

МОНИТОРИНГ И АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНЫХ ОПАСНОСТЕЙ В ТАДЖИКИСТАНЕ: ИНТЕГРАЦИЯ БПЛА И ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*Сафаров М.С.^{1,2}, Фазылов А.Р.², Гулаёзов М.Ш.¹,
Наврузшоев Х.Д.^{4,5}, Мамаджанов Ю.М.²*

¹Научно-исследовательский центр экологии и окружающей среды
Центральной Азии (Душанбе)

²Северо-западный Институт экосреды и ресурсов Китайской
академии наук, Ланчжоу, КНР

³Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ,

⁴Государственное научное учреждение «Центр изучения ледников НАНТ

⁵Институт исследования горных сообществ Университета
Центральной Азии, Душанбе, Таджикистан.

Аннотация. В Таджикистане опасные природные явления, в том числе сели, представляют значительную угрозу инфраструктуре, а также жизни людей. В последние годы частота и серьезность этих стихийных бедствий возрастают, требующие эффективные стратегии мониторинга и управления. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) стали незаменимыми инструментами для картирования и исследования стихийных бедствий. Основной задачей настоящих исследований был анализ опасных природных явлений и их картирование, в частности селевых проявлений, в горно-предгорной зоне Таджикистана за период с 2020 по 2023 годы. Реализация мониторинга и изучения, этих зон, осуществлена с использованием малогабаритного БПЛА QC-2 Микро с продолжительностью полета более 1 часа, оснащенной камерой Sony RX1R и квадрокоптера DJI Phantom 4. Полевые работы включали проведение аэрофотосъемки последствий схода селевых потоков в Хурсонском и Вахиском районах Хатлонской области, городе Пенджикенте Согдийской области, а также в Таджикабадском, Лахиском и Варзобском районах республиканского подчинения (РРП). Полученные результаты позволяют утверждать, что сели относятся к числу наиболее разрушительных стихийных бедствий, вызывая значительный социально-экономический ущерб и приводящие, к сожалению, к человеческим жертвам. Установлено, что за период 2020-2023гг. селевые потоки были зафиксированы в 49 районах и городах Таджикистана, а сумма ущерба, при этом, составила около 30,2 млн. долларов США. Картирование и мониторинг с использованием БПЛА позволяют получить данные для анализа масштабов ущерба, выявления уязвимых территорий и оказания помощи по реагированию на чрезвычайные ситуации, а также разработать меры по исключению или предотвращению рисков стихийных бедствий. Таким образом, использование современных технологий и технических средств при исследованиях опасных природных явлений в условиях горно-предгорной зоны Таджикистан является актуальной задачей.

Ключевые слова: Таджикистан, опасные природные явления, сели, мониторинг, анализ, исследования, управление, дистанционное зондирование Земли, спутники, беспилотные летательные аппараты

Природные опасности, такие как сели, землетрясения и лавины, представляют значительную угрозу для Таджикистана, приводя к разрушительным последствиям для инфраструктуры и населения [1]. Частота и интенсивность этих стихийных бедствий в последние годы возросли [2],

что подчеркивает острую необходимость эффективной стратегии мониторинга и смягчения последствий [3]. Около 85% территории Таджикистана подвержено селевому риску, а 32% территории находятся в зоне повышенного селевого риска [4]. Мониторинг и исследования с приме-

нением современных технологий позволяет получить важную информацию о возникновении, местоположении в том числе зоны формирования и интенсивности селевых потоков [5,6], позволяющие в какой то мере минимизировать ущерб в помощь в организации эвакуации населения из уязвимых районов и оценить масштабы ущерба после селевых явлений [7,8].

В настоящее время исследователи и специалисты Таджикистана, с учетом существующих реалий всё больше и целенаправленнее используют инновационные технологии вообще, и беспилотные летательные аппараты (БПЛА), в частности для картирования и оценки природных опасностей. БПЛА оказались бесценными инструментами [9,10] в мониторинге и анализе селевых явлений, предоставляя важные данные для управления стихийными бедствиями и реагирования на чрезвычайные ситуации. В настоящее время БПЛА повсеместно применяются для картографирования селей и составления специальных карт при исследовании селей и их последствий. Поиск эффективных способов управления повышенного риска стихийных бедствий и совершенствования технологий мониторинга и оценки чрезвычайных ситуаций является важной и актуальной задачей современности [11]. Технологии дистанционного зондирования включая БПЛА, могут способствовать управлению чрезвычайными ситуациями, особенно при вторичных геологическими катастрофах [12].

Основной целью наших исследований, результаты которых приведены в данной работе, заключается в ознакомлении с анализом стихийных бедствий в Таджикистане в период с 2020 по 2023 годы, с акцентом на применении использования технологий дистанционного зондирования - БПЛА. В процессе исследований изучены текущее состояние селепроявлений в Таджикистане, оценка их воздействия на население и экономику, а также

выявление уязвимых территорий, подверженных стихийным бедствиям. Использование технологии БПЛА, позволяет получить ценную информацию не только о развитии селей, но также позволяет управлять снижением или исключением рисков стихийных бедствий, оценить масштабы ущерба и отследить следы предыдущих стихийных бедствий способствующие повысить уровень готовности к будущим чрезвычайным ситуациям. Внедрение БПЛА в практику мониторинга и оценки рисков, позволяет в нынешних условиях повысить потенциал реагирования на стихийные бедствия, обеспечивающие безопасность и устойчивость сообществ в Таджикистане.

Краткий обзор проблемы. Нами на фоне возрастающей угрозы стихийных бедствий, особое внимание уделено селепроявлениям на территории Таджикистана, частота и интенсивность которых за последние годы возрастает, создавая значительные риски для инфраструктуры и жизни людей. Использование БПЛА, в том числе QC-2 Micro и квадрокоптер DJI Phantom 4, являются современными технологиями и техническими средствами при картировании и мониторинге стихийных бедствий. Основной задачей настоящих исследований была анализ опасных природных явлений и их картирование, в частности селепроявлений, в горно-предгорной зоне Таджикистана за период с 2020 по 2023 годы. Результаты подчеркивают важность использования современных технологий для эффективного анализа и управления рисками стихийных бедствий в Таджикистане.

Материалы и методы

Анализ стихийных бедствий в Таджикистане (2020-2023 гг.)

Для анализа стихийных бедствий в Таджикистане, за период с 2020 по 2023 годы, были изучены данные из отчетов Комитета по чрезвычайным ситуациям и гражданской обороне при Правитель-

стве Республики Таджикистан (КЧСиГО ПРТ), других ресурсов а также во время собственных полевых работ в зонах подверженных воздействию стихийных бедствий. При этом, осуществлен ежегодный анализ статистических данных количества и видов стихийных бедствий (лавины, сели, землетрясения, сильные ветры, проливные дожди, камнепады, оползни, повышение уровня воды в водохранилищах, грозы и другие). Методика проведения исследований подразумевала сбор и анализ данных о частоте и влиянии стихийных бедствий на различные сектора экономики и население Таджикистана, с установлением финансового ущерба.

Технология БПЛА и Sentinel-2 для картирования и мониторинга бедствий. С начала 2017 г. по настоящее время Научно-исследовательским центром окружающей среды Центральной Азии (Душанбе) совместно с научными учреждениями Национальной академии наук Таджикистана (НАНТ) и при содействии Комитета по чрезвычайным ситуациям при Правительстве Республики Таджикистан (КЧСиГО ПРТ) осуществляется мониторинг опасных природных явлений (ОПЯ) с использованием БПЛА. В частности, в период 2020-2023 гг. БПЛА были применены при

исследования участков схода селевого потока в Хуросонском районе Хатлонской области (май 2020 г.), Таджикабадском районе (август, 2020 г.), Вахшском районе Хатлонской области (май, 2021 г.), городе Пенджикент Согдийской области (июль, 2021 г.) Лахшском районе (Август, 2022), Варзобском районе (август 2023) и др. (рис. 1).

Мониторинговые исследования зон с селеопасными процессами с использованием БПЛА осуществлялись в разных высотных условиях. В частности, максимальная высота полета при исследовании последствий селепроявления выявленного в селе «Иттифок» сельского джамоата «20-летие независимости Таджикистана» Вахшского района Хатлонской области составляла 684 м над ур. м. а для участка Арчакапа (бассейн ледника Баральмос, в настоящее время называется ледник Саид Нафиси [13] Лахшского района оно составляла 6209 м над ур. м. Обязательными условиями аэрофотосъемки являются поперечное и продольные перекрытия снимков а также и высота полёта которые должны быть запланированы с учётом ландшафта местности.

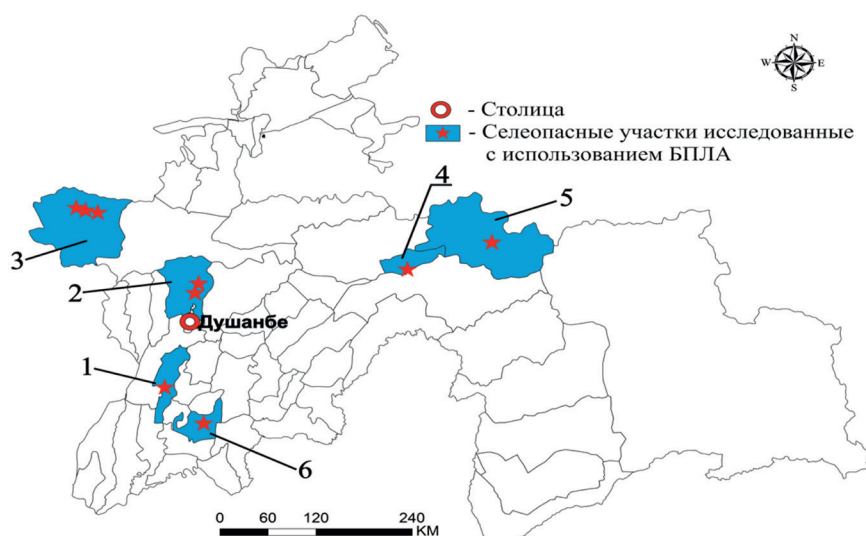


Рисунок 1. Мониторинг селей в Таджикистане с использованием БПЛА в период 2020-2023. 1- Хуросонский район, 2- Варзобский район, 3- город Пенджикент, 4- Таджикабадский район, 5- Лахшский район и 6- Вахшский район

Селеопасные участки исследованные с помощью БПЛА в период 2020-2023 и параметры аэрофотосъемки представлены в таблице 1.

Таблица 1

Селеопасные участки исследованные с помощью БПЛА
в период 2020-2023 и параметры аэрофотосъемки

Название участка	Район/город	Область /Районы республиканского подчинения (РРП)	Бассейн реки	Тип БПЛА	Макс. выс. полета (над ур. м.)	Разрешение ортофотоплана (см/пиксель)	Год
Сельский джамоат Айни	Хурсон	Хатлонская область	Вахш	DJI Phantom, QC-2 Микро	1050	5.62	2020
Участок Марг (бассейн реки Шурак)	Таджикабад	РРП	Вахш (суббассейн Сурхоб)	QC-2 Микро	3300 м	9.33	2020
Село Иттифок	Вахш	Хатлонская область	Вахш	QC-2 Микро	684 м	4.69	2021
Киштудак	Пенджикент	Согдийская область	Зеравшан	QC-2 Микро	3513 м	18.6	2021
Вешист	Пенджикент	Согдийская область	Зеравшан	QC-2 Микро	3308 м	17	2021
Участок Арчакапа	Лахш	РРП	Вахш (суббассейн Сурхоб)	DJI Phantom, QC-2 Микро	6209 м	43	2022
Участок Гусгарф	Варзоб	РРП	Кафирниган	DJI Phantom	1399 м	12.2	2023
50 км автодороги Душанбе - Худжанд	Варзоб	РРП	Кафирниган	DJI Phantom	1922 м	9.8	2023

Аэрофотосъемка и детальное исследование селевых потоков проводились с использованием квадрокоптера DJI Phantom 4 и беспилотного летательного аппарата QC-2 Микро шириной 1,8 м и длиной 1,1 м, имеющим время полета более 1 часа и оснащенным камерой Sony RX1R. На ход полевых работ повлияли различные факторы, в том числе высота полета, влияющая на качество изображе-

ния, плотность воздуха на больших высотах и вероятность внезапных изменений погоды, таких как увеличение скорости ветра, осадков и дождевых облаков. Важно было учитывать радиус полета БПЛА и следить за его состоянием, включая местоположение, скорость, высоту и уровень заряда батареи.

Проблемы, с которыми мы столкнулись во время исследований с использо-

ванием БПЛА, включали поиск подходящей посадочной поверхности, изменение погоды и потерю сигнала из-за гористой местности, блокирующей связь между районом исследования и местом взлета и посадки БПЛА. Алгоритм полевого мониторинга включал выбор оптимального места взлета и посадки, осмотр исследуемой территории на наличие препятствий, проверку предполетных задач, проведение аэрофотосъемки, контроль технического состояния БПЛА, ручную посадку БПЛА, загрузку изображений и POS-данных для обработки. Высота полета и разрешение изображения определялись исходя из целей исследования и природных условий, при этом более высокие масштабы обеспечивают более детальное исследование элементов и процессов селей. Для создания ортофотопланов высокого разрешения и цифровых моделей рельефа [14-15] собранные аэрофотоснимки и данные POS были обработаны с помощью MS Excel и Pix4Dmapper, объединяя все изображения в скоординированный слой для дальнейшего анализа в программном продукте ArcGIS в котором масштабированные фотографии БПЛА и космоснимки с целью оценки изменений до и после прохождения селей можно сравнить

между собой, а также провести нужные нами исследования [16-17]. Также нами в этом исследовании спутниковые снимки Sentinel-2 использовались для анализа выбранных участков с использованием NDWI и NDVI для определения состояния растительности, плотности и наличия водоемов, которые могут влиять на риск селей на исследуемой территории. Например, снижение значений NDVI может сигнализировать о стрессе растительности или изменениях земного покрова, что потенциально повышает риск селей.

Результаты и их обсуждение

Стихийные бедствия в Таджикистане за 2020-2023 гг. и результаты их мониторинга с помощью БПЛА. Полученные результаты позволяют делать вывод от том, что в Таджикистане ежегодно постоянно возникают стихийные бедствия. На рис. 2 представлена информация о стихийных бедствиях в Таджикистане, за период с 2020 - 2023 гг. и было установлено, что 1826 бедствий сопровождалось человеческими жертвами и стали причиной гибели которого погибли 109 человек. Количество бедствий в 2023 г. по сравнению с 2022 г. уменьшилось на 25.1%, а количество селей в 37.9%.

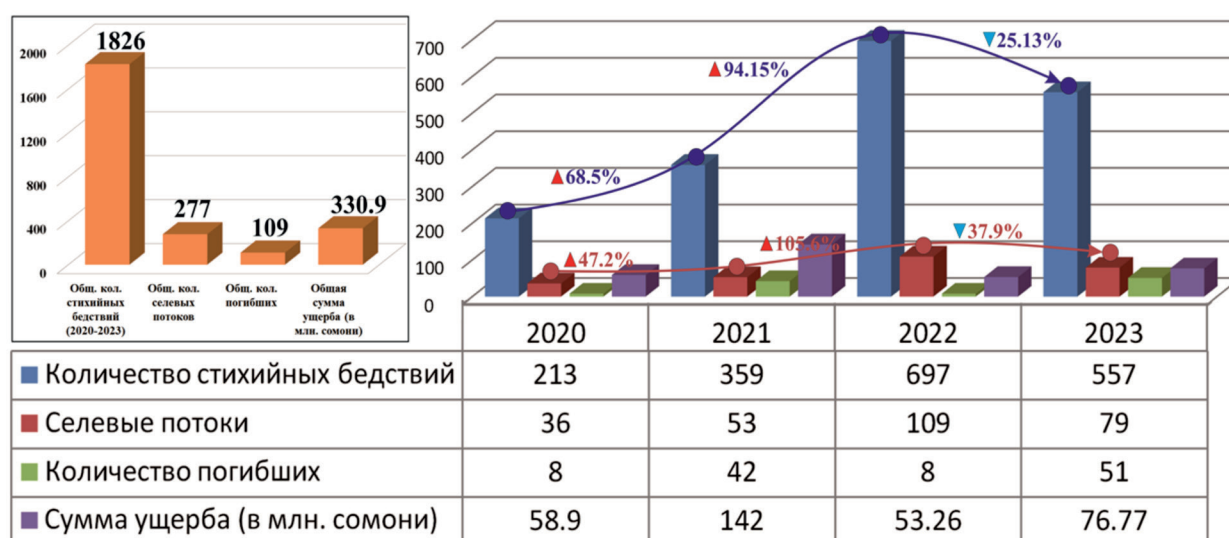


Рисунок 2. Стихийные бедствия в Таджикистане за период 2020-2023гг.

За 2020 г. зарегистрированы 213 чрезвычайных случаев природного характера, в том числе 95 случаев схода лавин, 36 случаев селей, 30 землетрясений, 21 сильных ветров, 9 проливных дождей, 9 камнепадов, 6 оползней, 4 случая подъема уровня воды в водохранилищах и 2 случая грозы. Анализ чрезвычайных ситуаций (ЧС) 2021 года, показал, что на территории республики зарегистрировано 359 стихийных бедствий, в том числе: 153 схода лавин, 53 наводнения, 42 камнепада, 40 сильных ветров, 33 землетрясения, 19 подъемов уровня воды в водохранилищах, 8 проливных дождей, 7 оползней. 1 эрозия почвы с обрушением, 1 сильный холод и 1 гроза с молнией.

Следует отметить, что по данным КЧ-СиГО ПРТ за 2022 г. количество стихийных бедствий составило 697 т.е. на 94,2% больше чем в 2021 г., а количество селей, за тот же период, также увеличилось 2,1 раза. А в 2023 г. в Таджикистане 48 из 557 зафиксированных чрезвычайных природных ситуаций нанесли ущерб населению и экономике страны на сумму 76 млн. 770 тыс. 210 сомони. (Источник: <https://kchs.tj/node/3440?ysclid=lsipuji4n6566877730>).

Относительно ситуации 2020 года, установлено, что сумма ущерба по стихийным бедствиям и катастрофам составила 58 911 400 сомони (5,2 млн. долларов США) из которых 20 289 300 сомони (около 1,79 млн. долларов США) от последствий схода селей (Источники: <https://kchs.tj/node/1875> и <https://avesta.tj/2021/02/11/ushherb-ot-stihijnyh-bedstvij-za-proshlyj-god-v-tadzhikistane-prevysil-5-2-mln/>).

Сумма ущерба по стихийным бедствиям за 2021 г. составила около 142 млн. сомони (12,5 млн. долларов США) из ко-

торых 104 млн. сомони (около 9.1 млн. долларов США) от последствий схода селевых потоков (около 73 %) (Источник: <https://asiaplustj.info/news/tajikistan/security/-20230207/stihiinie-bedstviya-v-tadzhikistane-v-2022-m-godu-nanesli-utsherb-na-sum-mu-svishe-53-milliona-somoni?ysclid=lsippwx29c347714797>) а в 2022 году ущерб, нанесенный стихийными бедствиями Таджикистану, составил сумму в 53 млн 261 тыс. 500 сомони (около 5,2 млн. долларов США). За последние четыре года общая сумма ущерба от природных явлений достигла 330 миллионов 991 тысячу 300 сомони (Источник: <https://asiaplustj.info/ru/news/tajikistan/society/20240207/stihiya-unesla-zhizni-51-chelovek-i-nanesla-utsherb-tadzhikistanuna-76-millionov-somoni>) (около 30,2 млн. долларов США по курсу Национального банка Таджикистана от 07 февраля 2024 г.). Анализ и оценка полученных нами результатов позволили получить информацию о селевой активности за 2020-2023 году. Карта селепроявлений в Таджикистане за 2020-2023гг. показано рис. 3.

Данные представленные на рис. 3, подтверждают факт того, что ареал распространения стихийных бедствий на территории Таджикистана очень широк. С учетом существующей ситуации, реализация целей и задач работы с использованием современных технологий мониторинга в том числе БПЛА зон с рисками стихийных бедствий, а также способы её обработки позволили получить оперативные, актуальные данные о состоянии селеопасных районов и оценить масштаб ущерба от последствий селевого потока в различных районах Таджикистана за период 2020-2023 гг. (рис. 4).

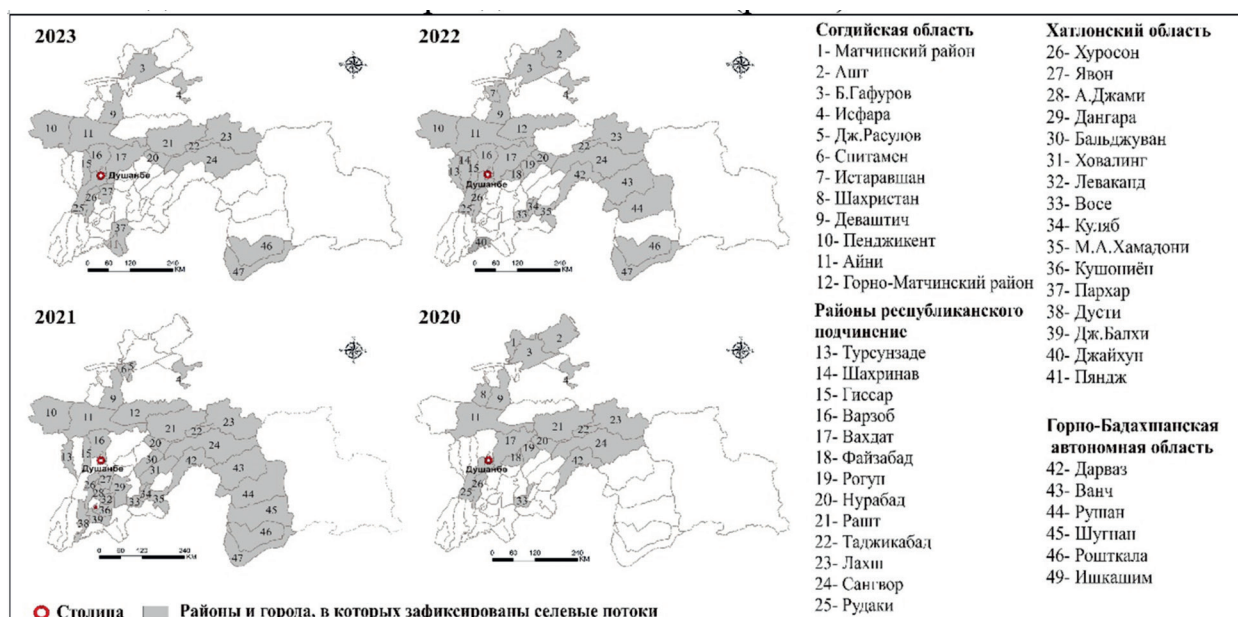


Рисунок 3. Карта селепроявлений в Таджикистане за 2020-2023гг.

Исследования, проведенные с использованием аэрофотосъемок и изучение архивных данных, а также анализ орографии местности подтвердили факт, периодической подверженности этих участков селепроявлениям. В частности, в бассейне р. Шурак (Таджикабадский район) периодически образуются селевые потоки дождевого и гляциального характера. Характерной особенностью данного исследуемого участка является, периодические селепроявления, с нанесением значительного ущерба народному хозяйству и некоторых случаях жилым домам. Так например, сравнительный анализ данных космосъемок 2007, 2017 гг. и аэрофотосъемки участка Марг бассейна реки Шурак (рис. 4б), выполненные с использованием БПЛА в 2020 г. позволили выявить изменения территорий подверженных селевым потокам, а также исследовать ранние образовавшиеся селеопасные зоны и трассы селевых потоков. Площадь селевого конуса выноса данного участка увеличилась, речка поменяла направление своего русла, были разрушены сельскохозяйственные земли и временные постройки фермеров. Установленные факты также подтверждены на основе опроса со

старожилами данной местности.

Одним из объектов исследований была территория Пенджикентского района. Была выполнена аэрофотосъемка селеопасных участков Киштудак и Вешист (рис. 4г). Результаты аэрофотосъемочных работ позволили за короткий срок выявить следы формирования, пути движения селевого потока, оценить состояние разрушенной инфраструктуры и выявить границы селевых отложений и их влияние на русло р. Зеравшан. В частности, на участке села Вешист (рис. 4г) четко видны изменения после схода селевого потока - разрушенный мост, селевые отложения на участках земли жилого дома и на берегу реки Зеравшан. Начиная с 2013 по 2021 году площадь селевых отложений увеличилась. В частности длина отложений в направлении реки Зеравшан составила более чем на 120 метров, что привело к изменению её береговой линии. Установлено, что селевые потоки по данному руслу проходят часто, в том числе в период между 2013 и 2021 гг.

В районе Лахша на склонах хребта Петра Первого в последние десятилетия участились сходы селевых потоков разного типа и объемов. В частности в низовьях

ледника Баральмос [18], где за счет таяния ледника и прорыва ледниковых озер периодически образуются селевые потоки в бассейне р. Арчакапа. Следствием прорыва ледников озер являются селевые потоки и прорывные паводки, распространяющиеся на десятки километров вниз по долинам [19]. Селевые потоки в данном исследуемой территории приводят к разрушениям международной автомобильной трассы и перекрытия русла р. Сурхоб и др (рис. 4д). Результаты съемки с помощью БПЛА, проведенной с 2020 по

2022 год, свидетельствуют о том, что на исследуемой территории произошло три прорыва ледниковых озер.

Данные аэрофотосъемки, полученные с помощью БПЛА, выявили изменения площади селевого конуса и воздействия селя на водоразделе Сурхоб. Это изменение можно объяснить периодическими селями, которые привели к разностороннему характеру реки Сурхоб за счет накопления разнообразных селевых отложений от верхнего до нижнего течения.

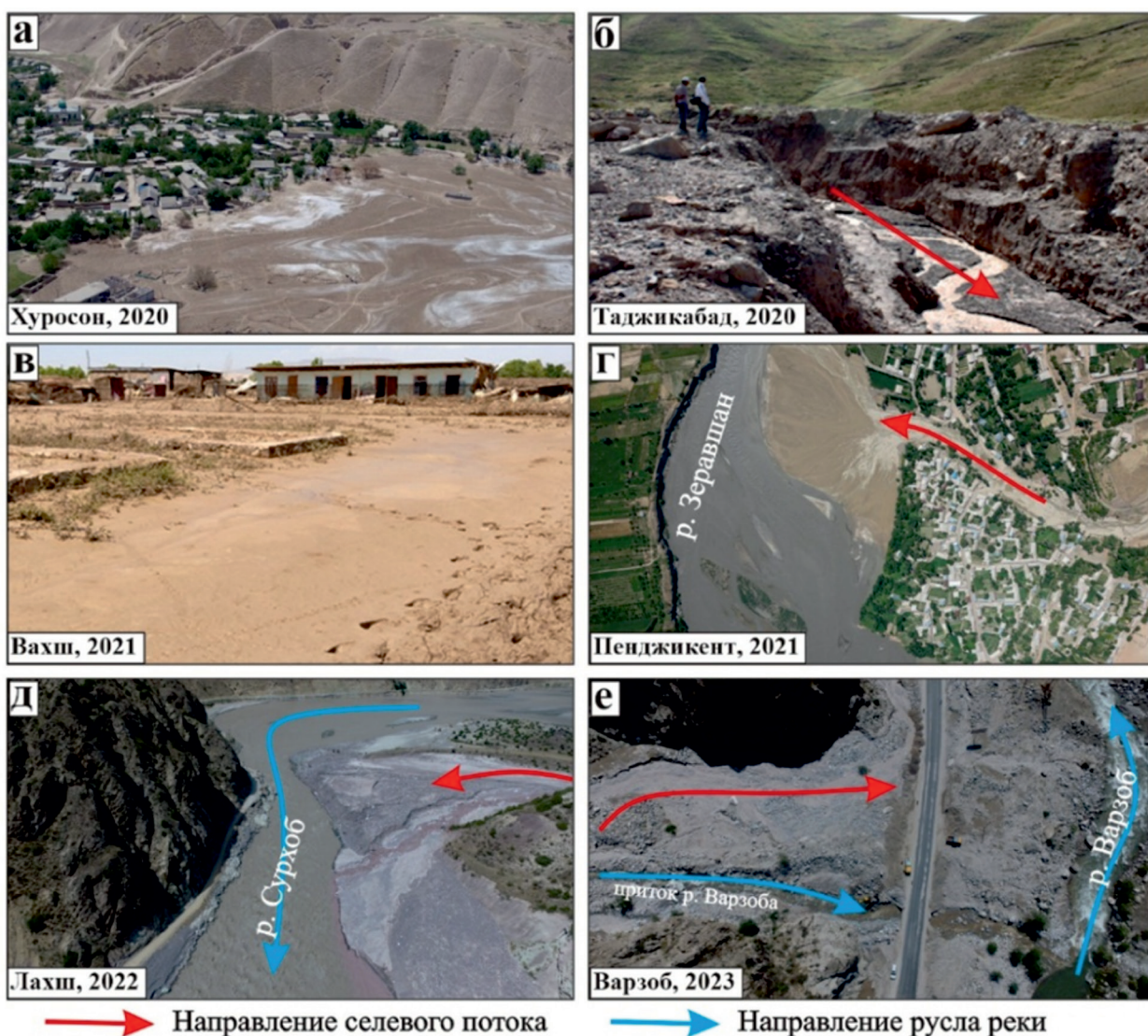


Рисунок 4. Последствия селевого потока в различных районах Таджикистана за период 2020-2023 гг. Фото М.С. Сафарова

Исследования проведены также на отдельных участках автодороги Душанбе-Худжанд подверженные селевым потокам и лавинам в зависимости от сезона. Аэрофотосъемочные работы были проведены на участках Гусгарф и 50 км (между толлинговой плазы Гушары и поворотом Сиёма) (рис. 4е) на территории Варзобского района в результате которого были повреждены дома, усадьбы, транспортные средства, автомобильная трасса а также 15 автомобилей были завалены грязекаменной массой.

Полевые работы включали проведение аэрофотосъемки последствий схода селевых потоков, на отдельных участках сельского джамоата имени С. Айни Хуросонского района Хатлонской области, подтопившие жилые дома и приусадебные участки местных жителей. В общей

сложности от селей и оползней пострадали 338 жилых домов, из которых 14 домов были разрушены полностью, 1 дом частично, а 12 домов, были разобраны самими местными.

Исследуя ситуацию с селепроявлениями в Вахшском районе, установлено, что здесь в результате стихии пострадали 4 кишлака. По оперативным данным штаба по устранению последствий стихии на 16 мая 2021, в результате селевого потока 46 домов разрушены полностью и 43 дома пострадали частично, затоплены 2,5 тыс. га земли, 5 мостов, одна водораспределительная станция и автодороги (Источник: <https://asiaplustj.info/ru/news/tajikistan/society/20210517/novii-dom-dlya-odnoi-iz-postradavshih-semei-v-vahshe-postroit-institut-energetiki?ysclid=lsikiqkazp423398245>).

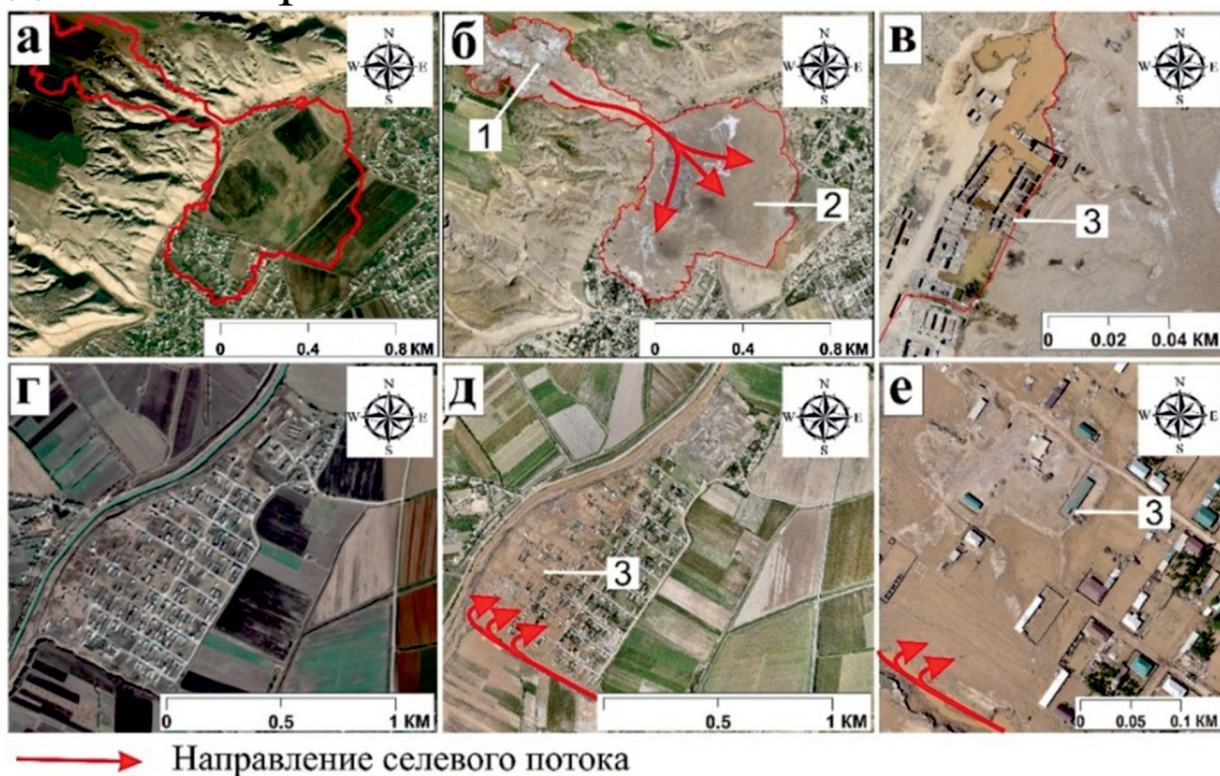


Рисунок 5. Картирование исследуемых участков до и после схода селевого потока в Хуросонском (а,б,в) и Вахшском (г,д,е) районах Хатлонской области: а, г - снимки ©Google Earth до схода селевого потока; б, в, д, е- ортомозаики участков полученные по результатам аэрофотосъемки с использованием БПЛА после схода селевого потока. Обозначения: 1 – зона формирования селя, 2 – селевые отложения, 3 – жилые дома разрушенные после схода селя.

Пространственное разрешение – 5,62 см/пиксель (Хуросонский район) и 4,69 см/пиксель (Вахшский район).

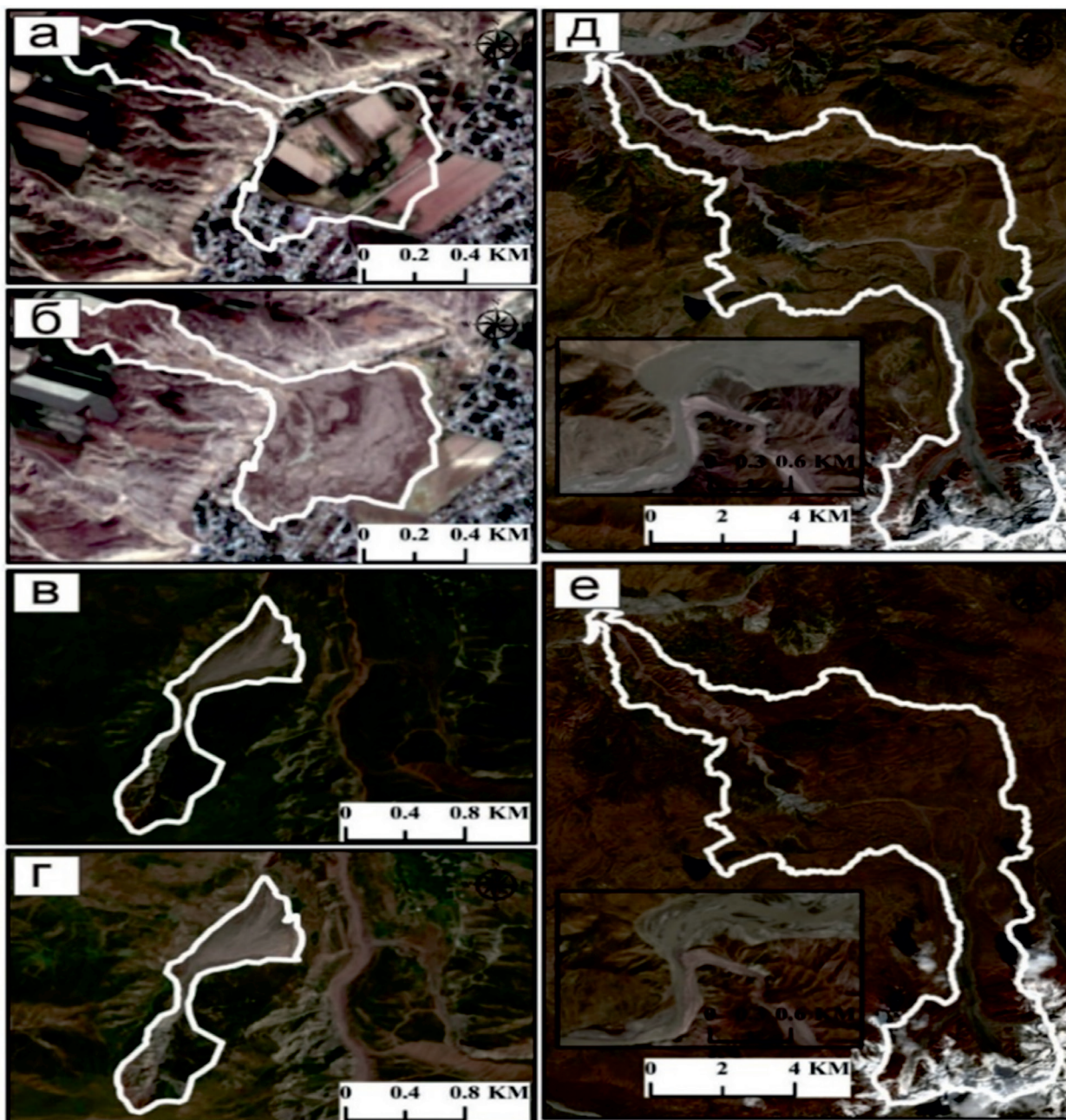


Рисунок 6. Наблюдение по изображениям Sentinel-2 до (а, в и д) и после события (б, г и е) на выбранных участках. а, б - Хуросон, в, г - Таджикабад, д, е- Лахи.

При анализе космических снимков с ресурса Google Earth до схода селевого потока и аэрофотосъемок с использованием БПЛА выполненные после схода селевого потока были выявлены разрушение дома, зона формирования и аккумуляции селевого потока, разрушенные дороги и другие пострадавшие объекты. Результаты картирования исследуемых участков до и после схода селевого потока в Хуросонском (а,б,в) и Вахшском (г,д,е) районах

Хатлонской области показаны на рис. 5.

С помощью Sentinel-2 наиболее заметные изменения были выявлены на участке Хуросон (рис. 6а-б), где как NDWI, так и NDVI продемонстрировали значительные изменения после селя (рис. 6).

Кроме того, заметные изменения наблюдались также в Таджикабадском и Лахшском районах, где часто встречаются сели грязекаменного типа. Установлено, что на участке Хуросон в основном

наблюдаются сели дождевого характера, а на участке Таджикабад – сели дождевого и снегового происхождения. С другой стороны, район Лахша подвержен селям, вызванным ледниковыми явлениями, причем оползни вызваны прорывами ледниковых озер на леднике Саид Нафиси (Баралмос). Уникальная природа этих селевых явлений подчеркивает раз-

нообразие факторов окружающей среды, действующих в каждом регионе, определяющих возникновение и воздействие таких природных явлений. Наблюдение по изображениям Sentinel-2 до и после события на выбранных участках Хуросонского, Та-джикабадского и Лахшского районах представлены рис. 6 и 7.

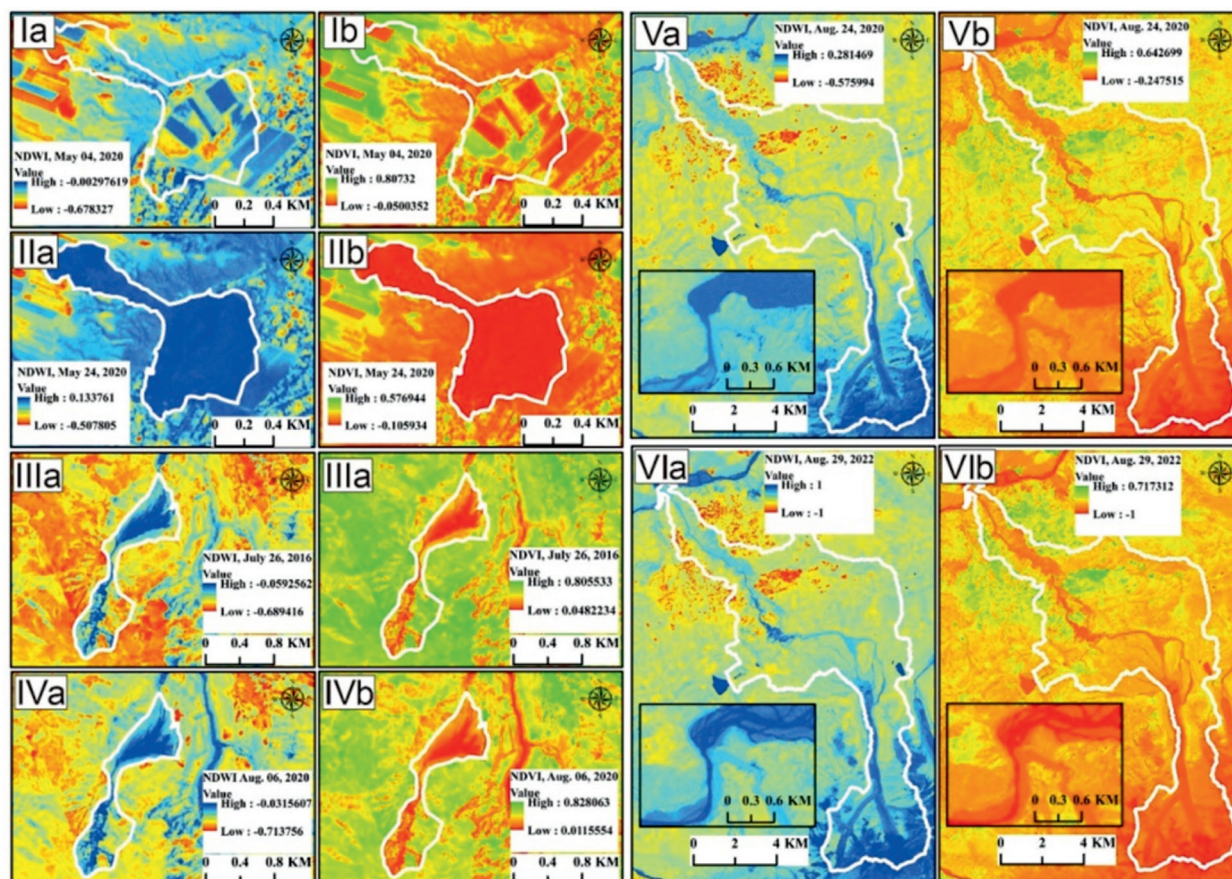


Рисунок 7. Результаты с применением NDWI и NDVI на выбранных участках районов Хуросон (I-II), Таджикабад (III-IV) и Лахш (V-VI) до (Ia-c, IIIa-c, Va-c) и после селевых потоков (IIa-c, IVa-c, VIa-c).

Таким образом, по результатам исследования территорий горно-предгорной зоны Таджикистана подверженных опасным природным явлениям (селям) обозначены зоны зарождения, транзита и отложения грязекаменных и глинистых по составу потоков. На рис. 8 показаны картирование участков подверженных селевым потокам различных районов Таджикистана. Установлено, что на трёх

исследованных участках селевые потоки по составу глинистые, на двух участках грязекаменный и на одном участке поток представляет из себя смесь глинистого и грязекаменного состава. На основании выявленных новых и старых селевых отложений, подтверждена периодичность селевых явлений на исследуемых участках.

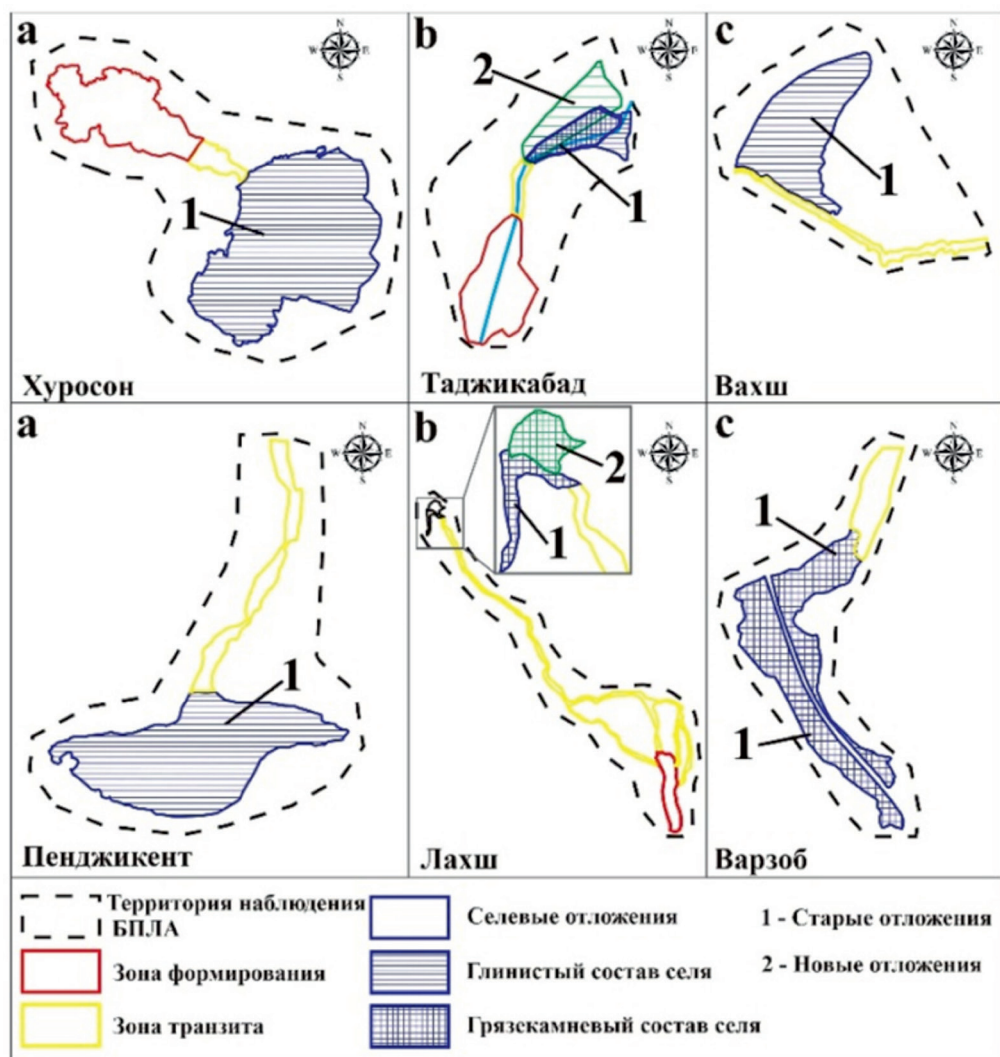


Рисунок 8. Картирование участков подверженных селевым потокам в Таджикистане на примере выбранных участков

Выводы

1. Результаты исследований, (2020 по 2023 гг), позволили установить распространенность и влияние опасных природных явлений, в частности селей, в Таджикистане.

2. Эффективность технологии БПЛА в картировании и мониторинге селевых явлений, с целью получения информации для управления стихийными бедствиями и реагирования на них, подтверждена. Результаты подчеркивают важность использования технологий дистанционного зондирования для исследования стихийных бедствий и своевременного реагирования.

3. Проведенные исследования позволили выявить подверженные к рискам стихийных бедствий зоны, оценить ущерб и установить степень влияния селей в различных регионах Таджикистана.

4. Применение технологии БПЛА в стратегии мониторинга и оценки, позволить повысить степень готовности и устойчивости к стихийным бедствиям, позволяющие свести к минимуму ущерб инфраструктуре и исключить человеческие потери.

Литература

1. Scaini, C., Tamaro, A., Adilkhan, B., Sarzhanov, S., Ergashev, Z., Umaraliev, R., Safarov, M., Belikov, V., Karayev, J., and Fagà, E.: A regional-scale approach

- to assessing non-residential building, transportation and cropland exposure in Central Asia, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 24, 355–373, <https://doi.org/10.5194/nhess-24-355-2024>, 2024.
2. Фазылов А.Р., Фазылов В.А. Гидротехнические мероприятия и регулирование селей в условиях изменения климата // *Вестник Донского государственного аграрного университета.* – № 2-1(24). – С. 105-113. - 2017а.
 3. МГЭИК, 2014: Изменение климата, 2014 г.: Обобщающий доклад. Вклад Рабочих групп I, II и III в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата [основная группа авторов, Р.К. Пачаури и Л.А. Мейер (ред.)]. МГЭИК, Женева, Швейцария, 163 с.
 4. Фазылов А.Р., Лавров Н.П., Ниязов Д.Б. Селевая безопасность в Таджикистане // *Сб. науч. тр. ФГБОУ ВПО РГАТУ «Современные энерго- и ресурсосберегающие, экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства»*; под ред. Н.В. Бышова. - Рязань, -С. 77,80. 2017b.
 5. Медеу А.Р., Аскарлова М.А., Благовещенский В.П. [и др.]. Концепция мониторинга селевой опасности в Иле Алатау // *Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита : труды 5-й Международной конференции, Тбилиси, Грузия, 01–05 октября 2018 года / Селевая ассоциация; Институт водного хозяйства им. Ц. Мирцхулава Грузинского технического университета.* – Тбилиси, Грузия: Универсал, 2018. – С. 492-498. – EDN VUJUOV.
 6. Смирнова И.О., Кирсанов А.А. Состояние и перспективы использования данных дистанционного зондирования при изучении экзогенных геологических процессов на примере оползней // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса.* – 2021. – Т. 18. – №. 3. – С. 26-48.
 7. Магомедова С.Х. Мониторинг стихийных бедствий с использованием беспилотных летательных аппаратов // *Новая наука: история становления, современное состояние, перспективы развития.* – 2021. – С. 46-49.
 8. Мусаева М.Х., Калел М.Х., Ергалиев Д.С. Интеграция систем ДЗЗ и БПЛА для предотвращения и мониторинга чрезвычайных ситуаций в Республике Казахстан // *Труды Международного симпозиума «Надежность и качество».* – 2018. – Т. 2. – С. 27-29.
 9. Сафаров М.С., Фазылов А.Р. Применение современных технологий дистанционного зондирования для мониторинга селеопасных районов горных территорий // *ГеоРиск.* –Том XIV, -2020. -№2. -С. 32-41, <https://doi.org/10.25296/1997-8669-2020-14-2-32-41>
 10. Макушенко, Е.С. Перспективные сферы применения беспилотных летательных аппаратов / Е. С. Макушенко // *Приоритеты новой экономики: энергопереход 4.0 и цифровая трансформация : Сборник тезисов всероссийской научно-практической конференции, Москва, 15 декабря 2021 года / Под редакцией И.М. Степнова, Ю.А. Ковальчук.* – Москва: Московский государственный институт международных отношений (университет) Министерства иностранных дел Российской Федерации, 2022. – С. 170-173. – EDN PPRXSW.
 11. Ступин В.П., Пластинин Л.А., Олзоев Б.Н., 2020. Возможности материалов дистанционного зондирования как информационной основы картографирования селевой опасности Байкальской горной области. *ГеоРиск*, Том XIV, № 2, с. 78–87, <https://doi.org/10.25296/1997-8669-2020-14-2-78-87>

12. Шварев С.В., Харченко С.В., Голосов В.Н., Успенский М.И., 2020. Причины и последствия техногенной активизации селей в 2006–2019 гг. на водосборе притока руч. Сулимовский (район пос. Красная Поляна, Западный Кавказ). ГеоРиск, Том XIV, № 2, с. 66–76, <https://doi.org/10.25296/1997-8669-2020-14-2-66-76>.
13. Постановление Правительство Республики Таджикистан от 30 июня 2021 г. № 269. О переименование географических объектов территории Республрики Таджикистан. 2021.
14. Karamuz E., Romanowicz R. J., Doroszkiewicz J. The use of unmanned aerial vehicles in flood hazard assessment // Journal of Flood Risk Management. – 2020. – Т. 13. – №. 4. – С. e12622.
15. Сафаров М.С., Фазылов А.Р. Селевая активность в бассейне реки Арчакапа // Известия Национальной академии наук Таджикистана. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. – 2022. – № 2(187). – С. 125-135. – EDN ZYTWVQ.
16. Докукин М.Д., Беккиев М.Ю., Калов Р.Х. Транзит и аккумуляция селей реки Герхожан-Су на участке селепропускного канала в городе Тырныауз // Гидросфера. Опасные процессы и явления. Т.3. Вып. 1. С. 8–18. DOI: 10.34753/HS.2021.3.1.8. 2021a.
17. 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 Общероссийской научно-практической конференции, Москва, 18 марта 2021 года. – Москва: Геомаркетинг,– С. 59-68. – EDN OPRUCV. 2021b.
18. Каталог ледников СССР / Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР, Ин-т географии АН СССР Средняя Азия. Вып. 3. Аму-Дарья. Ч. 6. Бассейн р. Сурхоб между устьями рек Обихингоу и Муксу. Ленинград. 1971. 92 с.
19. 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 Общероссийской научно-практической конференции, Москва, 18 марта 2021 года. – Москва: Геомаркетинг,– С. 59-68. – EDN OPRUCV. 2021b.

МОНИТОРИНГ ВА ТАҲЛИЛИ ВАЗЪИ КУНУНИИ ХАТАРҲОИ ТАБИӢ ДАР ТОҶИКИСТОН: ҲАМГИРОИИ ҲАВОПАЙМОҲОИ БЕСАРНИШИН ВА МАӢЛУМОТҲОИ ЗОНДКУНИИ ФОСИЛАИ ЗАМИН

*Сафаров М.С., Фазылов А.Р., Гулаёзов М.Ш.
Наврӯзшоев Ҳ.Д., Мамадҷонов Ю.*

Аннотатсия. Дар Тоҷикистон офатҳои табиӣ, аз ҷумла сел ба инфрасохтор ва ҳаёти одамон хатари ҷиддӣ эҷод мекунанд. Шиддатнокии ин офатҳои табиӣ дар солҳои охир афзоиш ёфта, мониторинг ва стратегияҳои самараноки идоракуниро тақозо мекунанд. Айни замон ҳавопаймоҳои бесарнишин барои харитасозӣ ва таҳқиқи офатҳои табиӣ ба як асбоби зарурӣ табдил ёфтаанд. Ҳадафи асосии ин наҷӯҳии таҳлили падидаҳои хатарнокӣ табиат ва харитасозии онҳо, бахусус,

селҳо дар минтақаи кӯҳистонӣ ва доманақӯҳҳои Тоҷикистон дар солҳои 2020-2023 мебошад. Татбиқи мониторинг ва омӯзиши ин минтақаҳо бо истифода аз ҳавопаймои бесарнишини QC-2 Micro бо давомнокии парвоз зиёда аз 1 соат, бо камераи Sony RX1R мучаҳазишуда ва квадрокоптери DJI Phantom 4 дар ноҳияҳои Хуросон ва Ваҳши вилояти Хатлон, шаҳри Панҷакенти вилояти Сӯғд, инчунин дар Тоҷикобод, Лаҳш ва Варзоби ноҳияҳои тобеи ҷумҳурӣ, сурат гирифт. Натиҷаҳои бадастомада имкон медиҳанд, ки тасдиқ кунем, ки сел аз офатҳои харобиовартаини табиӣ буда, ҳисороти зиёди иҷтимоӣ-иқтисодӣ мерасонад ва мутаассифона, боиси талафоти одамон мегардад. Муайян карда шудааст, ки дар солҳои 2020-2023 дар 49 шаҳру ноҳияҳои Тоҷикистон сел ба қайд гирифта шуда, ҳаҷми ҳисорот ҳудуди 30,2 миллион долларро ташиқл додааст. Харитасозӣ ва мониторинг бо истифода аз ҳавопаймоҳои бесарнишини метавонад маълумотро барои таҳлили ҳисорот, муайян кардани минтақаҳои осебпазир ва қўмак дар воқуни ба ҳолатҳои фавқулодда, инчунин таҳияи чораҳо оид ба рафъ ё пешгирии хатарҳо таъмин намояд. Ҳамин тариқ, дар омӯзиши ҳодисаҳои хавфнокӣ минтақаи кӯҳсору доманақӯҳи Тоҷикистон истифода бурдани технология ва воситаҳои техникии ҳозиразамон вазифаи таъхирнопазир мебошад.

Калидвожаҳо: Тоҷикистон, офатҳои табиӣ, сел, мониторинг, таҳлил, таҳқиқот, идоракунии зондукунии фосилавии Замин, моҳвораҳо, ҳавопаймоҳои бесарнишин.

MONITORING AND ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF NATURAL HAZARDS IN TAJIKISTAN: INTEGRATION OF UAVS AND EARTH REMOTE SENSING DATA

**Safarov M.S., Fazilov A.R., Gulayozov M.Sh.
Navruzshoev H.D., Mamadjonov Yu.**

Annotation. In Tajikistan, hazardous natural occurrences, including mudflows, pose a considerable threat to infrastructures and people's lives. The frequency and intensity of these natural disasters have escalated in recent years, necessitating efficient monitoring and management strategies. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) have emerged as valuable tools for disaster mapping and research. This study focuses on the analysis and mapping of natural hazards in various regions of Tajikistan from 2020 to 2023, with a special focus on mudflows, using a small-sized QC-2 Micro UAV with flight duration of more than 1 hour, equipped with a Sony RX1R camera and a DJI Phantom quadcopter 4 to monitor and study them. Field work included aerial photography of the consequences of mudflows in the Khuroson and Vakhsh districts of the Khatlon region, the Penjikent district of the Sughd region, as well as the Tajikabad, Lakhsh, Varzob districts of republican subordination (DRS). The findings indicate that mudflows are among the most devastating natural disasters, causing significant damage and loss of life. During 2020-2023 mud-flows were recorded in 49 districts and cities of Tajikistan and the amount of damage amounted to about 30.2 million US dollars. Mapping and monitoring using UAVs provided vital data to analyze the extent of damage, identify vulnerable areas, and support emergency response efforts. The study underscores the importance of employing modern technologies to mitigate and manage disaster risk in Tajikistan.

Keywords: Tajikistan, natural hazards, mudflows, monitoring, analysis, research, management, remote sensing of the Earth, satellites, unmanned aerial vehicles

Маълумот дар бораи муаллиф: Сафаров Мустафо Сулаймонович, PhD, муҳандис оид ба ҳавопаймоҳои бесарнишини Маркази илмӣ-таҳқиқотии экология ва муҳити зисти Осиёи Марказӣ (Душанбе), Постдоранти Институти Шимолу шарқии экология, муҳити зист ва захираҳои Академии илмҳои Хитой, E-mail: mustafo-2010@mail.ru, тел.: 904-10-01-44; Фазылов Али Рахматджанович, доктори илмҳои техникӣ, дотсент, мудири лабораторияи «Иншоотҳои гидротехникӣ»-и Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ, E-mail: alifazilov53@gmail.com, тел: +992 918565070; Гулаёзов Мачид Шоназарович, номзади илмҳои географӣ, директори иҷроияи Маркази илмӣ-таҳқиқотии экология ва муҳити зисти Осиёи Марказӣ (Душанбе), E-mail: majid1983@mail.ru; тел: (+992) 915901113; Наврӯзшоев Х.Д., номзади илмҳои техникӣ, Муассисаи давлатии илмӣ «Маркази омӯзиши пирыҳои АМИТ», Институти омӯзиши ҷомеаҳои кӯҳистонии Донишгоҳи Осиёи Марказӣ, ш. Душанбе, Тоҷикистон; E-mail: hofiz.navruzshoev@gmail.com; Мамаджанов Ю., номзади илмҳои геологӣ-минералогӣ, котиби илмӣ

Маркази илмӣ-таҳқиқотии экология ва муҳити зисти Осиёи Марказӣ (Душанбе), Email: petrology@mail.ru.

Сведения об авторе: Сафаров Мустафо Сулаймонович, PhD, инженер по БПЛА Научно-исследовательского центра экологии и окружающей среды Центральной Азии (Душанбе), Постдокторант Северо-западного Института экосреды и ресурсов Китайской академии наук, E-mail: mustafo-2010@mail.ru, тел. : 904-10-01-44; Фазылов Али Рахматджанович, доктор технических наук, доцент, заведующий лабораторией «Гидротехнические сооружения» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ, E-mail: alifazilov53@gmail.com, тел: +992 918565070; Гулаёзов Маджид Шоназарович, кандидат географических наук, исполнительный директор Научно-исследовательского центра экологии и окружающей среды Центральной Азии (Душанбе), E-mail: majid1983@mail.ru; телефон: (+992) 915901113; Наврузшоев Х.Д., кандидат технических наук, Государственное научное учреждения «Центр изучения ледников Национальной академии наук Таджикистана», Институт исследования горных сообществ Университета Центральной Азии, Душанбе, Таджикистан; E-mail: hofiz.navruzshoev@gmail.com; Мамаджанов Ю., кандидат геолого-минералогических наук, Ученый секретарь Научно-исследовательского центра экологии и окружающей среды Центральной Азии (Душанбе), Email: petrology@mail.ru.

Information about the author: Safarov Mustafo Sulaymonovich, PhD, UAV engineer of the Research Center for Ecology and Environment of Central Asia (Dushanbe), Postdoctoral fellow of Northwest Institute of Eco-Environment and Resources of the Chinese Academy of Sciences, E-mail: mustafo-2010@mail.ru, tel.: 904-10-01-44; Fazylov Ali Rakhmatdzhonovich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Laboratory "Hydraulic Structures" of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences, E-mail: alifazilov53@gmail.com, tel: +992 918565070; Gulayozov Majid Shonazarovich, Candidate of Geographical Sciences, Executive Director of the Research Center for Ecology and Environment of Central Asia (Dushanbe), E-mail: majid1983@mail.ru; phone: (+992) 915901113. Navruzshoev K.D., Candidate of Technical Sciences, State Scientific Institution "Center for the Study of Glaciers of the National Academy of Sciences of Tajikistan", Mountain Societies Research Institute of the University of Central Asia, Dushanbe, Tajikistan; E-mail: hofiz.navruzshoev@gmail.com; Mamadzhonov Yu., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Scientific Secretary of the Scientific Research Center for Ecology and Environment of Central Asia (Dushanbe), Email: petrology@mail.ru.