

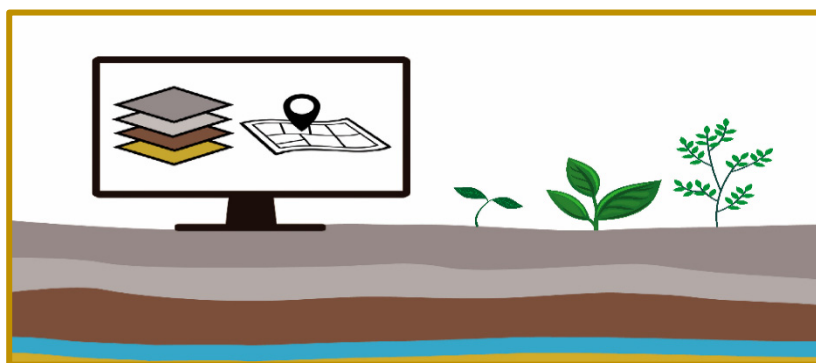


БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ГЕОГРАФИИ И ГЕОИНФОРМАТИКИ
Кафедра почвоведения и геоинформационных систем
БЕЛОРУССКОЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО

ПОЧВЕННЫЕ И ЗЕМЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ: ТРАДИЦИОННЫЕ И ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К ИЗУЧЕНИЮ И УПРАВЛЕНИЮ

Материалы
международной научно-практической конференции,
посвященной 90-летию образования кафедры
почвоведения и геоинформационных систем БГУ
и 85-летию со дня рождения
доктора географических наук,
профессора В. С. АНОШКО

Минск, 21–24 сентября 2023 г.



Научное электронное издание

МИНСК, БГУ, 2023

ISBN 978-985-881-535-6

© БГУ, 2023

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗДУШНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ ФОРМАЦИЙ

А.М. Гафуров, Б.М. Усманов

*Казанский федеральный университет, ул. Товарищеская 5,
Казань, Россия, email: amgafurov@kpfu.ru*

Мониторинг экзогенных процессов на участках, покрытых лесными формациями, является принципиально отличающейся задачей от такового на непокрытых лесом территориях. В статье описывается использование воздушного лазерного сканирования (ВЛС) и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для мониторинга опасных экзогенных процессов, таких как овражная эрозия и оползни, на территориях, покрытых лесом. Эксперименты проводились на двух ключевых участках в Республике Татарстан, и результаты показали, что эти технологии позволяют успешно производить съемку рельефа даже на полностью залесенных участках. Это открывает новые возможности для мониторинга и предупреждения опасных экзогенных процессов в сложных лесных условиях.

Ключевые слова: воздушное лазерное сканирование; беспилотные летательные аппараты; мониторинг экзогенных процессов; овражная эрозия; оползни; лесные территории; дистанционное зондирование

Мониторинг опасных экзогенных процессов на территориях, покрытых лесом, представляет значительные трудности. Прежде всего, плотный лесной покров затрудняет визуальное обнаружение таких процессов, как овражная эрозия и оползневые процессы. Кроме того, сезонность и изменчивость погодных условий могут значительно влиять на активность и видимость этих процессов, что усложняет их систематический мониторинг [1]. Некоторые лесные территории могут быть удалены или труднодоступны, что делает процесс мониторинга затратным или даже невозможным. Наконец, несвоевременное обнаружение и контроль опасных экзогенных процессов может привести к серьезному вреду для биоразнообразия лесных экосистем [2].

Для решения вышеупомянутых проблем можно использовать ряд подходов. Технологии дистанционного зондирования Земли, включая спутниковые изображения и дроны [3], могут помочь обнаружить изменения в ландшафте и покрове растительности, указывающие на активность экзогенных процессов. Внедрение технологий Интернета вещей (IoT), включая установку сети датчиков, может обеспечить непрерывный мониторинг и своевременное обнаружение таких процессов. Создание систем предупреждения может также способствовать своевременному обнаружению и контролю экзогенных процессов.

Эти системы могут анализировать данные, полученные от датчиков и дистанционного зондирования, и предупреждать о возможных опасностях. Наконец, важность систематического исследования и мониторинга этих процессов не может быть недооценена. Они помогут ученым лучше понять природу и механизмы этих процессов, что, в свою очередь, может помочь разработать более эффективные стратегии их контроля.

Лидарная съемка (Light Detection and Ranging) является современной технологией дистанционного зондирования, которая обладает значительным потенциалом для мониторинга опасных экзогенных процессов на лесных территориях. Эта технология использует излучение лазерных импульсов и анализ отраженного света для измерения расстояния от датчика до объектов, что позволяет создавать детальные трехмерные изображения поверхности Земли. Создание трехмерных моделей ландшафта является одним из ключевых преимуществ лидарной съемки [4]. Эти модели обеспечивают детальное представление о топографии, что позволяет обнаруживать изменения, связанные с экзогенными процессами, такими как оползни и эрозия почвы. Лидарный луч способен проникать сквозь вегетационный покров, предоставляя данные о поверхности земли под деревьями и кустарниками. Эта особенность особенно важна при мониторинге лесных территорий, где визуальное наблюдение может быть затруднено плотным растительным покровом. Лидарная съемка обеспечивает высокую пространственную точность и разрешение, позволяя отслеживать детальные изменения в топографии с течением времени. Это позволяет своевременно обнаруживать даже небольшие изменения в ландшафте, которые могут быть признаками активации опасных экзогенных процессов [5]. В рамках пилотных проектов по организации мониторинга экзогенных форм на ряде ключевых участков были проведены работы с использованием воздушного лазерного сканирования с беспилотных летательных аппаратов.

Для проведения работ были выбраны два участка. Первый – лесной участок карбонового полигона «Карбон-Поволжье», расположенный в Зеленодольском район Республики Татарстан. Данный участок представляет собой эталонную систему, расположенную на осложненном оврагами рельефе. Второй участок расположен в Тетюшском районе Республики Татарстан. Участок расположен на правом берегу р. Волги и осложнен оползневыми формами блокового типа (Рис. 1).

Работы по оценке интенсивности экзогенных процессов можно разделить на два этапа: полевой и камеральный. Работы проводились с использованием беспилотного летательного аппарата (БЛА) Геоскан 401, оснащенного воздушным лазерным сканером (ВЛС) АГМ МС-1.200. Для обеспечения точного определения координат на ключевом участке 1 использовалась базовая станция ЕАОЗ Астрономической обсерватории им. В.П. Эн-

гельгардта КФУ. Для участка 2 была установлена базовая станция с использованием приемника ГНСС E-Survey E300PRO и определены ее координаты. Погрешность определения координаты базовой станции составила 0.006 м по широте, 0.004 м по долготе и 0.017 м во высоте. Сканирование с БПЛА осуществлялось в обоих случаях согласно единой методике – высота сканирования – 150 м относительно рельефа, продольное и поперечное перекрытие соседних галсов составило 70 % и 50 %, соответственно.

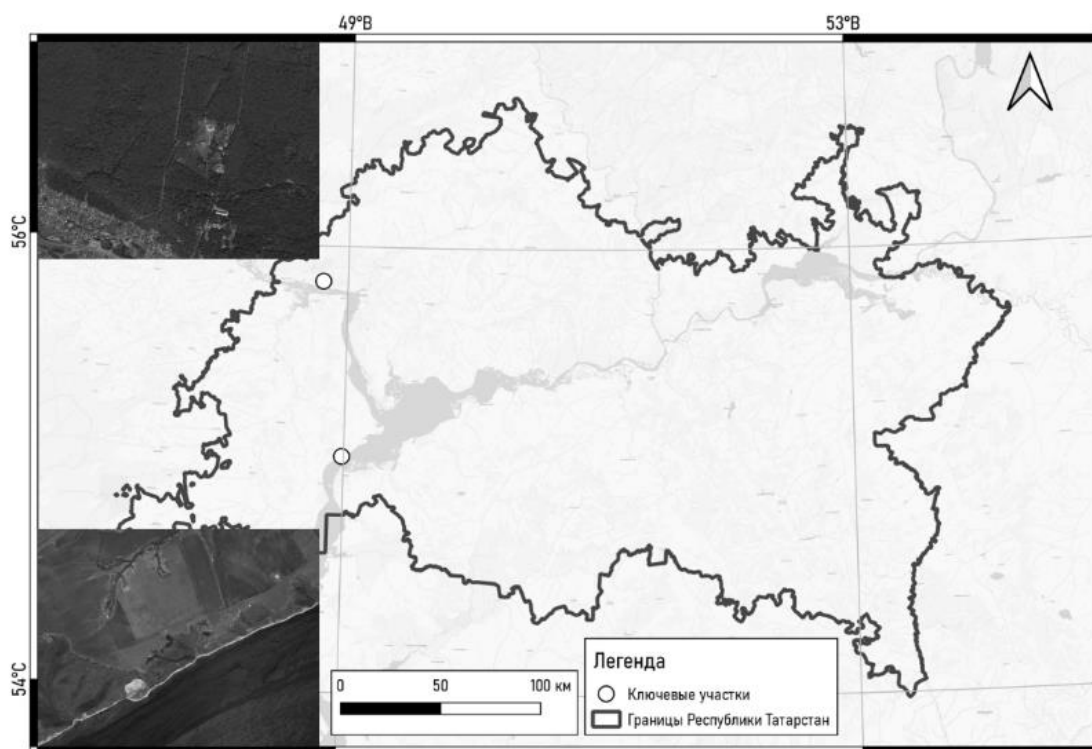


Рис. 1. Расположение ключевых участков сканирования

Камеральная обработка результатов сканирования производилась в два этапа. На первом этапе производилось уравнивание траекторий полета БЛА относительно базовой станции и конвертация облаков точек в обменный формат LAS в программном обеспечении (ПО) ScanWorks Pro. На втором этапе с использованием ПО Lidar360 была произведена процедура удаления шумов, отдельных выбросов, выравнивание облаков точек различных галсов относительно друг друга с использованием траекторий полета БПЛА. Очищенные облака точек классифицировались на основные классы «земля», «растительность», «строения» и т.д., после чего строились цифровые модели рельефа по облакам точек с классом «земля».

В результате были проведены установочные мероприятия по организации мониторинговой сети опасных экзогенных процессов с использованием ВЛС с БЛА на покрытых лесом территориях. Погрешность определения координат сканирования в большинстве своем не превышает

2 мм (Рис. 2). В результате обработки результатов сканирования были получены ЦМР на оба залесенных участка (Рис. 3–4).

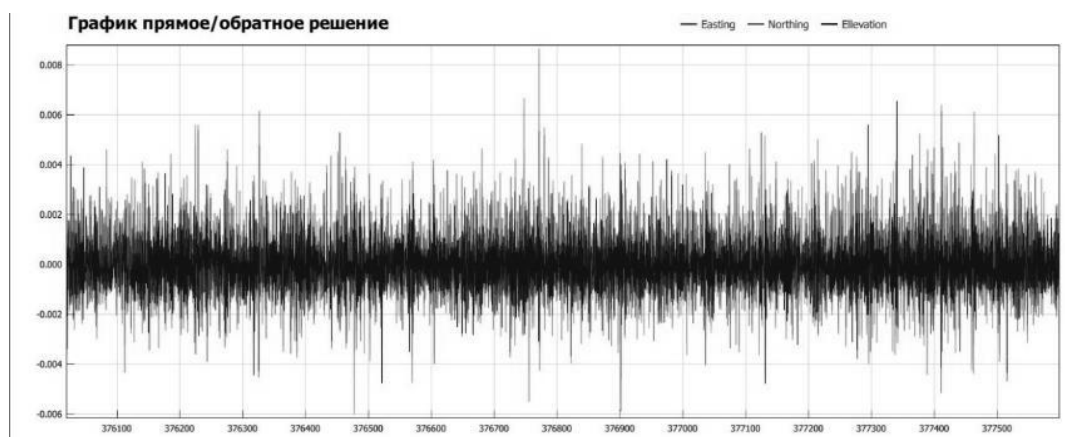


Рис. 2. График погрешности определения координат сканирования

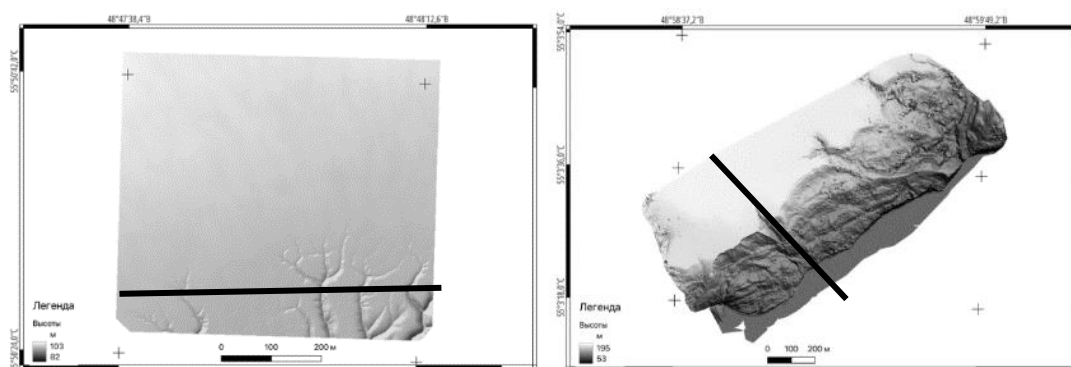


Рис. 3. ЦМР на овражный участок (слева) и оползневой участок (справа) с нанесенными профилями

Использование ВЛС позволило организовать мониторинговую сеть экзогенных процессов на примере двух ключевых участков, расположенных в Республике Татарстан. Использование ВЛС с БЛА позволило успешно производить съемку рельефа на полностью залесенных участках, что невозможно при использовании фотограмметрии. Стоит отметить, что точность позиционирования во время сканирования позволяет производить съемку без дополнительного обоснования и необходимости в установке реперных точек при съемке таких крупных форм, как овраги и оползни. Перспективы съемки объектов, подверженных почвенной эрозии еще предстоит выяснить, но, как показал опыт проведения аналогичных работ с использованием наземного лазерного сканирования, точность позиционирования разновременных съемок является принципиально важной метрикой и, на наш взгляд, работы по съемке эрозионных форм рельефа на пашне будут требовать установки дополнительных опорных знаков [6].

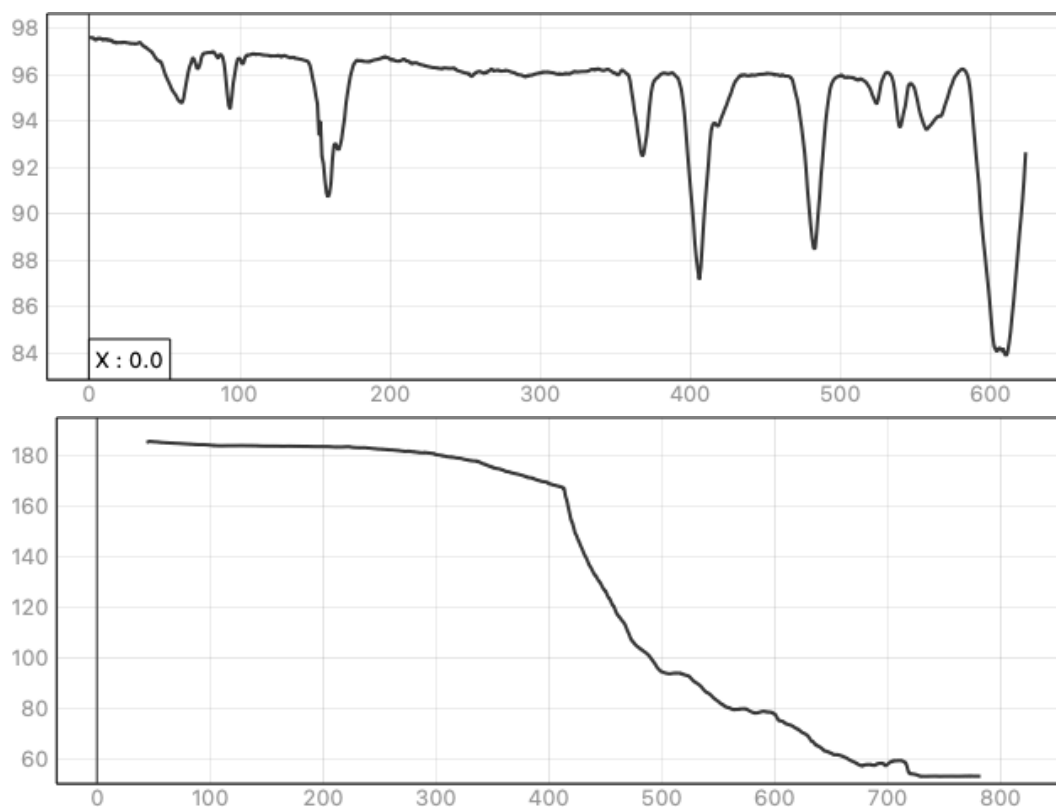


Рис. 4. Профили на основных характерных элементах овражного (сверху) и оползневого (снизу) участков

Благодарности: Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности, проект № FZSM-2022-0003.

Библиографические ссылки

1. Comparison of IKONOS and QuickBird images for mapping mangrove species on the Caribbean coast of Panama / L. Wang [et al.] // *Remote Sensing of Environment*. 2004. № 3–4 (91). P. 432–440.
2. Review of methods of small-footprint airborne laser scanning for extracting forest inventory data in boreal forests / J. Hyypä [et al.] // *International Journal of Remote Sensing*. 2008. № 5 (29). P. 1339–1366.
3. Gafurov A. The Methodological Aspects of Constructing a High-Resolution DEM of Large Territories Using Low-Cost UAVs on the Example of the Sarycum Aeolian Complex, Dagestan, Russia // *Drones*. 2021. № 1 (5). P. 7.
4. Effects of Topographic Variability and Lidar Sampling Density on Several DEM Interpolation Methods / Q. Guo [et al.] // *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 2010. № 6 (76). P. 701–712.
5. Anderson K., Gaston K. J. Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology // *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2013. № 3 (11). P. 138–146.
6. Yermolaev O. P., Gafurov A. M., Usmanov B. M. Evaluation of Erosion Intensity and Dynamics Using Terrestrial Laser Scanning // *Eurasian Soil Science*. 2018. № 7 (51). P. 814–826.