Научная статья
УДК: 55.551.5:556
DOI 10.46698/VNC.2025.27.10.001

А.Х. Шерхов

Алгоритм мониторинга опасных геодинамических явлений в горных районах с применением дистанционных технологий

Андзор Хамидбиевич Шерхов
ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», заведующий лабораторией геоэкологического мониторинга, кандидат физико-математических наук, Россия, г. Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, **fff.ddd.11@mail.ru**

Аннотация. *В статье рассматривается методология мониторинга удаленных горных районов с применением передовых цифровых решений. Предлагаемый подход дает возможность точно анализировать фактические изменения природной среды, которые могут негативно влиять на экономические объекты и сопутствующую инфраструктуру в горных регионах. Показано, что использование данных беспилотных систем значительно повышает эффективность наблюдений в сложных условиях высокогорья, кроме того, автоматизированный сбор и обработка информации минимизируют человеческий фактор, снижая вероятность ошибок при оценке рисков.*
Ключевые слова: *мониторинг, цифровая модель рельефа, ортофотоплан, беспилотный летательный аппарат, горный ландшафт*
Для цитирования: *Шерхов А.Х. Алгоритм мониторинга опасных геодинамических явлений в горных районах с применением дистанционных технологий // Вестник Владикавказского научного центра РАН. 2025. Т. 25. № 3. С. 82–85. DOI 10.46698/VNC.2025.27.10.001*

Algorithm for monitoring hazardous geodynamic phenomena in mountain areas using remote sensing technologies

Andzor Kh. Sherkhov
Federal State Budgetary Institution "High Mountain Geophysical Institute" Kabardino-Balkarian Republic, Head of the Laboratory of Geoecological Monitoring, PhD, Russia, Nalchik, fff.ddd.11@mail.ru

Abstract. *The article discusses the methodology of monitoring remote mountainous areas using advanced digital solutions. The proposed approach makes it possible to accurately analyze actual changes in the natural environment that can negatively affect economic facilities and related infrastructure in mountainous regions. It is shown that the use of unmanned systems significantly increases the efficiency of observations in difficult high-mountain conditions; in addition, automated collection and processing of information minimizes the human factor, reducing the likelihood of errors in risk assessment.*
Keywords: *monitoring, digital elevation model, orthophotomap, unmanned aerial vehicle, mountain landscape*
For citation: *Sherkhov A.Kh. Algorithm for monitoring hazardous geodynamic phenomena in mountain areas using remote sensing technologies // Bulletin of the Vladikavkaz Center of the Russian Academy of Sciences. 2025. Vol. 25. No.3. P. 82–85. DOI 10.46698/VNC.2025.27.10.001*

Введение. Натурные обследования с целью мониторинга объектов селепроявлений в горах зачастую сопряжены с работой в сложных природных условиях. Помимо традиционных наземных исследований, целесообразно применение данных дистанционного зондирования – космических снимков, аэрофотосъемки с вертолетов и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) [1].

Опыт работы в данной сфере показывает особую эффективность аэрофотосъемки с использованием БПЛА, благодаря которой удается создавать ортофотопланы – высокоточные цифровые модели местности. Эти изображения формируются из серии перекрывающихся снимков, что обеспечивает геометрическую корректность и отсутствие искажений. Кроме того, технология позволяет получать данные с исключительно высоким разрешением, что крайне важно для точной пространственной привязки объектов [2, 3].

Такой подход обеспечивает детализацию, достаточную для сравнительного анализа разновременных изображений. Это дает возможность достоверно оценивать динамику опасных геоморфологических процессов, таких как оползни, селевые потоки и эрозия русла. Дополнительным преимуществом является оперативность съемки,

позволяющая своевременно реагировать на изменения ландшафта. Кроме того, использование БПЛА значительно снижает затраты по сравнению с традиционными методами аэрофотосъемки.

Инструменты и методы. Пример применения современных технологий мониторинга горных территорий рассмотрен на базе заброшенного хвостохранилища Тырныаузского горно-обогатительного комбината (ТГОК). Данный объект в настоящее время представляет серьезную угрозу с точки зрения селевой активности и экологического загрязнения [4–7].

Для аэрофотосъемки применялся квадрокоптер DJI Mavic Air 2, при его использовании варьировались высота и скорость полета, в соответствии с техническими требованиями нормативных документов для выполнения данного вида работ [8–10]. Съемка выполнялась штатной камерой беспилотника. Цифровые модели рельефа, ортофотопланы и другие производные материалы были получены путем обработки данных в программе Agisoft Metashape Professional [11, 12].

Результаты. Первым этапом обработки аэрофотоснимков является их выравнивание и генерация опорных точек с помощью профильного программного обеспечения. На этой стадии выполняется калибровка изображений, а также исключение фотографий с некорректным ракурсом или избыточным фоном. В рамках исследования аварийного участка хвостохранилища было сформировано два разновременных проекта исследуемой территории, демонстрирующих изменения объекта за период с 2021 по 2024 год.

В ходе обработки программный комплекс проанализировал свыше 500 снимков, из которых 28 были отбракованы из-за отсутствия совпадающих ключевых точек и недостаточного перекрытия с другими кадрами. В результате автоматизированной обработки удалось сгенерировать 461 тысячу опорных точек (*рис. 1*).

Следующим шагом обработки данных является генерация плотного облака точек на основе ранее полученных опорных точек. В результате этого процесса для анализируемых проектов было сформировано 167,7 миллиона точек. На данном этапе уже можно наблюдать целостную картину исследуемой территории, однако при уменьшении масштаба становится очевидным, что модель состоит исключительно из дискретных точек.

Третий этап обработки предполагает создание цифровой модели рельефа, использующей в качестве основы плотное облако точек. Особенностью данного процесса является появление шумовых помех по краям обрабатываемой области, что вызвано искажениями краевых участков снимков и их недостаточным перекрытием. Наиболее заметные артефакты в виде интерференционных волн возникают при обработке граничных участков съемочного полигона, особенно в угловых зонах (*рис. 2*).

Для минимизации подобных эффектов рекомендуется выбирать участок съемки с дополнительным буферным пространством, превышающим границы исследуемой территории как минимум на один кадр.

Завершающей стадией обработки является генерация ортофотоплана исследуемой территории. В отличие от цифровой модели рельефа, данный формат предоставляет возможность детального анализа качественных характеристик поверхности, включая ее визуальные особенности (*рис. 3*).

Сравнительный анализ данных сопоставления разновременных 3D-моделей местности позволяет выявить и с высокой точностью измерить / рассчитать пространственно-временную трансформацию

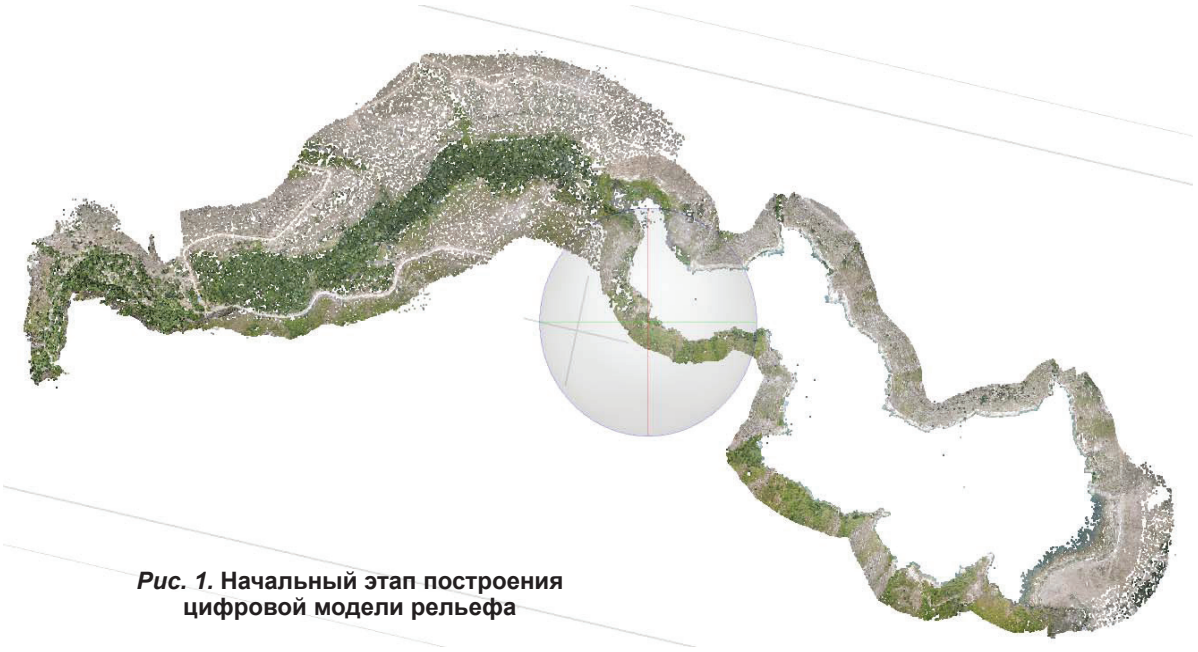

Рис. 1. **Начальный этап построения цифровой модели рельефа**

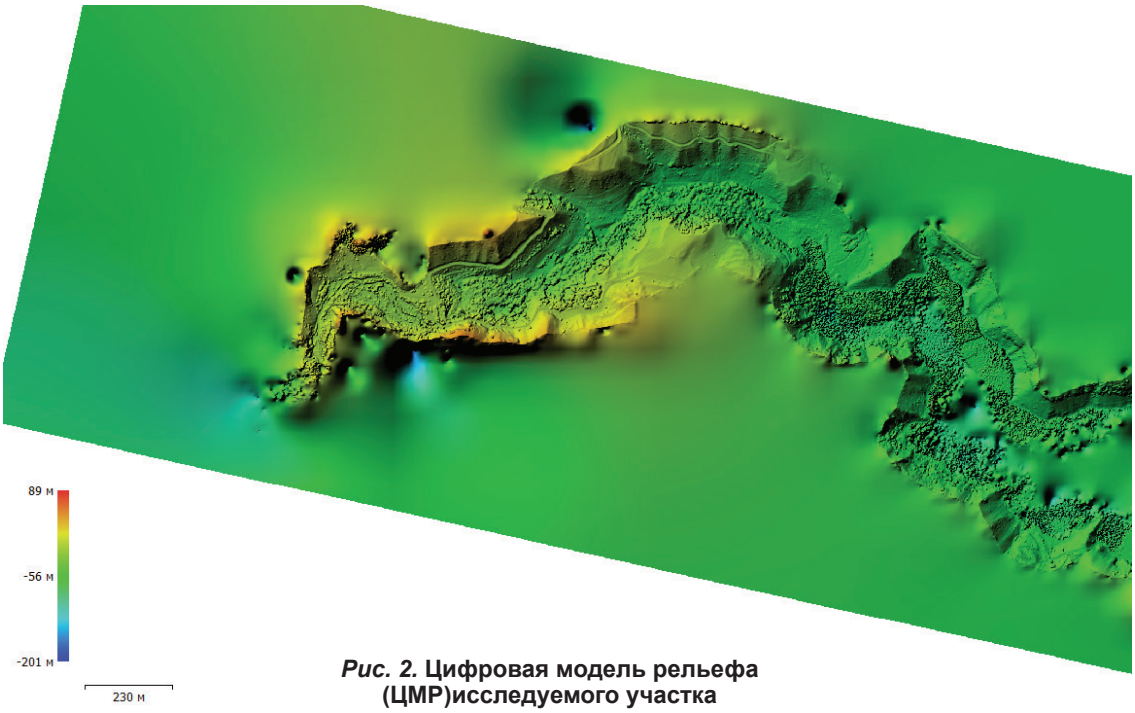

Рис. 2. **Цифровая модель рельефа (ЦМР)исследуемого участка**

Рис. 3. **Ортофотоплан исследуемого участка**

рельефа. Результаты такого анализа являются научной базой для достоверной диагностики актуального состояния мониторингового объекта.

Выводы. Проведенные исследования демонстрируют значительную результативность предложенного мониторингового подхода. Использование беспилотных летательных аппаратов для регулярного обследования локальных участков (площадью в несколько квадратных километров) обеспечивает оперативное и точное документирование изменений в геоморфологических и гидрологических характеристиках территории. К несомненным достоинствам представленной методики также относится относительно низкий уровень финансовых и временных затрат.

Обработка собранных данных дает возможность количественно анализировать пространственно-временную динамику наблюдаемых объектов, определять масштабы последствий селевых явлений и эрозионных процессов и выполнять точные расчеты объемов перемещаемых масс (наносов, оползневых тел, селевых и эрозионных выносов).

Полученные результаты служат научной основой для разработки своевременных профилактиче-

ских мер, в том числе проектирования эффективных защитных конструкций с целью минимизации разрушительного воздействия опасных природных явлений на исследуемой территории. В целом такой подход открывает новые возможности для эффективного управления рисками на территориях, подверженных опасным геоморфологическим процессам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ерофеев А.А., Ябаркин А.Ю., Еремеев В.Ф. Первые результаты аэрофотосъемки горно-ледникового бассейна Актру с использованием БПЛА. / В сборнике: Применение беспилотных летательных аппаратов в географических исследованиях. Материалы Всероссийской научно-практической конференции (Иркутск, 22–23 мая 2018 г.). – Иркутск, 2018. С. 68–70.

2. 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-Богдо-ола, Монголия) // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2019. Т. 63. № 2. С. 168–179.

3. Воскресенский И.С. Применение БПЛА для мониторинга оползневых и эрозийных процессов (на примере центра Русской равнины) / Сучилин А.А., Ушакова Л.А., Шафоростов В.М., Энтин А.Л. / Сб. Применение беспилотных летательных аппаратов в географических исследованиях. – Иркутск: изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2018. С. 42–47.

4. Запорожченко Э.В., Докукин М.Д. Об угрозе разрушения Тырныаузского хвостохранилища на р. Гижгит в Кабардино-Балкарской Республике. Геориск, Том XIII, 1: 2019. С. 72–85.

5. Запорожченко Э.В., Докукин М.Д. Хвостохранилище на р. Гижгит в Кабардино-Балкарской Республике (Россия) и его проблемы. IX International scientific and technical conference "Moderin problems of water management, environmental protection, architecture and construction". – Tbilisi, Georgia: 2019. С. 301–310.

6. Шерхов А.Х., Гергокова З.Ж. Оценка актуального состояния некоторых компонентов комплекса гидротехнических сооружений хвостохранилища Тырныаузского горно-обогатительного комбината // Природообустройство. 2022. № 4. С. 100–106.

7. Запорожченко Э.В., Докукин М.Д. Тырныаузское хвостохранилище – объект повышенного экологического риска / Устойчивое развитие горных территорий Кавказа. Коллективная монография. Том II. – Москва: РАН, 2019. С. 224–237.

8. Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 59562–2021 Съемка аэрофототопографическая. Технические требования, 2021. 61 с.

9. Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 57258–2016 Системы беспилотные авиационные. Термины и определения, 2016. 8 с.

10. Информационно-справочный материал о порядке учета, эксплуатации и выполнения полетов с использованием беспилотных гражданских воздушных судов с максимальной взлетной массой 30 кг и менее. – М.: Федеральное агентство воздушного транспорта (Росавиация), 2023. 12 с.

11. Руководство пользователя Agisoft Metashape: Professional Edition, версия 1.5. © 2019 Agisoft LLC. 163 с.

12. Пошаговое руководство: «Построение ортофотоплана и цифровой модели местности (ЦММ) по данным аэрофотосъемки в программе Agisoft Metashape Pro 1.6 (с опорными точками и без)» MS_1.6_tutorial_ru_Orthomosaic_DEM.pdf (agisoft.com)

REFERENCES

1. Erofeev A.A., Yabarkin A.Yu., Eremeev V.F. Pervy`e rezul`taty` ae`rofotos``emki gorno-lednikovogo bassejna Aktru s ispol`zovaniem BPLA. / V sbornike: Primenenie bespilotny`x letatel`ny`x apparatov v geograficheskix issledovaniyax. Materialy` Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii (Irkutsk, 22–23 maya 2018 g.). – Irkutsk, 2018. C. 68–70.

2. Blyaxarskij D.P., Volgusheva N.E`., Kazakov E`.E`. Monitoring lednikov v sezon ablyacii s ispol`zovaniem bespilotny`x ae`rofotos``emochny`x sistem na primere lednikov Potanina i Aleksandry` (massiv Taby`n-Bogdo-ola, Mongoliya) // Izvestiya vy`sshix uchebny`x zavedenij. Geodeziya i ae`rofotos``emka. 2019. T. 63. № 2. S. 168–179.

3. Voskresenskij I.S. Primenenie BPLA dlya monitoringa opolznevy`x i e`rozijny`x processov (na primere centra Russkoj ravniny`) / Suchilin A.A., Ushakova L.A., Shaforostov V.M., E`ntin A.L. / Sb. Primenenie bespilotny`x letatel`ny`x apparatov v geograficheskix issledovaniyax. –Irkutsk: izd-vo Instituta geografii im. V. B. Sochavy` SO RAN, 2018. S. 42–47.

4. Zaporozhchenko E`.V., Dokukin M.D. Ob ugroze razrusheniya Ty`rny`auzskogo xvostoxranilishha na r. Gizhgit v Kabardino-Balkarskoj Respublike. Georisk, Tom XIII, 1: 2019. S. 72–85.

5. Zaporozhchenko E`.V., Dokukin M.D. Xvostoxranilishhe na r. Gizhgit v Kabardino-Balkarskoj Respublike (Rossiya) i ego problemy`. IX International scientific and technical conference "Moderin problems of water management, environmental protection, architecture and construction". – Tbilisi, Georgia: 2019. S. 301–310.

6. Sherxov A.X., Gergokova Z.Zh. Ocenka aktual`nogo sostoyaniya nekotory`x komponentov kompleksa gidrotexnicheskix sooruzhenij xvostoxranilishha Ty`rny`auzskogo gorno-obogatitel`nogo kombinata // Prirodoobustrojstvo. 2022. № 4. S. 100–106.

7. Zaporozhchenko E`.V., Dokukin M.D. Ty`rny`auzskoe xvostoxranilishhe – ob``ekt povy`shennogo e`kologicheskogo riska / Ustojchivoe razvitie gorny`x territorij Kavkaza. Kollektivnaya monografiya. Tom II. – Moskva: RAN, 2019. S. 224–237.

8. Nacional`ny`j standart Rossijskoj Federacii GOST R 59562–2021 S``emka ae`rofototopograficheskaya. Texnicheskie trebovaniya, 2021. 61 s.

9. Nacional`ny`j standart Rossijskoj Federacii GOST R 57258–2016 Sistemy` bespilotny`e aviacionny`e. Terminy` i opredeleniya, 2016. 8 s.

10. Informacionno-spravochny`j material o poryadke ucheta, e`kspluatacii i vy`polneniya poletov s ispol`zovaniem bespilotny`x grazhdanskix vozdushny`x sudov s maksimal`noj vzletnoj massoj 30 kg i menee. – M.: Federal`noe agentstvo vozdushnogo transporta (Rosaviaciya), 2023. 12 s.

11. Rukovodstvo pol`zovatelya Agisoft Metashape: Professional Edition, versiya 1.5. © 2019 Agisoft LLC. 163 s.

12. Poshagovoe rukovodstvo: «Postroenie ortofotoplana i cifrovoj modeli mestnosti (CzMM) po danny`m ae`rofotos``emki v programme Agisoft Metashape Pro 1.6 (s oporny`mi tochkami i bez)» MS_1.6_tutorial_ru_Orthomosaic_DEM.pdf (agisoft.com)