку сложно добраться своими силами и т. д.

Таким образом, данное направление является перспективным и востребованным во многих сферах, где требуется мониторинг земной поверхности с высокой детализацией наблюдаемых территорий.

### Библиографический список

1. Miguel P., Girao O. 3D Object Tracking Using RGB Camera and 3D-LiDaR Data. 2016. P. 103.
2. On the use of cameras for the detection of critical events in sensors-based emergency alerting systems / D. Costa, F. Vasques, P. Porugal, A. Aguiar // Journal of Sensor and Actuator Networks. 2020. Vol. 9 (4). P. 24.
3. Application and analyses of airborne LiDaR technology in topographic survey of tidal flat and coastal zone / Z. Lijiana, L. Zulonga, L. Yingchengb et al. 2020. P. 4.

4. An airborne camera system for rapid mapping in case of disaster and mass events / M. Behrlich, J. Leitloff, F. Kurz, O. Meynberg // Proceedings of the Earth Observation for Global Change. 2011. P. 6.

5. Infrared cameras in airborne remote sensing: IR-Imagery for photogrammetric processing at German Aerospace Center DLR, Berlin / S. Pless, B. Vollheim, M. Haag, G. Damma // 11<sup>th</sup> International Conference on Quantitative InfraRed Thermography. 2012. P. 10.

6. Радиолокация для всех / В. С. Верба, К. Ю. Гаврилов, А. Р. Ильчук и др. М.: Техносфера, 2020. 504 с.

7. Интегрированные многодатчиковые комплексы мониторинга окружающего пространства / В. С. Верба, В. И. Меркулов, Д. А. Миляков, В. С. Чернов // Журнал радиоэлектроники. 2015. № 4. С. 15.

8. LiDaR and Camera Detection Fusion in a Real-Time Industrial Multi-Sensor Collision Avoidance System / P. Wei, L. Cagle, T. Reza et al. // MDPI journal Electronics. 2018. Vol. 7 (6). P. 32.

9. Toschi I. Airborne oblique imaging: towards the hybrid era // Archives of Photogrammetry, Cartography and Remote Sensing. 2019. Vol. 31. P. 21–28.

10. Платформа Matrice 300 RTK. URL: <https://www.dji.com/ru/matrice-300> (дата обращения: 13.11.2022).

11. Модуль Zenmuse L1. URL: <https://www.dji.com/ru/zenmuse-l1> (дата обращения: 14.11.2022).

12. ПО DJI Terra. URL: <https://www.dji.com/ru/dji-terra> (дата обращения: 14.11.2022).