

УДК 004.93

**Ваганов Михаил Александрович,**  
доктор технических наук, профессор,  
Санкт-Петербургский государственный университет  
аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург

**Якимов Александр Николаевич,**  
доктор технических наук, профессор,  
Санкт-Петербургский государственный университет  
аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург

**Анодина-Андриевская Елена Михайловна,**  
кандидат технических наук, доцент,  
Санкт-Петербургский государственный университет  
аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург

**Гарютин Игорь Александрович,**  
старший преподаватель,  
Санкт-Петербургский государственный университет  
аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ОБЛАКОВ ТОЧЕК В MATLAB AUTOMATING POINT CLOUD PROCESSING IN MATLAB

**Аннотация:** В статье представлен обзор возможностей MATLAB для автоматизации обработки облаков точек, полученных с лидара. Рассмотрены основные этапы обработки данных, включая загрузку, фильтрацию, нормализацию и построение цифровых моделей. Особое внимание уделено функциям MATLAB LiDAR Toolbox и их применению в научных и прикладных задачах. Выявлены преимущества и ограничения MATLAB по сравнению с другими программными средствами.

**Abstract:** The article provides an overview of MATLAB's capabilities for automating the processing of point clouds obtained from lidar. The main stages of data processing, including loading, filtering, normalization, and building digital models, are considered. Special attention is paid to the MATLAB LiDAR Toolbox functions and their application in scientific and applied tasks. The advantages and limitations of MATLAB in comparison with other software tools are revealed.

**Ключевые слова:** MATLAB, LiDAR, облака точек, автоматизация, обработка данных, цифровые модели.

**Keywords:** MATLAB, LiDAR, point clouds, automation, data processing, digital models.

### Введение

Обработка данных лидара играет важную роль в решении задач геодезии, экологии, управления земельными ресурсами и других областях. Объем и сложность данных, собираемых с использованием лидара, требуют применения автоматизированных методов обработки. MATLAB предоставляет широкий спектр инструментов для анализа данных, что делает его удобной платформой для работы с облаками точек.

Целью данной статьи является анализ возможностей MATLAB для автоматизации обработки данных лидара, а также оценка его эффективности на различных этапах обработки. Рассматриваются основные функции MATLAB LiDAR Toolbox и их применение для решения практических задач.



### Современные подходы к обработке облаков точек

Традиционно обработка облаков точек выполнялась вручную в таких программных системах, как CloudCompare, QGIS и ArcGIS. Эти подходы требуют значительных временных затрат и ручной настройки параметров, что ограничивает их применение для больших объемов данных. Современные автоматизированные системы позволяют ускорить процесс обработки, повысить точность анализа и минимизировать человеческий фактор.

MATLAB предоставляет мощный инструмент – LiDAR Toolbox, который интегрирует передовые методы анализа данных. В отличие от специализированных пакетов, MATLAB позволяет создавать пользовательские алгоритмы, что особенно важно для научных исследований [1]. Преимущества MATLAB включают поддержку стандартных форматов (LAS, LAZ), встроенные функции для фильтрации и нормализации данных, а также возможности визуализации и построения цифровых моделей (рисунок 1).

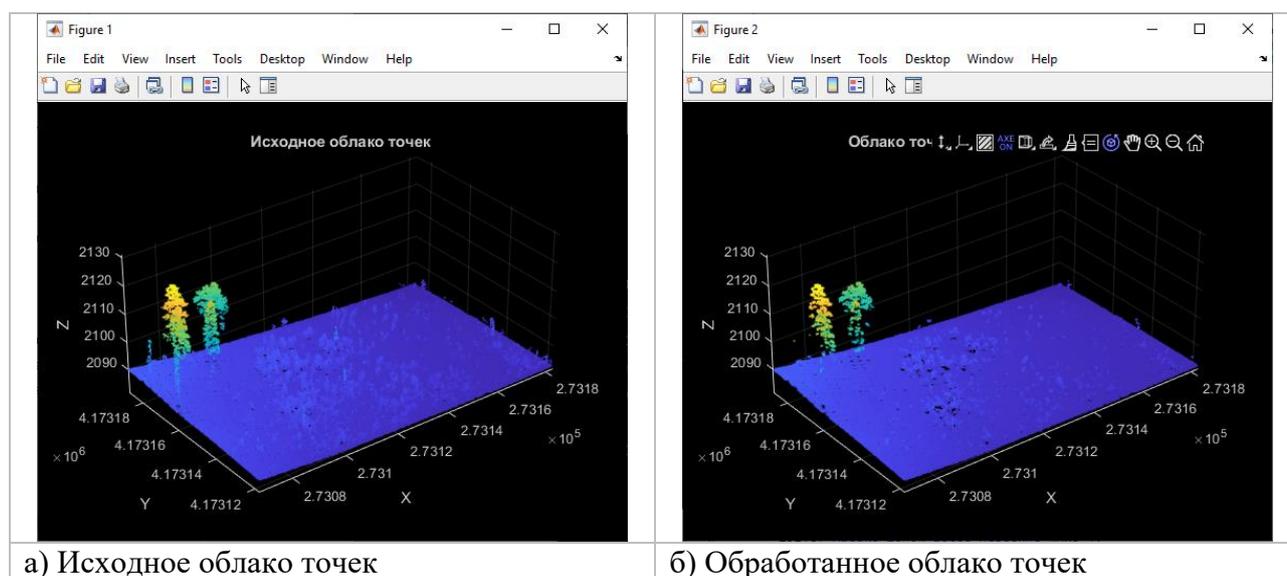


Рисунок 1 – Пример облака точек до и после предобработки

LiDAR Toolbox предоставляет функционал для работы с данными лидара, включая их загрузку, фильтрацию, нормализацию и визуализацию. Этот инструмент поддерживает обработку больших объемов данных и содержит встроенные алгоритмы для классификации точек и построения цифровых моделей. Например, использование `lasFileReader` и `pcdenoise` позволяет эффективно загружать и очищать данные, а функция `pcshow` обеспечивает интерактивную визуализацию облаков точек. MATLAB предлагает возможность создавать скрипты для выполнения всех этапов обработки данных, что минимизирует необходимость ручной работы [2]. Это делает MATLAB незаменимым инструментом для сложных задач, таких как сегментация и классификация. Кроме того, интеграция MATLAB с другими инструментами, такими как Mapping Toolbox, позволяет расширить его применение в области геопространственного анализа.

### Эксперимент по обработке облаков точек в MATLAB

Для эксперимента использовались данные, полученные с беспилотного летательного аппарата, оснащённого лидарной системой Zenmuse L1. Территория исследования представляла собой смешанный лес площадью 10 гектаров с разным рельефом и плотностью растительности.

Обработка данных проводилась в несколько этапов:

1. Загрузка и первичная фильтрация данных с использованием функции `lasFileReader`.
2. Удаление шумов и нормализация координат методом ближайших соседей.



3. Построение цифровой модели поверхности (DSM) и рельефа (DTM).
4. Оценка точности созданных моделей на основе контрольных измерений.

Инструменты MATLAB LiDAR Toolbox использовались для реализации всех этапов обработки, а автоматизация процесса была выполнена с помощью пользовательского скрипта, интегрирующего последовательные этапы анализа [3-4].

Съёмка была выполнена летом, что обеспечило высокую плотность листвы. Данные были сохранены в формате LAZ с плотностью сканирования 50 точек на квадратный метр. Высота полёта беспилотника составила 100 метров.

Загрузка и первичная фильтрация данных выполнялись с помощью lasFileReader. Для удаления шумов использовался алгоритм ближайших соседей, что позволило исключить выбросы и значительно повысить точность. Нормализация координат обеспечила согласование данных с единой системой координат.

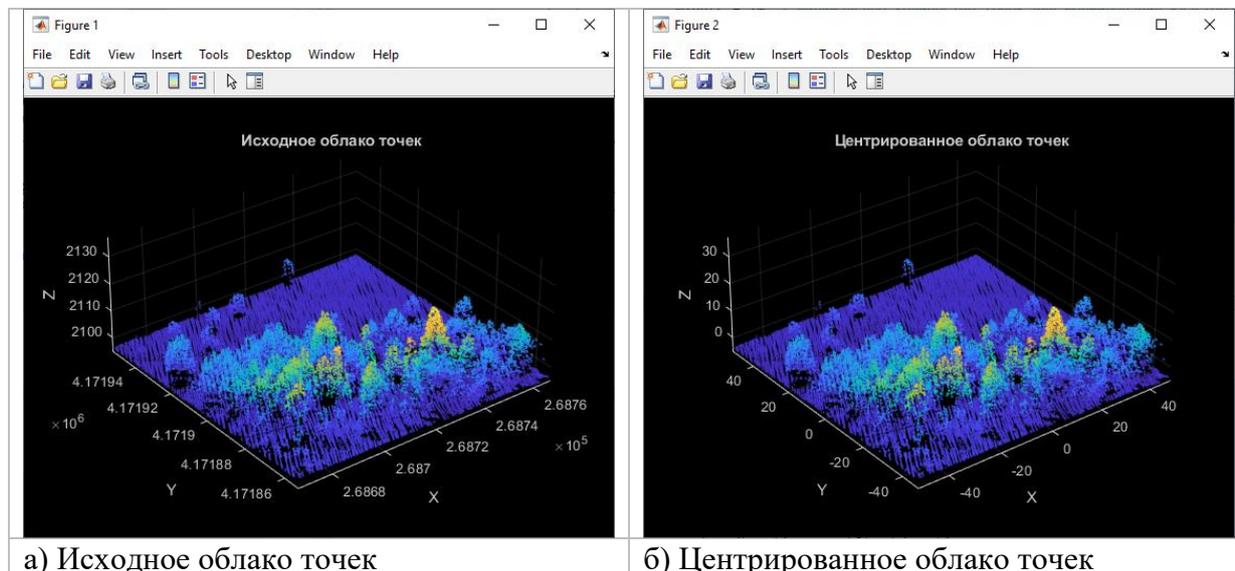
Для создания DSM и DTM применялись функции pc2dem и helperCreateDSM, которые использовали обработанные облака точек для построения высокоточных цифровых моделей. Результаты визуализировались с использованием функции pcsHOW, что позволило детально анализировать полученные модели.

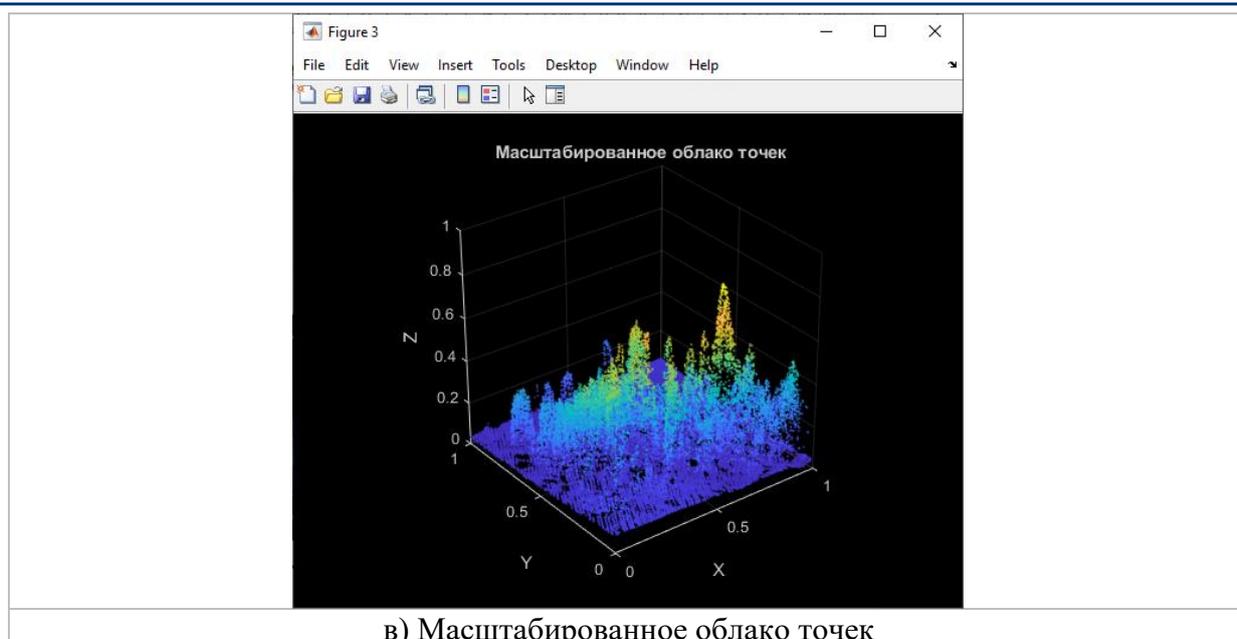
Точность моделей оценивалась по сравнению с контрольными измерениями. Полученные данные показали высокую точность автоматизированной обработки (таблица 1). Средняя ошибка построения DSM составила 5 см, а DTM – 7 см. Время обработки одного облака точек объёмом 2 ГБ составило 15 минут.

Таблица 1

Контрольные измерения

Параметр	Значение
Средняя ошибка DSM	5 см
Средняя ошибка DTM	7 см
Время обработки	15 минут
Объём данных	2 ГБ





в) Масштабированное облако точек  
Рисунок 2 – Пример визуализации облака точек до и после фильтрации

Результаты эксперимента продемонстрировали эффективность MATLAB LiDAR Toolbox для автоматизированной обработки данных лидара. Высокая точность полученных цифровых моделей подтверждает целесообразность использования MATLAB для задач геодезии и анализа рельефа. Использование алгоритмов фильтрации позволило значительно улучшить качество данных, минимизировав влияние шумов [5-6].

Вместе с тем, высокая вычислительная нагрузка на аппаратное обеспечение требует оптимизации при обработке больших объемов данных. Перспективным направлением является интеграция MATLAB с облачными платформами для повышения производительности.

#### **Заключение**

Результаты проведенного исследования подтвердили, что MATLAB является мощным инструментом для автоматизации обработки облаков точек лидара. Применение MATLAB LiDAR Toolbox позволило автоматизировать ключевые этапы, включая фильтрацию, нормализацию и создание цифровых моделей, продемонстрировав высокую точность обработки. Разработанный подход показал эффективность при обработке данных с различной плотностью растительности и сложностью рельефа.

Основным достоинством MATLAB является его гибкость и возможность адаптации под специфические задачи, что делает его универсальным инструментом для научных исследований. Однако ограниченная производительность при обработке больших объемов данных остаётся вызовом, который может быть решён за счёт оптимизации вычислительных процессов и использования облачных технологий. Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой гибридных решений, сочетающих преимущества MATLAB и специализированных платформ.

#### *Список литературы:*

1. Zhang J., Hu J. A review of 3D LiDAR scanning technologies for environmental monitoring // Remote Sensing. 2020.
2. Геоинформационные системы и обработка облаков точек: учебное пособие. – Москва: Издательство «Наука», 2023.



3. Алексеев Е. П. Построение 3D-модели растений // Научно-образовательная среда как основа развития интеллектуального потенциала сельского хозяйства регионов России: Материалы II Международной научно-практической конференции, Чебоксары, 2022. – С. 303-305

4. Qi C. R., Su H., Mo K., Guibas L. J. PointNet: Deep Learning on Point Sets for 3D Classification and Segmentation // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2017.

5. Ненашев В. А., Афанасьева В. И., Залищук А. А. Формирование трехмерных моделей местности на основе лидарной съемки для выявления структурных изменений земной поверхности // Труды МАИ. – 2023. – № 131. – DOI 10.34759/trd-2023-131-15

6. Afanaseva V. I. Creation of 3D terrain models based on lidar survey // Bulletin of the UNESCO department “Distance education in engineering” of the SUAI: Collection of the papers. – St. Petersburg, Issue 8. – St. Petersburg: SUAI, 2023. ISBN 978-5-8088-1825-5

