



Дистанционное зондирование и мониторинг селеопасных территорий в условиях изменения климата (Камароб, Таджикистан)

М.С. Сафаров^{1,2}, А.Р. Фазылов²

¹Научно-исследовательский Центр экологии и окружающей среды Центральной Азии (Душанбе), Душанбе, Таджикистан, mustafo-2010@mail.ru

²Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, Душанбе, Таджикистан, alifazilov53@gmail.com

Аннотация. Статья посвящена анализу областей применения методов и технологий дистанционного (неконтактного) зондирования и мониторинга поверхности земли при помощи беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), позволяющие получить актуальную информацию, в условиях изменения климата. Осуществлен анализ, эффективность использования различных типов БПЛА, а также областей и методов их применения, для мониторинга и сбора данных о селеопасных территориях горных и предгорных районов Таджикистана (на примере ущелья Камароб).

Ключевые слова: дистанционное зондирование, беспилотные летательные аппараты (БПЛА), аэрофотосъемка, мониторинг, технологии, сели, картографирование

Ссылка для цитирования: Сафаров М.С., Фазылов А.Р. Дистанционное зондирование и мониторинг селеопасных территорий в условиях изменения климата (Камароб, Таджикистан). В сб.: Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 6-й Международной конференции (Душанбе–Хорог, Таджикистан). Том 1. – Отв. ред. С.С. Черноморец, К.С. Висхаджиева. – Душанбе: ООО «Промоушн», 2020, с. 313–322.

Remote sensing and monitoring of debris flow areas in the conditions of climate change (Kamarob, Tajikistan)

M.S. Safarov^{1,2}, A.R. Fazilov²

¹Research Center for Ecology and Environment of Central Asia (Dushanbe), Dushanbe, Tajikistan, mustafo-2010@mail.ru

²Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Tajikistan, alifazilov53@gmail.com

Abstract. The article is devoted to the analysis of the areas of application of methods and technologies for remote (non-contact) sensing and monitoring of the earth's surface using unmanned aerial vehicles (UAVs), which provide up-to-date information in the context of climate change. The analysis, the effectiveness of the use of various types of UAVs, as well as areas and methods of their application, for monitoring and collecting data on mudflow hazard zones of mountain and foothill regions of Tajikistan (for the Kamarob gorge).

Key words: remote sensing, unmanned aerial vehicles (UAVs), aerial photography, monitoring, technology, debris flow, mapping

Cite this article: Safarov M.S., Fazilov A.R. Remote sensing and monitoring of debris flow areas in the conditions of climate change (Kamarob, Tajikistan). In: Chernomoretz S.S., Viskhadzhieva K.S. (eds.) Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 6th International Conference (Dushanbe–Khorog, Tajikistan). Volume 1. Dushanbe: "Promotion" LLC, 2020, p. 313–322.

Введение

Дистанционное зондирование – технология наблюдения объекта на поверхности земли наземными, авиационными и космическими средствами с использованием инструментальных методов, дистанционного неконтактного получения информации о состоянии и параметрах объектов и обеспечивающая дополнительной информацией существующие наземные системы мониторинга окружающей среды.

К основным областям, в которых летательные аппараты используются в качестве носителей средств ДЗ, в условиях РТ являются: Гидрология (управление и оценка водных ресурсов, мониторинг таяния снегов, прогноз о паводках); Сельское хозяйство (метеопрогноз, ареал и состояние растительного покрова, создание карт по типам грунтов, предупреждение градобитий и т.д.); Экология (исследования по охране окружающей среды); Гляциология (исследования ледников, снежного покрова, ледяного покров водоёмов и др); Геология, геоморфология и геодезия; Топография и картография (получение точных данных о высоте и привязке их к данной системе координат, производство карт и внесение изменений в них); Риски стихийных бедствий (контроль объема паводков, предупреждение о селях, лавинах, оползнях, песчаных и пылевых бурях и т.п.).

Одним из методов дистанционного зондирования является использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) – летательный аппарат без экипажа на борту, и квадрокоптеров, управляемые в ручном, полуавтоматическом и автоматическом режимах для осуществления аэрофотосъемки, позволяющие создавать карты и трехмерные модели местности.

При этом БПЛА позволяют, даже при их полете под облаками, получать четкие изображения, фотографии и видео с высоким разрешением и осуществлять исследования от нескольких минут до нескольких часов. Не маловажным фактором является и то, что Используя БПЛА можно без риска для жизни людей проникать в труднодоступные зоны, в частности в горно-предгорных условиях Таджикистана.

Область исследования

Ущелье Камароб длиной 54 км, окружено двумя основными хребтами, расположенными в Раштском регионе (рис. 1). Река Камароб расположена между Каратегинским и Кабудкрымским хребтами. Это левый приток реки Сарбог (бассейн Вахша). Основным притоком является Сободай. Длина реки – 36 км. Площадь водосбора 347 км². Количество притоков длиной менее 10 км, расположенных в бассейне Камароб, 78, общая длина которых составляет 122 км [Федотова, 1967].

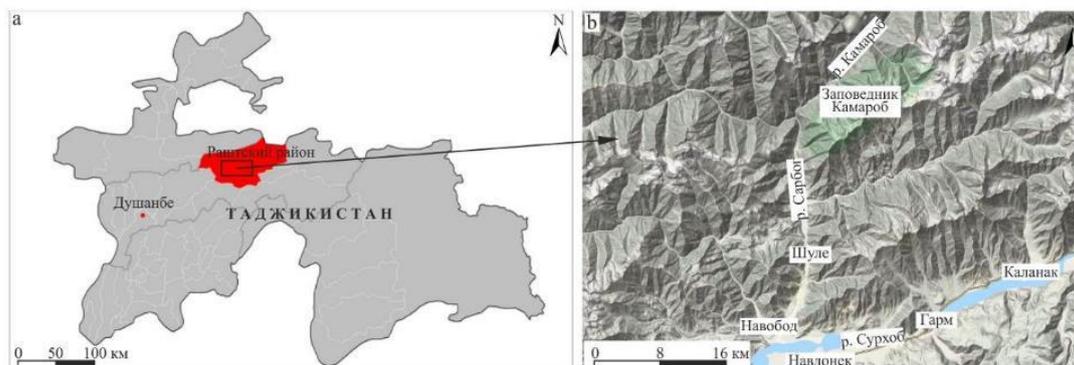


Рис. 1. Местоположение района исследований на политической и физико-географической картах

Fig. 1. Location of the study area on political and physical maps

Беспилотный летательный аппарат – инструмент для дистанционного зондирования

К существующим средствам мониторинга факторов, влияющих на природную среду и ведения наблюдения за её состоянием отнесены различного назначения станции в основном стационарного типа, требующие постоянного присутствия человека. Проблема специалистов обслуживающие эти станции заключается в проведения наблюдений в труднодоступных и опасных районах, отсутствие транспорта (длительные пешие переходы) и т.д.

К настоящему времени интенсивное развитие получили использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) летательные аппараты, снабженные искусственным интеллектом. Главным преимуществом данной технологии является отсутствие потребности специальных взлетно-посадочных площадок комплексов, обеспечивающих для обеспечения старта БПЛА, а также их отличает относительная дешевизна и отсутствие риска для человека.

Научно-технические достижения последних десятилетий в микросистемных технологиях (в частности, появление гироскопов и акселерометров в микроминиатюрных версиях), широкое внедрение систем глобального позиционирования (таких как GPS), появление других необходимых элементов для комплектации мини-БПЛА: эффективные видео камеры, бесщёточные электродвигатели, автопилоты, энергопотребляющие литий-полимерные батареи и др. явились основой для производства относительно небольших по массе и размеру, но способных выполнять довольно серьёзные задачи оборудования для дистанционного зондирования [Фетисов, 2014].

Непрерывная тенденция в миниатюризации электроники позволяет производить меньшие БПЛА оснащая их миниатюрными камерами и другими датчиками для поддержки сбора данных [Eisenbeiß, 2009].

Таким образом, инновации в области дистанционного зондирования и фотограмметрических изображений, и их применение являются ключевыми инструментами в оценке уязвимости территорий и оценке ущерба от стихийных бедствий [Yamazaki, 2001; Shinozuka, Rejaie, 2000].

Методы и технологии применения БПЛА

БПЛА используются для решения различных задач, которые ранее решались с использованием пилотируемых самолётов и вертолётов. Такой интерес во многом обусловлен простотой их эксплуатации, низкой стоимостью, эффективностью. Высокое качество и наличие эффективных программных средств для автоматической обработки материалов аэрофотосъёмки открывают возможности для широкого их использования как при воздушном мониторинге состояния окружающей среды (мониторинг ледников, ледниковых озёр, рек, озёр и водохранилищ), мониторинг опасных зон рисков, приводящих к стихийным бедствиям так и для проведения съёмки при чрезвычайных ситуациях.

В условиях горной страны (93% всей территории Таджикистана, отметки выше 600м), БПЛА значительно расширили возможности мониторинга с воздуха и сделали его более доступным и одним из инструментов мониторинга обеспечивающие высокую аппроксимацию в процессе фотосъёмки. При этом регулярные наблюдения с помощью БПЛА обеспечивают получение достоверной информации исследуемой территории. Исследования - полёты проводились с использованием БПЛА, на примере ущелья Камароб (Природный заповедник Камароб) в Раштском районе.

В процессе наблюдений аэрофотосъёмка и видеозапись местности были выполнены с использованием беспилотного летательного аппарата QC-2 Micro (рис. 2, 3А, Б) и квадрокоптеров. QC-2 Micro оснащённых фотоаппаратом Sony RX1.



Рис. 2. Участок бассейна р. Камароб, исследованный с помощью БПЛА. Обозначения: 1 — участок съемки с БПЛА, 2 — р. Сарбог, 3 — место взлета БПЛА, 4 — р. Камароб. В качестве подложки использован космоснимок с сервиса Google Earth

Fig. 2. Site of the Kamarob River catchment surveyed by the UAV. Designations: 1 — area of UAV survey, 2 — Sarbog River, 3 — UAV take-off point, 4 — Kamarob River. Background — Google Earth satellite image

Характеристика примененного БПЛА: размах крыльев БПЛА 180 см, длина 110 см; полётный вес составляет 3,5 кг, время полёта – около 90 минут. Квадрокоптеры DJI Phantom 4 и DJI Inspire 1 pro (рис. 3В, Г) использовались для видеосъёмки и фотографирования небольших территорий с разрешением от 5 см до 15 см и на основе полученных данных построены 2D и 3D карты местности.

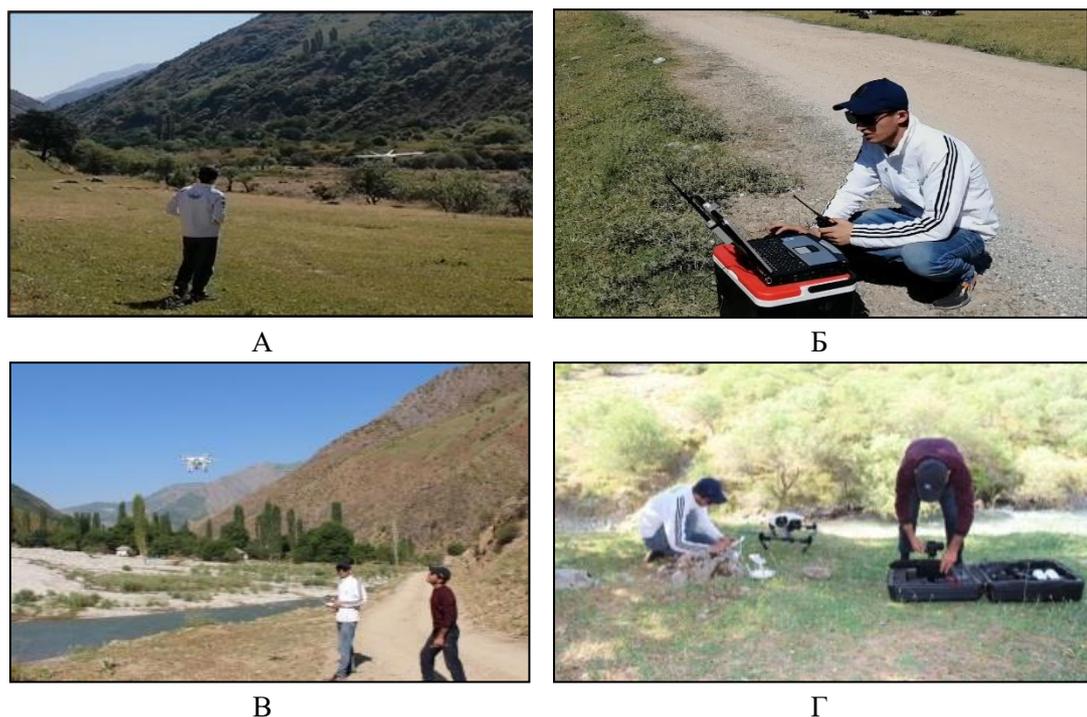


Рис. 3. Подготовка и организация полетов БПЛА самолетного типа QC-2 Micro (А, Б) и квадрокоптеров DJI Phantom 4 (В) и DJI Inspire 1 Pro (Г)

Fig. 3. Preparation and organization of flights of the UAVs QC-2 Micro (A, Б), DJI Phantom 4 (В) and DJI Inspire 1 Pro (Г)

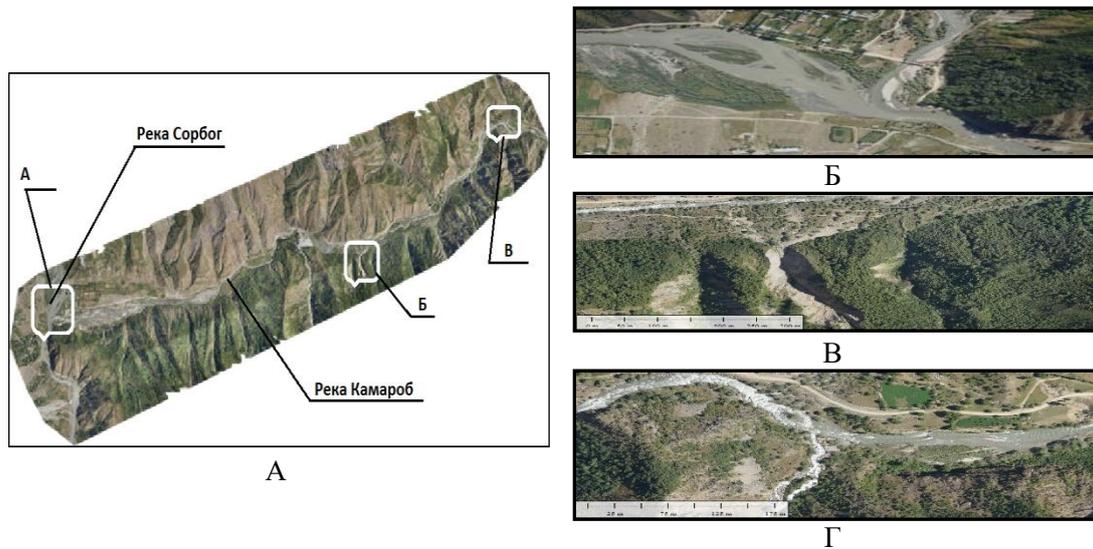


Рис. 4. Результат аэрофотосъемки участка бассейна р. Камароб с использованием БПЛА самолетного типа QC-2 Micro: А — общий вид участка съемки, Б — селевой конус выноса при впадении р. Камароб в р. Сарбог, В — устье левого селевого притока р. Камароб, Г — среднее течение р. Камароб. Площадь съемки — 19 км², пространственное разрешение — 15 см/пиксель. Съемка произведена М.С. Сафаровым

Fig. 4. Results of aerial photography of the Kamarob River basin site using QC-2 Micro UAV: А — general view of the survey area, Б — Kamarob River debris flow fan near the its inflow in Sarboq River, В — mouth of the left debris flow tributary of the Kamarob River, Г — middle part of the Kamarob River. Survey area — 19 km², spatial resolution — 15 cm/pixel. UAV survey was taken by M.S. Safarov

Количество перекрывающихся изображений, рассчитанных для каждого пикселя ортофотомозаики где красные и желтые области указывают на низкое перекрытие, для которого могут быть получены плохие результаты. Зелёные области обозначают и перекрывают более 5 изображений для каждого пикселя. Слишком низкое перекрытие (красный) может привести к некачественной трёхмерной реконструкции в этих областях. Таким образом, перекрытие является важным параметром для общего качества (рис. 5А). На рис. 5Б представлена 3D-карта местности, а на рис. 6А – Цифровая модель поверхности (DSM), 6Б – Цифровая модель местности (DTM). Также были проведены видео и аэрофотосъёмки в различных территориях с помощью DJI Phantom 4 и DJI Inspire 1 и подготовлены Цифровые модели местности, где ранее имели место схода селевых явлений (рис. 7 и 8).

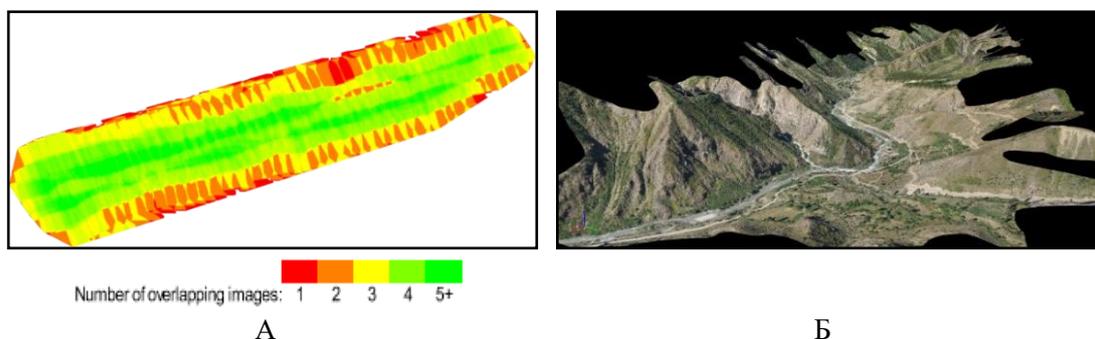
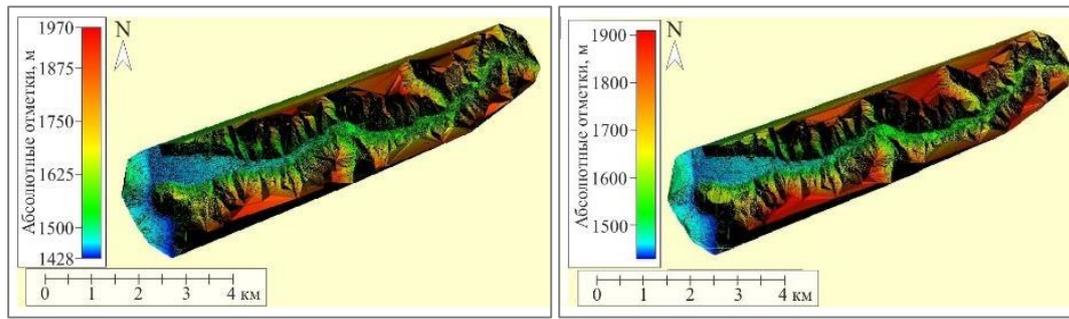


Рис. 5. Схема перекрытия снимков (А), 3D-модель исследуемого участка бассейна р. Камароб (Б)

Fig. 5. Scheme of image overlapping (A), 3D-model of the Kamarob River basin investigated site the (Б)



А

Б

Рис. 6. А) Цифровая модель местности (А) и цифровая модель рельефа (Б) исследуемого участка бассейна р. Камароб

Fig. 6. Digital surface (A) and elevation (Б) models of the investigated site of the Kamarob River basin

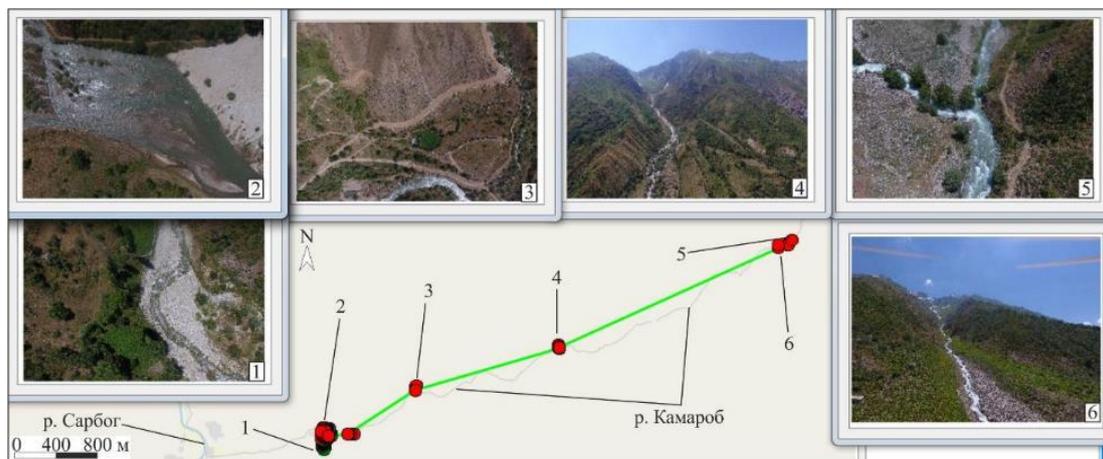


Рис. 7. Места схода селей из боковых притоков р. Камароб и участков аккумуляции селевых отложений в главной долине, аэрофотосъемка которых проводилась с квадрокоптеров DJI Phantom 4 и DJI Inspire 1 Pro. Съемка произведена М.С. Сафаровым

Fig. 7. Sites of debris flow occurrences from Kamarob River tributaries and accumulation of debris flow deposits in the main river valley surveyed by the quadcopters DJI Phantom 4 and DJI Inspire 1 Pro. UAV survey was taken by M.S. Safarov

Для комплексного изучения бассейна реки Камароб были использованы данные спутниковых снимков, такие как SRTM и Глобальная цифровая модель высоты (GDEM) ASTER версии 3 (ASTGTM) для разграничения водораздела бассейна реки Камароб (рис. 9). При использовании Глобальной цифровой модели высоты (GDEM) ASTER версии 3 (ASTGTM) при разграничении водораздела бассейна реки не удалось определить все речные бассейны, которые впадают в реку Камароб, в то время как при использовании SRTM удалось определить.

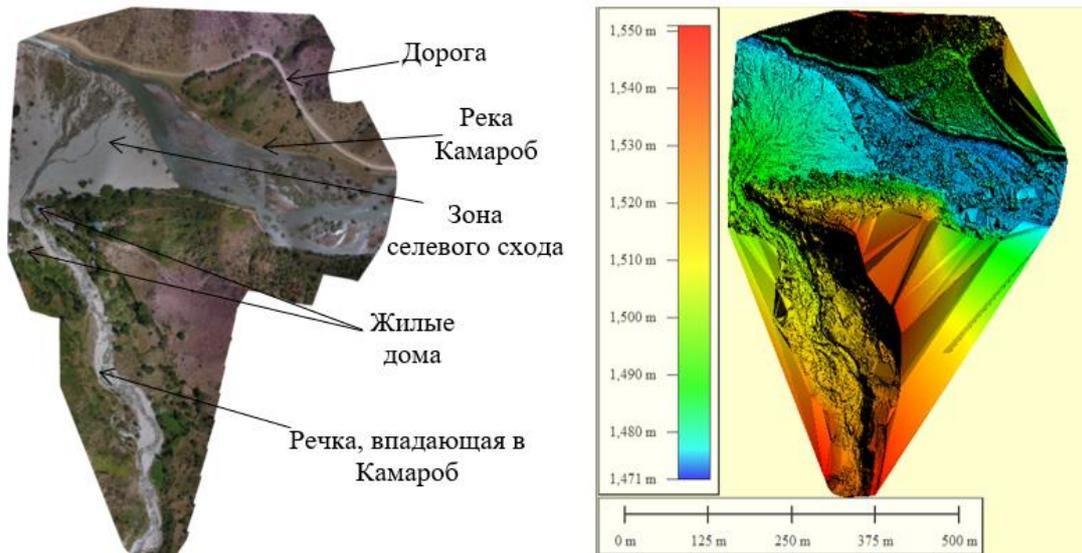


Рис. 8. Ортофотомозаика и ЦММ, полученные по результатам съемки с помощью квадрокоптера DJI Phantom 4. Площадь съемки -- 0,207 км², пространственное разрешение -- 5 см/пиксель. Съемка произведена М.С. Сафаровым

Fig. 8. Orthophotomosaic and digital surface model obtained from the results of the quadcopter DJI Phantom 4 survey. Survey area -- 0,207 km², spatial resolution -- 5 cm/pixel. UAV survey was taken by M.S. Safarov

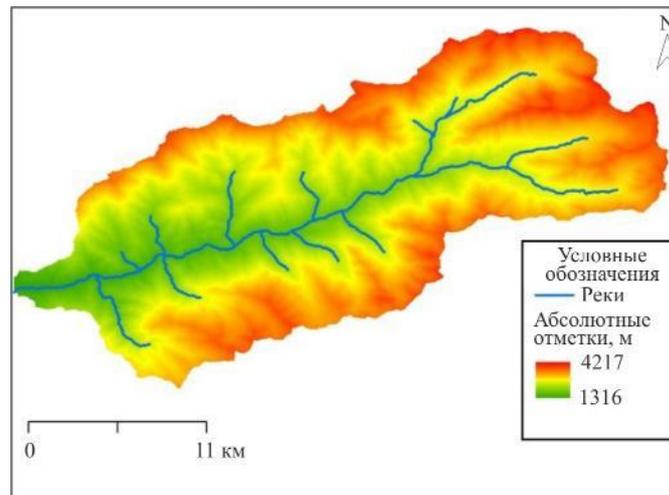


Рис. 9. Фрагмент глобальной ЦМР ASTER GDEM. Version 3 для бассейна р. Камароб

Fig. 9. Fragment of the global digital elevation model ASTER GDEM. Version 3 of the Kamarob River basin

Для получения информации о растительности использовались данные Landsat и данные, полученные с использованием квадрокоптера Dji Phantom 4 (рис. 10). Полеты и карта состояние растительного покрова выполнялись с использованием приложения Drone Deploy. Мониторинг растительности с помощью дронов позволяет измерять здоровье растений, выявлять урожайность.

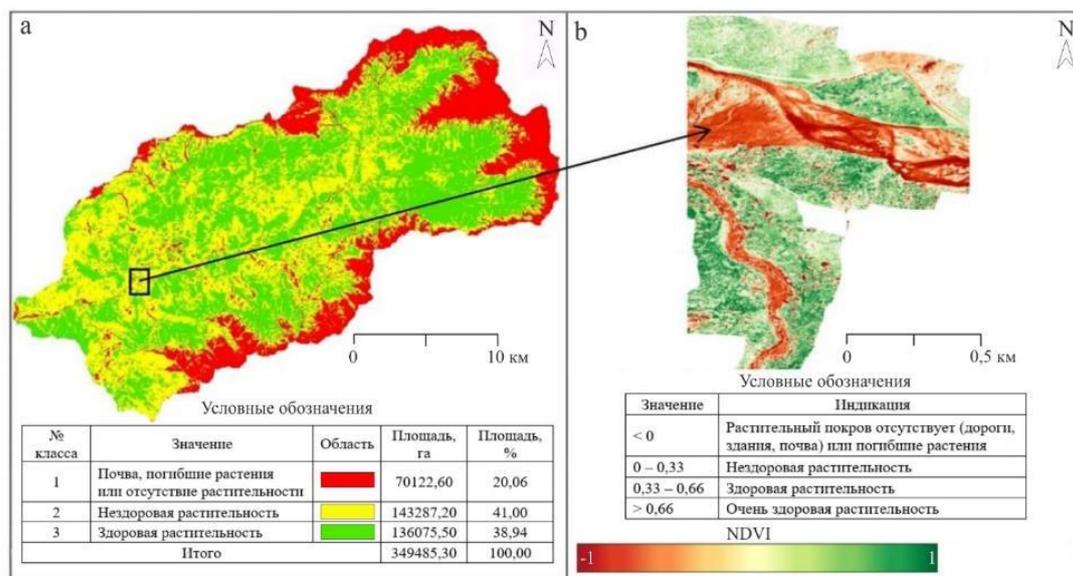


Рис. 10. Карта NDVI бассейна р. Камароб, полученная по данным съемки со спутника Landsat-8 от 18.07.2019 (а), и карта состояния растительного покрова, построенная по данным съемки с квадрокоптера DJI Phantom 4 от 18.07.2019 (б)

Fig. 10. NDVI map of the Kamarob River basin based on the Landsat-8 satellite survey, 18 July 2019 (a) and vegetation status map based on DJI Phantom 4 quadcopter survey data, 18 July 2019 (b)

Технология БПЛА позволяет нам оценивать состояние растений и изменчивость точечных культур. Использование алгоритмов здоровья растений, таких как NDVI для данного района, может помочь выделить изменчивость и упростить изучение растительности и ее деградации. Данная переменная играет важную роль также и при изучение селевых процессов. Поскольку растительность обездвигивает большое количество воды и увеличивает сопротивление сдвигу и сцепление массы с почвой.

Существует несколько типов камер, которые могут помочь вам оценить здоровье растений, в нашем случае мы использовали DJI Phantom 4 с наиболее распространённым типом камер, используемых для картирования, то есть RGB-камер.

Камеры RGB – или стандартные – фиксируют красный, зеленый и синий свет. Изображения RGB более доступны и могут быть получены с помощью обычной камеры, что делает их доступным вариантом, не требующим инвестиций в дополнительные сенсорные технологии. Кроме того, камеры RGB снимают изображения, подобные тем, которые видны человеческому глазу, что означает, что они более знакомы и их легче интерпретировать – даже без использования алгоритмов здоровья растений. Камеры RGB также являются многоцелевыми, что означает, что они могут делать снимки для создания детальных ортофотоплановых карт и способны снимать видео высокого качества [Yamazaki, 2001].

После сравнения старых космических данных и новых полученных, с помощью БПЛА были найдены несколько селеопасных зон, где ранее проходили селевые явления. Как видно на рис. 11, где отображены спутниковые снимки 2007 года и аэрофотоснимок 2019 года имело место прохождение селевого потока, которое также подтвердили местные жители. Как видно на снимках (рис. 12) площадь или длина зона прохождения селя увеличилась, русло реки на рисунке слева более широкое, а на рисунке справа – более узкое.

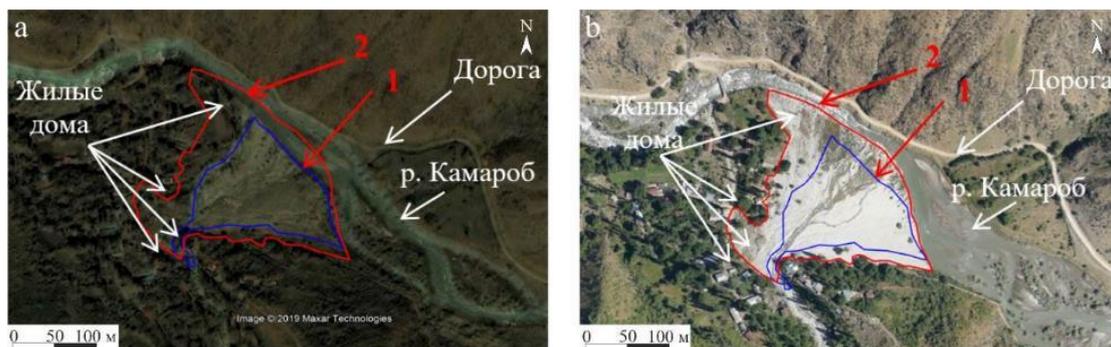


Рис. 11. Селевой конус выноса бокового притока р. Камароб на космоснимке 2007 г. с сервиса Google Earth (a) и аэрофотоснимке 2019 г. с БПЛА (b). *Обозначения:* 1 -- контуры селевых отложений в 2007 г., 2 -- контуры селевых отложений в 2019 г.

Fig. 11. Debris flow fan of the Kamarob River tributary on the 2007 Google Earth satellite image (a) and on the 2019 UAV aerial photo (b). *Designations:* 1 -- contours of debris flow deposits in 2007, 2 -- contours of debris flow deposits in 2019

Применение БПЛА в условиях горных территорий при отсутствии собственных спутников для оперативного мониторинга из космоса позволило получить актуальные данные ДЗЗ (данные аэрофотосъемки) для нижней части бассейна р. Камароб на площади 19 км² с пространственным разрешением 15 см/пиксель, а на территории пос. Пингон, где были зафиксированы отложения после прохождения селевого потока, на площади 0,207 км² с разрешением 5 см/пиксель. Впервые для ущелья Камароб были получены аэрофотоснимки с использованием БПЛА, а также набор актуальных данных (ЦМР, ортофотомозаики, карты растительности и т.д.) для последующей оценки селевой опасности территории; создана база данных; предложена технология постоянного мониторинга; определены наиболее целесообразные типы БПЛА для использования в горных условиях; разработаны, с учетом существующих технологий, рекомендации по применению БПЛА для горно-предгорных зон Таджикистана.

Как отмечено выше, для условий горных территорий наиболее целесообразным вариантом является применение БПЛА самолетного типа QC-2 Micro и квадрокоптеров с камерами высокого разрешения, характеризующихся большим временем работы и возможностью осуществления полетов на больших высотах. Оперативный мониторинг с воздуха способствует своевременному получению информации, необходимой для анализа, сравнения с предыдущими данными, выявления и комплексной оценки риска возникновения опасных природных явлений, что в конечном итоге позволяет составить оперативные ситуационные карты, а также карты изменения местности для моделирования быстрых или длительно развивающихся опасных гидрологических процессов. В случае возникновения чрезвычайных ситуаций, БПЛА могут быть использованы непосредственно в зоне бедствия для обнаружения его источников, анализа опасной зоны, а также оценки ущерба и мониторинга восстановительных работ с воздуха без риска для здоровья человека.

На основе полученных результатов и проведения научно-исследовательских работ с применением БПЛА различного типа в качестве будущих задач запланированы: ежегодный мониторинг района исследований и прилегающих к нему селеопасных горных территорий, расширение перечня объектов мониторинга и пополнение базы данных новыми геопространственными данными, получение оперативных снимков с разрешением от 5 до 50 см/пиксель, составление карты селевой опасности бассейна р. Камароб, дальнейшее накопление результатов мониторинга и анализа бедствий для разработки рекомендаций по управлению рисками стихийных бедствий, связанных с селями.

Выводы

Таким образом, одной из основных проблем, с которой сталкиваются исследователи при изучении горных территорий в Таджикистане, является недостаток открытых данных высокого разрешения о современном состоянии окружающей среды (климата, водных ресурсов, активности протекания экзогенных процессов), которые позволили бы проводить оценку ее состояния и давать своевременный прогноз развития опасных природных процессов, в частности, селевых. Большие возможности для решения данной проблемы открываются в связи с наблюдающимся в последние годы активным развитием технологий БПЛА.

Показанные в данной работе методы и технологии съемки с БПЛА, а также способы ее обработки позволяют получать актуальные данные о состоянии селеопасных районов (снимки труднодоступных участков, высокоточные цифровые модели рельефа). Эти данные являются основой для дальнейшего изучения и анализа селевой опасности с целью предотвращения и минимизации рисков в горных и предгорных районах Таджикистана.

Список литературы

- Камароб [Electronic resource]. URL:
<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D0%BC%D0%B0%D1%80%D0%BE%D0%B1>
- Федотова В.М. Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. Т. 14. Бассейны рек Средней Азии. Вып. 3. Бассейн р. Аму-Дарьи.: Гидрометеоздат, 1967. — С. 57.
- Фетисов В. С. Беспилотная авиация: терминология, классификация, современное состояние: Уфа 2014. 20 с.
- Eisenbeiß, H. 2009. UAV Photogrammetry. PhD Thesis, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Zurich.
- Shinozuka, M. and Rejaie, A. 2000. Correlational analysis of remotely sensed pre- and post-disaster images. SPIE's 7th Annual International Symposium on Smart Structures and Materials.
- Yamazaki, F. 2001. Applications of remote sensing and GIS for damage assessment. Structural Safety and Reliability (Proceedings of Icosar '01). Corotis, R., Schueller G. and Shinozuka, M. (eds.). Taylor & Francis Group
- Identifying Crop Variability with Drones [Electronic resource]
<https://blog.dronedeploy.com/identifying-crop-variability-whats-the-difference-between-ndvi-false-ndvi-and-vari-plant-health-98c380381a33>