

*В. К. Сухотин<sup>1\*</sup>*

## **Исследование методов создания цифровых моделей местности по материалам воздушного лазерного сканирования и цифровой аэрофотосъемки**

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация  
\* e-mail: Suhotin-V2022@sgugit.ru

**Аннотация.** Цифровые модели местности находят широкое применение при выполнении инженерных изысканий, проектировании, строительстве и картографировании территории. Исходные данные для их создания могут быть получены разными способами, в последнее время распространение получает применение аэрофотосъемки и лазерного сканирования. Цель данной работы заключается в построении цифровой модели местности путем совмещения данных лазерного сканирования и цифровой аэрофотосъемки. Рассмотрена методика выполнения обработки, основные этапы, включающие автоматизированную классификацию точек лазерных отражений. Выделены преимущества и недостатки данного метода.

**Ключевые слова:** цифровая модель местности, матрица высот, лазерное сканирование, цифровая аэрофотосъемка

*V. K. Sukhotin<sup>1\*</sup>*

## **Investigating Methods of Creating Digital Terrain Models based on Airborne LiDAR Scanning and Digital Aerial Photography**

<sup>1</sup>Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia  
\* e-mail: Suhotin-V2022@sgugit.ru

**Abstract.** Digital terrain models are widely used in engineering surveys, design, construction and mapping of the territory. Obtaining initial data for their creation can be carried out in various ways, recently the use of aerial photography and laser scanning has become widespread. The purpose of this work is to build a digital model of the terrain by combining laser scanning data and digital aerial photography. Processing procedure, main stages including automated classification of laser reflections points are considered. Advantages and disadvantages of this method are highlighted.

**Keywords:** digital terrain model, elevation matrix, laser scanning, digital aerial photography

### ***Введение***

Представление территории в виде трехмерных пространственных моделей обладает рядом преимуществ перед традиционными методами картографирования. Благодаря высокопроизводительным электронно-вычислительным машинам создание детальных моделей местности стало более доступным [1].

Чаще всего цифровые модели местности (ЦММ) создаются с помощью данных аэрофотосъемки, но для обеспечения высокой точности определения высот в застроенной и залесенной территории этих данных недостаточно. Выполнение сов-

местно с аэросъемкой воздушного лазерного сканирования позволяет повысить точность создания ЦММ [2].

На основе ЦММ можно быстро создавать тематические карты, такие как гипсометрические карты, карты крутизны и экспозиции склонов, карты эрозионной опасности, направлений поверхностного стока, геохимической миграции элементов, устойчивости ландшафтов и т.д. [3].

В статье описан метод создания цифровой модели местности с помощью совмещения данных воздушного лазерного сканирования и цифровой аэрофото-съемки.

### *Методы и материалы*

Исходными данными являются аэрофотоснимки и облако точек, полученные с помощью квадрокоптера со съемочной аппаратурой Zenmuse L1, в которую интегрированы модуль лидара Livox Lidar, высокоточный блок IMU и камера с 1-дюймовой матрицей CMOS, установленная на 3-осевом гиросtabilизаторе [4]. Съемка включает 22 аэроснимка и массив точек лазерных отражений (ТЛО), который содержит 857 206 точек.

Обработка данных выполнена в последней версии программы Agisoft Metashape, в которую добавлены инструменты для работы с данными лазерного сканирования [5]. Методика обработки включала процедуру ориентирования снимков, в ходе которого происходит автоматическое сопоставление характерных точек и определение элементов ориентирования всех загруженных изображений, чтобы создать точную и качественную модель местности [6]. Результаты ориентирования показаны на рис. 1.

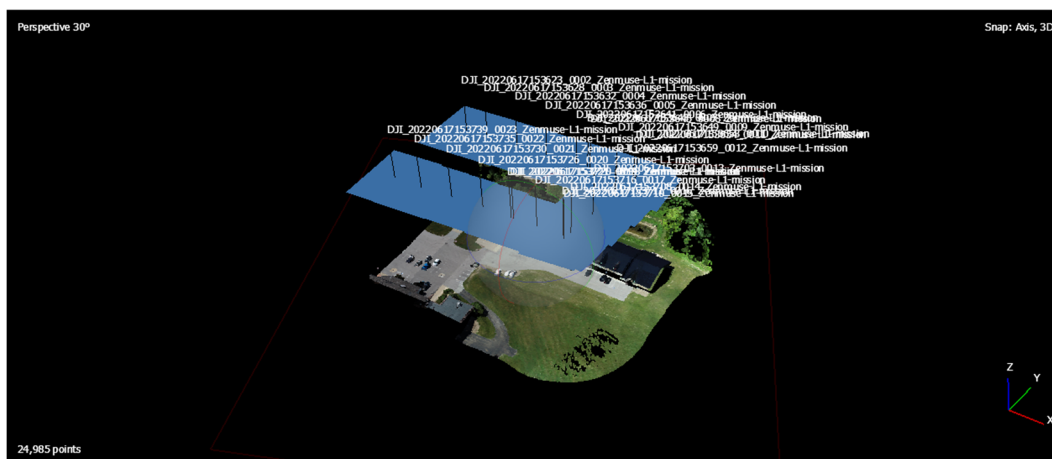


Рис. 1. Расположение камер после ориентирования снимков

После выполнения ориентирования было построено облако точек, где исходными данными является цифровая аэросъемка. После этого выполнен импорт облака точек лазерного сканирования. Для этого необходимо включить параметр «использовать облака ТЛО», чтобы в программе правильно интерпретировались данные лазерного сканирования. Результат объединения облака точек показан на рис. 2.

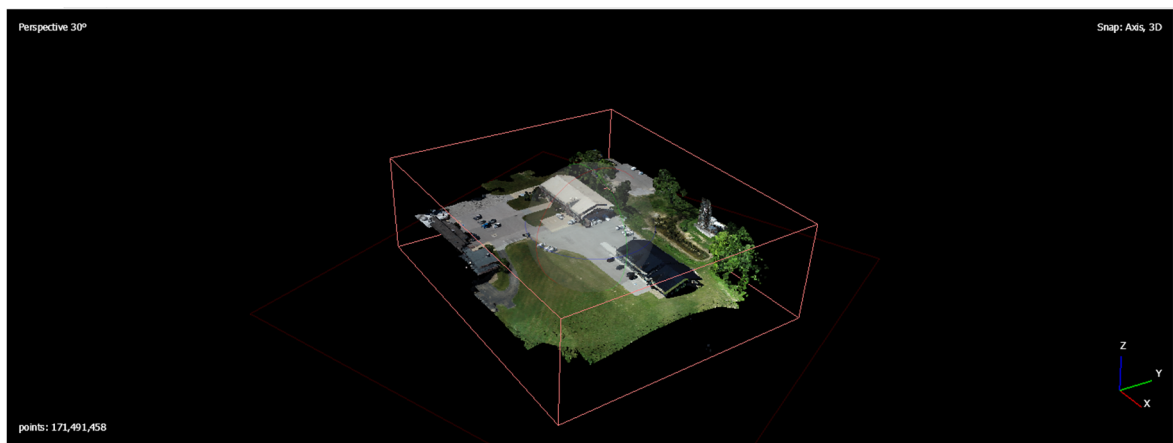


Рис. 2. Объединенное облако точек

После построения плотного облака точек необходимо провести классификацию данных. Классификация точек – это процесс разделения точек облака на различные категории или классы в зависимости от их характеристик, таких как высота, цвет, интенсивность и другие параметры. Этот процесс позволяет упорядочить и структурировать данные, что облегчает дальнейший анализ и обработку информации.

Для выполнения классификации в программном обеспечении Agisoft используется алгоритм Random Forest – это алгоритм машинного обучения, который применяется для классификации и регрессии [7]. Он основан на комбинации нескольких деревьев решений, где каждое дерево строится независимо друг от друга, а затем результаты объединяются для получения более точного прогноза или классификации. На рис. 3 представлен результат классификации облака точек.

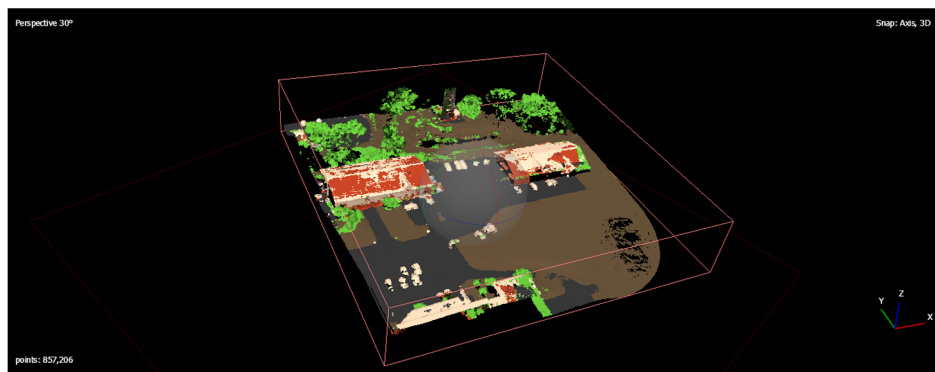


Рис. 3. Классифицированное облако точек

При визуальном анализе классификации облака точек было замечено много несоответствий. Некоторые точки были классифицированы неверно. Исправление ошибок классификации выполнено вручную. После классификации и выделения точек, принадлежащих земле, выполняется построение цифровой модели

местности, которая представляет собой трехмерное представление поверхности земли [8]. Также было выполнено создание текстурированной модели, которая включает текстуры цифровых фотографий для более реалистичного визуального представления. Результат построения текстурированной модели показан на рис. 4.



Рис.4. Построенная полигональная модель

Заключительным этапом является построение цифровой модели местности, для этого необходимо выполнить интерполяцию. В Agisoft Metashape используется бикубическая интерполяция. Эта методика, используемая для восстановления значений пикселей между известными соседними значениями, обеспечивает более плавные переходы и более точное восстановление деталей изображения [9]. Бикубическая интерполяция основана на учете значений девяти окружающих пикселей, чтобы вычислить промежуточные значения. Это позволяет получить более качественное и гладкое изображение при увеличении или уменьшении его размера [10]. Итоговая ЦММ представлена на рис. 5.

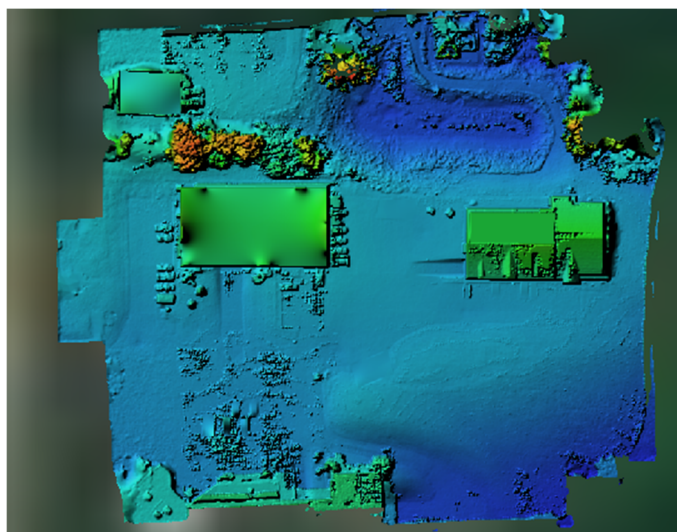


Рис. 5. Итоговая ЦММ

## Результаты

Для того чтобы провести оценку качества и сравнительный анализ были построены ЦММ по данным воздушного лазерного сканирования и по материалам цифровой аэрофотосъемки. Был проведен визуальный и количественный анализ. На рис. 6 представлены цифровые модели местности по разным исходным данным.

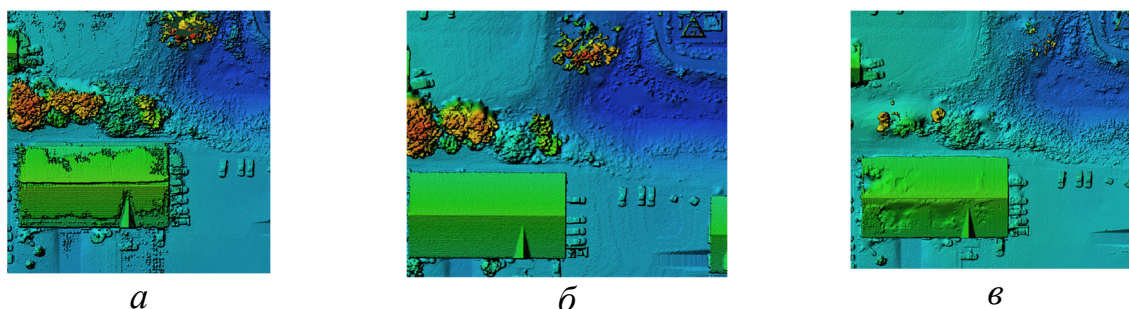


Рисунок 6. Визуальный анализ ЦММ: *а* – по результатам совместной обработки, *б* – по данным воздушного лазерного сканирования, *в* – по данным аэрофотосъемки

При визуальном анализе можно отметить, что ЦММ, полученная по данным воздушного лазерного сканирования, является самой гладкой. При построении с помощью цифровой аэрофотосъемки наблюдаются различные дефекты. ЦММ, построенная путем совмещения данных имеет пустые области, в которых нет информации.

Для сравнения точности была измерена длина крыши здания. Эталонном была выбрана длина, полученная из открытых источников. Самым близким результатом получилось у ЦММ, построенной по цифровой аэрофотосъемке. Измерение длины крыши здания показана на рис. 7.

Результаты свидетельствуют о том, что координаты границ объектов недвижимости по материалам аэрофотосъемки определяются с более высокой точностью за счет отсутствия эффекта переотражения от краев.

Также по всем ЦММ была выполнена оценка разности высот крыши здания и высоты земной поверхности. Было выбрано две точки: одна точка установлена на крыше здания, а вторая на земной поверхности. Вычисление разницы показано на рис.8.

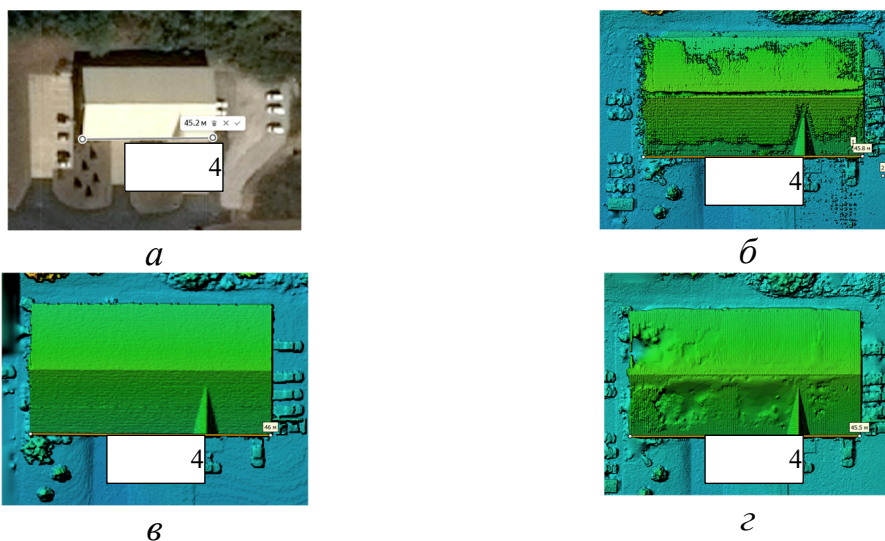


Рис. 7. Измерение расстояния на ЦММ: *а* – онлайн карты, *б* – по совместной обработке, *в* – по данным воздушного лазерного сканирования, *г* – по аэрофотосъемке

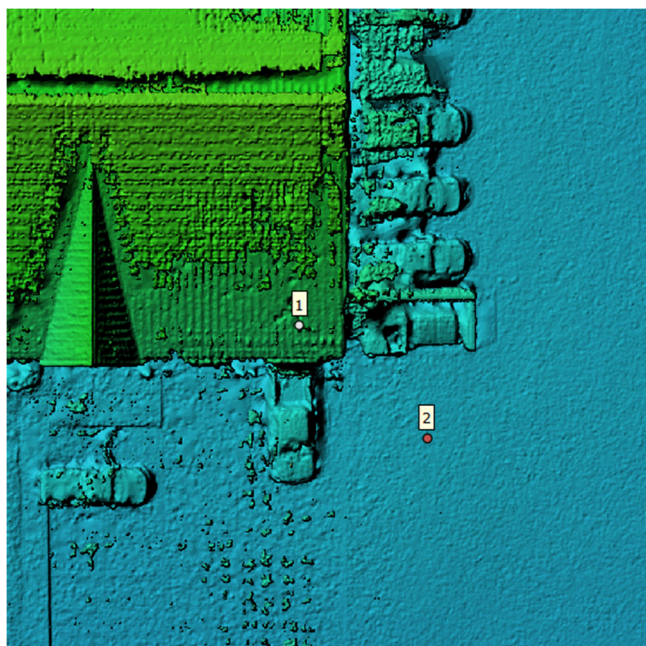


Рис. 8. Вычисление разницы между высотами

В среднем высота двухэтажного здания составляет 7 м. После сравнения разницы высот между тремя ЦММ были получены результаты, приведенные в табл.1.

## Разность высот

ЦММ	Высота крыши, м	Высота земли, м	Разность, мм
ЦММ по совместной обработке	323,922	317,264	6,658
ЦММ по данным воздушного лазерного сканирования	327,693	320,729	6,924
ЦММ по данным аэрофотосъемки	324,326	317,315	7,011

**Заключение**

В данной работе был рассмотрен метод построения цифровой модели местности с помощью совмещения данных воздушного лазерного сканирования и цифровой аэрофотосъемки. По итогу данной работы получилась цифровая модель местности, которая имеет разрешение 3,37 см/пикс и плотность точек в 879 точек/м<sup>2</sup>. Из всех рассмотренных методов наименьшую погрешность определения координат обеспечил метод построения ЦММ по данным цифровой аэрофотосъемки. Помимо точности измерений, проводился анализ скорости обработки данных и времени обработки. Самым быстрым по скорости обработки является создание ЦММ по данным воздушного лазерного сканирования, метод совместной обработки требует больше времени и ресурсов.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Гура Д. А., Петренков Д. В., Самусенко А. В. Перспективы развития создания цифровых моделей местности по данным воздушного лазерного сканирования и цифровой аэрофотосъемки. Лучшая научная статья 2017 : сб. статей XIV Международного научно-практического конкурса (Пенза, 25 декабря 2017 г.). Пенза: Наука и Просвещение, 2017. – С. 215–220.
2. Кушель Р. О. Современные способы построения цифровой модели местности. Традиции, современные проблемы и перспективы развития строительства : сборник научных статей (Гродно, 21–22 мая 2020 г.). Гродно: Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, 2020. – С. 130–132.
3. Новаковский Б. В., Кудрявцев А. В., Энтин А. Л. Использование материалов воздушного лазерного сканирования при картографировании рельефа // Геоинформатика. – 2020. – № 2. – С. 27–34.
4. Описание лидара Zenmuse L1 [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.djimsk.ru/catalog/products/industrial/zenmuse/lidar\\_dji\\_zenmuse\\_l1.html](https://www.djimsk.ru/catalog/products/industrial/zenmuse/lidar_dji_zenmuse_l1.html) (дата обращения 18.03.2024).
5. Ундулганов Д.А. Построение цифровой 3D модели рельефа на примере Алтайского заповедника. Управление объектами недвижимости и развитием территорий: сб. статей международной научно-практической конференции (Саратов, 15 декабря 2017 г.) Саратов: ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2017. – С. 356–360.
6. Выравнивание снимков в Agisoft Metashape [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://geoscan.freshdesk.com/support/solutions/articles> (дата обращения 23.01.2024).
7. Алгоритм Random Forest. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://proglib.io/p/mashinnoe-obuchenie-dlya-nachinayushchih-algoritm-sluchaynogo-lesa-random-forest-2021-08-12> (дата обращения 02.02.2024).

8. Определение полигональной модели [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dgng.pstu.ru/conf2019/papers/85/> (дата обращения 10.02.2024).
9. Бикубическая интерполяция высотных данных [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://prog.bobrodobro.ru/2327> (дата обращения 18.02.2024).
10. Антохина Н.А., Платицина В. В. Создание цифровых моделей рельефа на основе ГИС-технологий. Студенческая наука - взгляд в будущее : материалы XVII Всероссийской студенческой научной конференции (Красноярск, 16–18 марта 2022 г.) Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет. Том Часть 2., 2022. – С. 231–233.

© В. К. Сухотин, 2024