

УДК 004.93

Киришина Ирина Анатольевна,
кандидат экономических наук, доцент,
Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург

Плотянская Марина Адександровна,
кандидат технических наук, доцент,
Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург

Федченко Владимир Григорьевич,
кандидат технических наук, доцент,
Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург

Афанасьева Виктория Игоревна, аспирант, ассистент
Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ РЕЛЬЕФА НА ОСНОВЕ ЛИДАРНЫХ
ДАНЫХ ДЛЯ СЕЗОННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ
THE STUDY OF RELIEF CHANGES BASED ON LIDAR DATA
FOR SEASONAL ENVIRONMENTAL MONITORING**

Аннотация: В статье рассматривается применение методов лазерного сканирования для сезонного контроля изменений рельефа. Описаны этапы обработки лидарных данных, включая фильтрацию, нормализацию и построение 3D-моделей. Приведены результаты анализа сезонных изменений рельефа и предложены рекомендации по применению данных методов в экологическом мониторинге. Полученные результаты подтверждают эффективность предложенного подхода для выявления структурных изменений на поверхности земли.

Abstract: The article discusses the use of laser scanning methods for seasonal monitoring of terrain changes. The stages of lidar data processing, including filtering, normalization, and 3D model construction, are described. The results of the analysis of seasonal relief changes are presented and recommendations for the application of these methods in environmental monitoring are proposed. The results obtained confirm the effectiveness of the proposed approach for detecting structural changes on the earth's surface.

Ключевые слова: LiDAR, сезонные изменения, лазерное сканирование, 3D-модели.

Keywords: LiDAR, seasonal changes, laser scanning, 3D models.

Введение

Мониторинг изменений рельефа имеет важное значение для экологического контроля, управления территориями и планирования природоохранных мероприятий. Использование технологий лазерного сканирования позволяет получить высокоточные данные о рельефе поверхности земли, что делает возможным создание цифровых моделей местности с высокой детализацией. Однако до сих пор остается актуальной задача адаптации методов обработки лидарных данных для анализа сезонных изменений. Цель настоящего исследования – разработать и протестировать подходы к моделированию изменений рельефа на основе



лидарных данных с учетом сезонности. Задачи исследования включают сбор и обработку данных, построение 3D-моделей рельефа и их сравнительный анализ для выявления сезонных изменений.

Методы исследования

Для выполнения исследования был выбран участок с неоднородным рельефом и различной плотностью растительности. Данные были собраны с использованием беспилотного воздушного судна, оснащенного лидарной системой Zenmuse L1, выбор оборудования обоснован высокой точностью измерений и возможностью интеграции с RTK-системами для уточнения пространственных координат.

Съемка проводилась в течение года в четыре сезона. Для каждого полета устанавливались одинаковые параметры высоты (100 м), плотности сканирования и скорости движения. Данные сохранялись в формате LAZ, который обеспечивает высокую компрессию без потери информации.

Процесс обработки данных состоял из нескольких этапов. На первом этапе проводилась фильтрация исходных данных. Для удаления шумов применялся метод ближайших соседей, который позволяет исключить выбросы, вызванные помехами и ошибками измерений. На следующем этапе выполнялась нормализация координат точек, что включало приведение всех данных к единой системе координат и устранение смещений, вызванных изменением положения БПЛА.

После этого осуществлялось построение 3D-моделей рельефа для каждого сезона. Для визуализации и анализа использовался инструмент MATLAB LiDAR Toolbox, который предоставляет функции для обработки облаков точек, включая сегментацию и построение цифровых моделей поверхности. Полученные модели анализировались с помощью алгоритмов расчета разностей высот [1-3]. Наложение моделей позволяло выявить изменения, связанные с сезонными факторами, такими как рост растительности или размыв почвы (рисунок 1).

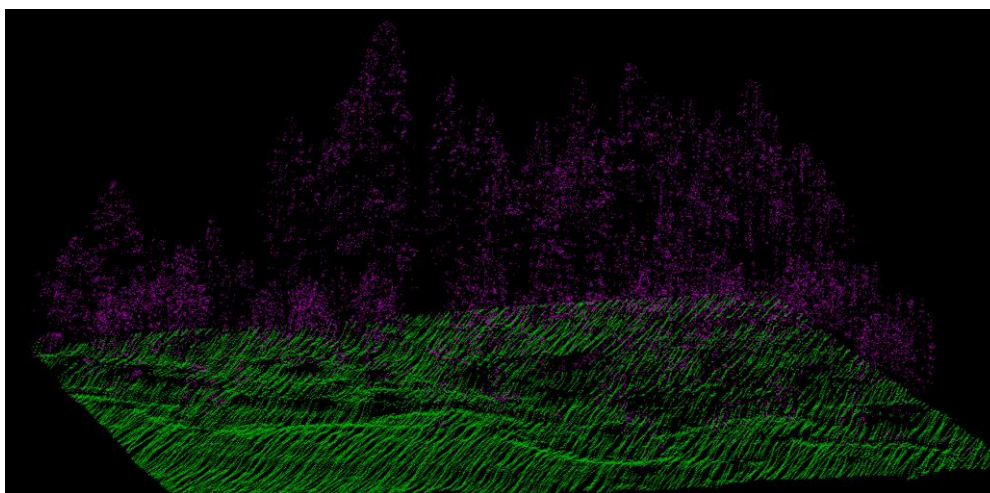


Рисунок 1 – Этапы обработки данных в MATLAB

Дополнительно проводился анализ плотности точек для оценки качества съемки в различных условиях [4]. Для повышения достоверности результатов использовались вспомогательные данные, включая снимки с RGB-камеры, установленные на БПЛА. Это обеспечивало возможность сопоставления данных лазерного сканирования с визуальной информацией.



Эксперимент по анализу сезонных изменений рельефа

В ходе эксперимента была проведена обработка данных, собранных на территории, охватывающей лесные массивы, открытые поля и участки с холмистым рельефом. Для каждой сезонной съемки была построена 3D-модель рельефа, которая позволила детально проанализировать изменения, вызванные природными и антропогенными факторами (таблица 1).

Весенние данные показали значительное увеличение уровня воды в низинных участках, что связано с сезонным таянием снега. Наблюдались также изменения структуры поверхности в местах размыва почвы. Построенные модели позволили выделить зоны с наиболее интенсивными изменениями высот, что было подтверждено наложением моделей весны и зимы [5-6].

Летняя съемка продемонстрировала максимальный рост растительности, что привело к увеличению плотности облаков точек в лесных массивах. Отраженная интенсивность сигналов была выше, что объясняется улучшенной отражающей способностью листового покрова.

Осенний анализ выявил снижение плотности растительности из-за опадения листьев. Это позволило лучше оценить рельеф поверхности под растительностью, а также зафиксировать изменения, связанные с размывом почвы из-за дождей [7].

Зимние данные показали сокращение высотных различий из-за снежного покрова. Однако качество съемки снизилось из-за слабой отражающей способности снега, что отразилось на плотности облаков точек (рисунок 2-3).

Таблица 1

Результаты эксперимента

Параметр	Весна	Лето	Осень	Зима
Средняя высота (м)	10.5	11.2	10.8	10.0
Плотность точек (точ/м ²)	48	50	47	45
Основные изменения	Размыв	Рост	Снижение	Снег

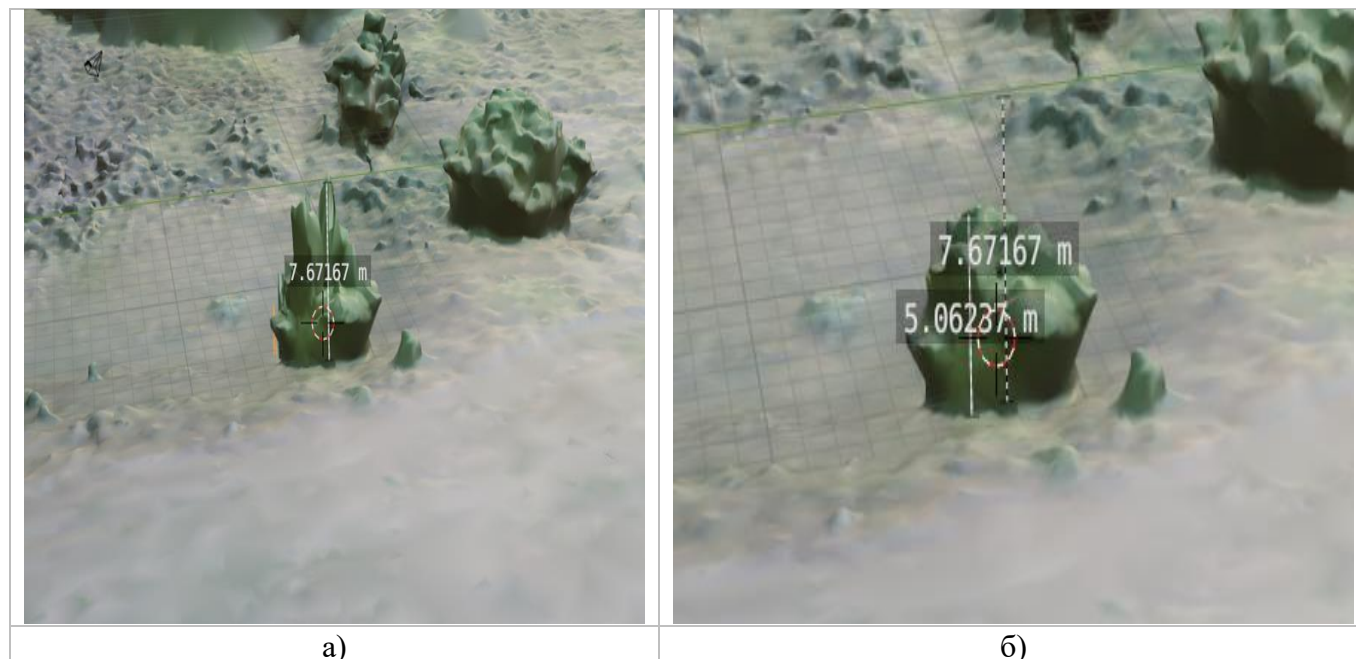


Рисунок 2 – Отличие между двумя трехмерными моделями



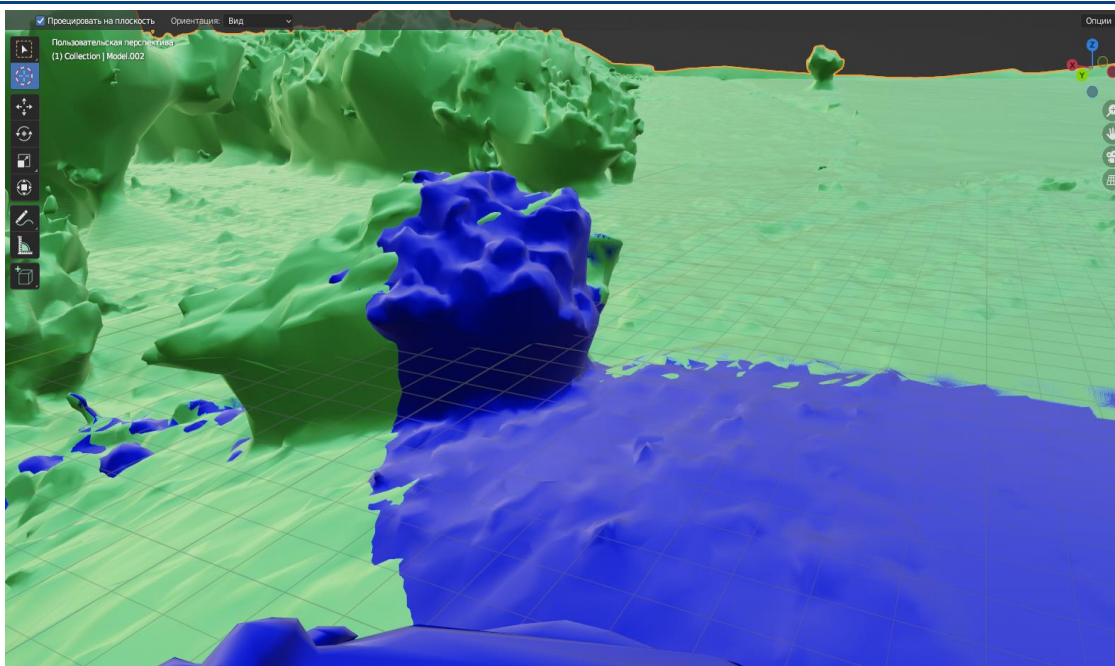


Рисунок 3 – Карта изменений рельефа между весной и летом.

Полученные результаты демонстрируют высокую эффективность применения лидарных данных для анализа изменений рельефа в различных сезонных условиях. Наиболее значительные изменения фиксировались в весенний и летний периоды. Весной выявлены зоны с размывом почвы, что подчеркивает важность мониторинга эрозионных процессов. Летние данные показали максимальное увеличение плотности растительности, что позволяет оценить динамику роста биомассы [8]. Осенний сезон был отмечен снижением высоты растительности, что облегчило оценку рельефа под растительным покровом. Зимой наблюдалось снижение качества съемки из-за снега, но данные все же позволили выявить ключевые изменения рельефа.

Сравнение моделей между сезонами дало возможность определить зоны с наиболее интенсивными изменениями. Это особенно важно для разработки стратегии управления природными территориями и прогнозирования возможных негативных последствий, связанных с изменениями климата или антропогенным воздействием. Результаты эксперимента подтверждают целесообразность использования лазерного сканирования для мониторинга рельефа, а также необходимость интеграции дополнительных методов, таких как использование спутниковых снимков.

Заключение

В ходе исследования была подтверждена эффективность использования лидарных данных для мониторинга сезонных изменений рельефа. Построенные 3D-модели показали высокую детализацию изменений, вызванных природными процессами, такими как эрозия почвы, рост и снижение растительности, а также накопление снега. Предложенная методика обработки данных обеспечивает точность и надежность анализа, позволяя автоматизировать выявление ключевых изменений рельефа.

Основными результатами исследования являются:

- Выявление сезонных особенностей изменений рельефа, включая весенний размыв почвы и летний рост биомассы.
- Подтверждение значимости лидарных данных для анализа экологических процессов.
- Возможность интеграции данных лазерного сканирования с другими источниками для повышения точности прогнозов.



Перспективы дальнейших исследований связаны с улучшением методов обработки данных, внедрением алгоритмов машинного обучения для автоматической классификации изменений рельефа, а также расширением применения предложенного подхода на другие территории с учетом локальных особенностей ландшафта.

Список литературы:

1. Ненашев В. А., Афанасьева В. И., Залищук А. А [и др.]. 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
2. 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
3. Ненашев В. А. Комплексирование разнородной информации от лидара и камеры в бортовой авиационной системе наблюдения за земной поверхностью // Обработка, передача и защита информации в компьютерных системах 23: Сб. докладов Третьей Международной научной конференции. – Санкт-Петербург: ГУАП, 2023. – С. 188–195
4. Рыжков К. А., Горина А. В., Нестеренко И. В. Возможности использования беспилотных летательных аппаратов в геодезических работах // Геодезия и картография. – 2019. – № 1. – С. 83-87
5. Чибуничев А. Г., Гук А. П. Фотограмметрия: вчера, сегодня, завтра // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2016. – № 2. – С. 3-9
6. Луманн Т., Робсон С., Кайл С. Ближняя фотограмметрия и 3D-зрение / Пер. В. А. Князя, В. В. Князя. – Санкт-Петербург, 2018. – 704 с.
7. Афанасьева В. И., Залищук А. А., Ненашев В. А [и др.]. Эксперименты по контролю количества объектов на поверхности на основе обработки лазерных данных и методов распознавания с борта малых летательных аппаратов // Инновационное приборостроение. – 2024. – Т. 3, № 1. – С. 28-35. DOI: 10.31799/2949-0693-2024-1-28-35
8. Парамонова А. С., Жилияков П. В. Итеративный алгоритм ближайших точек для визуализации облака 3D точек // Интеллектуальные системы, управление и мехатроника – 2022: материалы VIII Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. – Севастополь, 2022. – С. 147-150

