



Мониторинг постселевых изменений русла с применением БПЛА

З. Ж. Гергокова

Высокогорный геофизический институт, Нальчик, Россия

e-mail: zayna.gerg@mail.ru

Разработка, адаптация и совершенствование методов и алгоритмов получения, обработки и комплексного использования данных ближнего дистанционного зондирования Земли с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и современного программного обеспечения (ПО) является актуальной задачей при разработке информационных моделей объектов мониторинга потенциальной опасности. Настоящее исследование демонстрирует реализацию цифровых методов мониторинга опасных природных процессов в русле горной реки. В результате обработки данных созданы ортофотопланы и цифровые модели исследуемого участка. Дана количественная оценка объема денудации и аккумуляции грунта вследствие пропуска руслом селевого потока. Результаты находят свое применение при разработке мер по защите населенных пунктов и объектов инфраструктуры от негативного воздействия опасных природных процессов.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, селевой поток, русло, ортофотоплан, цифровая модель, ландшафт

Monitoring post-torrential riverbed changes using UAV technology

Z. Zh. Gergokova

High-Mountain Geophysical Institute, Nalchik, Russia

The development, adaptation, and improvement of methods and algorithms for obtaining, processing, and integrated use of near-Earth remote sensing data using unmanned aerial vehicles (UAVs) and modern software (SW) is an urgent task in the development of information models for monitoring potential hazards. This study demonstrates the implementation of digital methods for monitoring hazardous natural processes in a mountain riverbed. As a result of data processing, orthophotos and digital models of the study area have been created. The study quantifies of denudation and soil accumulation caused by the passage of a mudflow through the riverbed. The results are used in the development of measures to protect settlements and infrastructure facilities from the negative effects of hazardous natural processes

Keywords: Unmanned aerial vehicle, mudflow, riverbed, orthophotoplane, digital model, landscape

Введение

Исследования, направленные на совершенствование методики мониторинга опасных природных явлений для оценки динамики и рисков пространственно-временных изменений морфометрических параметров ландшафта, являются актуальными и соответствуют проблематике совершенствования методов комплексного мониторинга опасных русловых и склоновых процессов в горной и высокогорной зонах.

На сегодняшний день опыт показывает, что наземные исследования в горах не могут обеспечить должный уровень точности оценки пространственно-временных изменений морфометрических параметров объектов мониторинга. Авиационные исследования требуют значительных затрат и в последние годы стали крайне затруднительны. Появление общедоступных ресурсов спутниковой информации облегчило ситуацию (Воскресенский, 2018), однако даже при наличии снимков необходимого разрешения и периодичности точно оценить количественные изме-

нения в рельефе наблюдаемых территорий невозможно. В связи с этим использование материалов, полученных с применением БПЛА (Атутова, 2018; Балтакова, 2018; Бляхарский, 2019) и соответствующего программного обеспечения (ПО), является наиболее подходящим вариантом исследования потенциально опасных зон ландшафта в горных и высокогорных районах.

Регулярные высокоточные съемки рельефа с использованием специализированного оборудования, привязанные к определенной системе координат, позволяют создавать детализированные цифровые модели местности. Такие модели дают возможность проводить сравнительный анализ и точно оценивать изменения ландшафта во времени. В частности, программный комплекс Agisoft Metashape Professional позволяет создавать геопривязанные ортофотопланы с минимальными искажениями, точно отражающие морфометрические характеристики объекта (Докукин, 2021; Ерофеев, 2018; Коновалова, 2010).

Для цитирования: Гергокова З. Ж. Мониторинг постселевых изменений русла с применением БПЛА // Вестник геонаук. 2025. 8(368). С. 9–13. DOI: 10.19110/geov.2025.8.2

For citation: Gergokova Z. Zh. Monitoring post-torrential riverbed changes using UAV technology. Vestnik of Geosciences, 2025, 8(368), pp. 9–13. DOI: 10.19110/geov.2025.8.2

Представленное исследование демонстрирует возможности использования разновременных съёмок с БПЛА в оценке последствий селепроявлений в русле реки. Результаты представлены на примере количественной оценки изменений параметров прирусловой зоны р. Нальчик при накоплении наносов, а также выносе грунта.

Методы

Исследование проводилось на участке русла р. Нальчик в районе н. п. Хасанья, в пригороде г. Нальчика Кабардино-Балкарской Республики до и после прохождения мощного селевого потока низкой плотности ($1100\text{--}1500\text{ кг/м}^3$) (Виноградов, 2008), вызванного продолжительными интенсивными ливневыми осадками. Цель работы заключалась в количественной оценке морфометрических параметров селевого русла и прилегающей территории до и после события с использованием визуальных дешифровочных признаков ортофотопланов.

С помощью беспилотного летательного аппарата DJI Mavic Air 2 были получены снимки, по которым оценивалась динамика изучаемого процесса. Съёмка производилась дважды — 29 мая, до прохождения селе, и 1 июля, на следующий день после схода потока, по одинаковому маршруту, примерно в 12 часов дня. Высота полетов — $60\text{--}70\text{ м}$ в соответствии нормативно-техническими документами: в части использования БПЛА для мониторинга отдельно расположенных объектов — ГОСТ Р 70611—2022; в части картографической обработки результатов — ГОСТ Р 70174—2022. Площадь покрытия территории аэрофотосъёмкой составила 302 тыс. м^2 . Для обработки материалов съёмок использовано программное обеспечение Agisoft Metashape Professional. В качестве исходных данных использовалось плотное облако точек. Его классификация выполнялась в автоматическом режиме. Полученные цифровые модели рельефа (ЦММ) представлены в растровом формате, где высота каждой точки задаётся в пикселях. Следующий этап, камеральный, включал обработку полученных исходных фотоматериалов по методам фототриангуляции и полуглобального метода отождествления соответствующих точек. Для этого проекта было построено облако из более чем 104 млн точек, которые были использованы для создания цифровой модели местности и ортофотопланов обследуемой территории с целью определения количественных характеристик морфометрических параметров объекта до и после события или через определенный промежуток времени. На построенных ортофотопланах путём визуального дешифрирования аэрофотоснимков были выбраны два сектора (полигона) русла реки с наиболее выраженными ландшафтными изменениями, предполагающими возможность возникновения чрезвычайных ситуаций. На основе полученных данных на каждом из выбранных участков определялся объем унесенного грунта (в случае разрушения автодороги) и объем отложений наносов в русле. Базовой плоскостью, выше и ниже которой рассчитывается объем в программе, определяла аппроксимирующая плоскость ЦММ, которая вычислялась путём аппроксимации значений высот ячеек моделей, которые находятся в области построения

аппроксимирующих плоскостей. Область аппроксимации рассчитывалась автоматически и зависела от величины максимальной разницы значений высот смежных ячеек моделей, разграниченных линией, к которой применялся инструмент. Аппроксимирующая плоскость рассчитывалась на основе нарисованных вершин полигона на уровне, заданном по точкам местности в прирусловой зоне, не подвергшимся воздействию селевого потока.

Использование БПЛА «любительского» класса сопряжено с определенными трудностями, связанными с техническими ограничениями оборудования и программного обеспечения. Например, камера БПЛА DJI MavicAir 2 подвержена значительной дисторсии, что снижает качество снимков и ограничивает область использования для создания стереопар. Кроме того, растительность и тени на снимках могут создавать помехи при обработке данных, приводя к неточностям в определении рельефа и, как следствие, к погрешностям в расчетах (Биличенко, 2018; Останин, 2019). В данной работе программная обработка данных в части минимизации искажений проводилась с использованием специализированной фотограмметрической программы Agisoft Metashape Professional методом трансформирования снимков, т. е. фотографического цифрового преобразования. Оно устраняет искажения, вызванные рельефом местности и углами наклона, путем приведения их к заданному масштабу и фильтрации, т. е. устранения помех или шумов, присутствующих на изображениях, а также замены значений яркости каждой точки другим значением, менее искаженным, с использованием линейных сглаживающих фильтров, которые уменьшают «резкие» переходы уровней яркости. Такая обработка, даже с учетом помех в виде растительности и теней, дает погрешность в диапазоне $1.5\text{--}4\%$. Для исследований, подобных приводимым в статье, по нашему мнению, эти значения можно считать приемлемыми, а точность достаточной.

Результаты и обсуждение

Ниже на рис. 1 показан общий ортофотоплан русла р. Нальчик после прохождения наносоводного селе, включающий в себя оба участка (полигона), для которых проводились расчеты.

Участок разрушения автодороги (полигон 1). В месте разрушения дороги пространство ниже аппроксимирующей плоскости, согласно расчетам, до селе составляло 17.8 тыс. м^3 , а после — 22.1 тыс. м^3 . Это означает, что селевой поток размыл и унес 4.3 тыс. м^3 грунта, что и привело к повреждению дорожного полотна (рис. 2).

Участок, прилегающий к автодорожному мосту ниже по течению реки (полигон 2). В зоне выше моста до прохождения селевого потока объем отложений ниже базовой плоскости составлял 11.6 тыс. м^3 . После прохождения потока этот объем уменьшился до 7 тыс. м^3 . Таким образом, на участке отложилось 4.6 тыс. м^3 материала, принесенного селевым потоком, выше текущего уровня воды (рис. 3).

Таким образом, путем проведения разновременной съемки и последующего геоморфометрического моделирования на основе полученных данных, опера-



Рис. 1. Общий вид ортотрансформированного плана русла р. Нальчик после прохождения селя:

1 — полигон, участок разрушения автодороги; 2 — полигон, участок отложения наносов

Fig. 1. General view of the ortho-transformed plan of the Nalchik riverbed after the mudflow:

1 — polygon, area of road destruction; 2 — polygon, area of sediment deposition



Рис. 2. Участок автодороги, прилегающий к руслу р. Нальчик, разрушенный наносоводным селем

Fig. 2. Section of the highway adjacent to the Nalchik riverbed, destroyed by a mudflow



Рис. 3. Наносы в русле р. Нальчик на территории, прилегающей к автодорожному мосту

Fig. 3. Sediments in the Nalchik riverbed in the area adjacent to the highway bridge

тивно и с высоким уровнем достоверности получены сведения о трансформации русла реки Нальчик после прохождения по нему наносоводного селя.

Выводы

В рамках ведения мониторинга селеносного русла р. Нальчик на основе материалов разновременных обследований в данной работе были реализованы методы и алгоритмы получения, обработки и комплексного использования данных ближнего дистанционного зондирования Земли с помощью БПЛА и соответствующего ПО. В результате обработки данных созданы ортофотопланы и цифровые модели исследуемых сегментов русла до и после пропуска им селевого потока. Определены объемы: денудации прируслового участка, включающего в себя фрагмент разрушенной селом автодороги протяженностью более 70 метров, который составил порядка 4.3 тыс. м³; а также объем селевых отложений в русле на участке, прилегающем к автодорожному мосту выше по течению реки, который составил порядка 4.6 тыс. м³. В будущем переносы грунта и горных пород подобного объема могут повлиять на гидрологический режим района исследований: изменение русла р. Нальчик, её паводковый режим.

Результаты исследования демонстрируют высокую эффективность применения БПЛА и специализированного ПО для оперативной и точной оценки изменений природных объектов во времени и пространстве. Получаемые количественные данные о морфометрических параметрах потенциально опасных природных процессов способствуют повышению эффективности оценки рисков их возникновения, разработки оперативных мероприятий и проектирования защитных сооружений. В целом использование описанной методики представляется наиболее удачным на сегодняшний день инструментом для ведения оперативного и комплексного мониторинга локальных участков горных территорий, подверженных негативным природным явлениям.

Литература / References

Атутова Ж. В. Опыт применения дистанционных данных при изучении восстановительной динамики геосистем // Применение беспилотных летательных аппаратов в географических исследованиях: Материалы Всерос. науч.-практ. конф. (Иркутск, 22–23 мая 2018 г.). Иркутск: Изд-во Института географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2018. С. 3–7.

Atutova Zh. V. The experience of using remote data in studying the restorative dynamics of geosystems. Materials of the All-Russian scientific and practical conference. The use of unmanned aerial vehicles in geographical research. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference (Irkutsk, May 22–23, 2018). Irkutsk: Institute of Geography SB RAS, 2018, pp. 3–7. (in Russian)

Балтакова А., Николова В., Кендерова Р., Христова Н. Применение ГИС и данных дистанционного зондирования для анализа селевых потоков на примере изучения западных предгорий Пирин (Болгария) // Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита: Труды 5-й Междунар. конф. Тбилиси, 2018. С. 22–33.

Baltakova A., Nikolova V., Kenderova R., Hristova N. Application of GIS and remote sensing data for mudflow analysis using the example of studying the western foothills of Pirin (Bulgaria). Mudflows: disasters, risk, forecast, protection (Proceedings of the 5th International Conference). Tbilisi, Georgia, 2018, pp. 22–33. (in Russian)

Биличенко И. Н. Использование беспилотных летательных аппаратов при ландшафтно-экологических исследованиях // Применение беспилотных летательных аппаратов в географических исследованиях: Материалы Всерос. науч.-практ. конф. (Иркутск, 22–23 мая 2018 г.). Иркутск: Изд-во Института географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2018. С. 30–33.

Bilichenko I. N. The use of unmanned aerial vehicles in landscape and ecological research. The use of unmanned aerial vehicles in geographical research. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference (Irkutsk, May 22–23, 2018). Irkutsk: Institute of Geography SB RAS, 2018, pp. 30–33. (in Russian)

Бляхарский Д. П., Волгушева Н. Э., Казаков Э. Э. Мониторинг ледников в сезон абляции с использованием беспилотных аэрофотосъемочных систем на примере ледников Потанина и Александры (массив Табын-Богдоло, Монголия) // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2019. Т. 63. № 2. С. 168–179.

Blyakharsky D. P., Volgusheva N. E., Kazakov E. E. Monitoring glaciers during the ablation season using unmanned aerial photography systems on the example of the Potanin and Alexandra glaciers (Tabyn-Bogdola massif, Mongolia). Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodesy and aerial photography, 2019, V. 63, No. 2, pp. 168–179. (in Russian)

Виноградов Ю. Б., Виноградова Т. А. Современные проблемы гидрологии. М.: Академия, 2008. 170 с.

Vinogradov Yu. B., Vinogradova T. A. Modern problems of hydrology. Moscow: Academia, 2008. 170 p. (in Russian)

Воскресенский И. С., Сучилин А. А., Ушакова Л. А., Шафоростов В. М., Энтин А. Л. Применение БПЛА для мониторинга оползневых и эрозийных процессов (на примере центра Русской равнины) // Применение беспилотных летательных аппаратов в географических исследованиях: Материалы Всерос. науч.-практ. конф. (Иркутск, 22–23 мая 2018 г.). Иркутск: Изд-во Института географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2018. С. 40–48.

Voskresenskiy I. S., Suchilin A. A., Ushakova L. A., Shaforostov V. M., Entin A. L. The use of UAVs for monitoring landslide and erosion processes (on the example of the center of the Russian Plain). The use of unmanned aerial vehicles in geographical research. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference (Irkutsk, May 22–23, 2018). Irkutsk: Institute of Geography SB RAS, 2018, pp. 40–48. (in Russian)

Докукин М. Д., Беккиев М. Ю., Калов Р. Х., Савернюк Е. А., Черноморец С. С. Мониторинг обвалов, оползней и других разрушительных процессов в высокогорной зоне на основе анализа разновременных космоснимков // Изучение опасных природных процессов и геотехнический мониторинг при инженерных изысканиях: Материалы Общерос. науч.-практ. конф. М.: Геомакетинг, 2021. С. 59–68.

Dokukin M. D., Bekkiev M. Yu., Kalov R. Kh., Savernyuk E. A., Chernomoretz S. S. Monitoring of landslides, landslides and other destructive processes in a high-altitude



- area based on the analysis of multi-time satellite images. Study of hazardous natural processes and geotechnical monitoring during engineering surveys. Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference. Moscow: Geomarketing, 2021, pp. 59–68. (in Russian)
- Ерофеев А. А., Ябаркин А. Ю., Еремеев В. Ф. Первые результаты аэрофотосъемки горно-ледникового бассейна Актру с использованием БПЛА // Применение беспилотных летательных аппаратов в географических исследованиях: Материалы Всерос. науч.-практ. конф. (Иркутск, 22–23 мая 2018 г.). Иркутск, 2018. С. 68–70.
- Yerofeev A. A., Yabarkin A. Yu., Ereemeev V. F. The first results of aerial photography of the Aktru mountain-glacial basin using UAVs. The use of unmanned aerial vehicles in geographical research: Proc. of the All-Russian Scientific and practical conference (Irkutsk, May 22–23, 2018). Irkutsk, 2018, pp. 68–70. (in Russian)
- Коновалова Т. И. Геосистемное картографирование. Новосибирск: Гео, 2010. 186 с.
- Konovalova T. I. Geosystem mapping. Novosibirsk: Geo, 2010, 186 p. (in Russian)
- Останин О. В., Дьякова Г. С., Алябьев Д. Ю., Ковалев М. В. Опыт использования беспилотных летательных аппаратов для изучения гляциально-мерзлотных каменных образований в долине р. Джело (Центральный Алтай) // География и природопользование Сибири. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2019. Вып. 26. С. 141–148.
- Ostanin O. V., Dyakova G. S., Alyabyev D. Yu., Kovalev M. V. The experience of using unmanned aerial vehicles to study glacial-permafrost rock formations in the valley of the Dzhelo River (Central Altai). Geography and Environmental Management of Siberia. Barnaul: Altai University, 2019, 26, pp. 141–148. (in Russian)

Поступила в редакцию / Received 16.07.2025