

Оригинальная статья
<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-83-89>
УДК 551.311:623.746. –519: 556



ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ СЕЛЕПРОЯВЛЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БПЛА

А.Х. Шерхов[✉], З.Ж. Гергокова, А.Р. Акаев

ФГБУ «Высокогорный геофизический институт»; 360030, г. Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, пр. Ленина, 2, Россия

Аннотация. В рамках разработки совершенствования методов комплексного мониторинга опасных русловых и склоновых процессов авторами отрабатывались варианты использования беспилотного летательного аппарата (БПЛА) и профильного программного обеспечения в целях повышения качества материалов натурных обследований селеопасных участков. Достоверность количественного определения параметров селепроявлений является актуальной проблемой при оценке пространственно-временных изменений параметров селевых русел. Цель работы – количественная оценка динамики изменений ландшафта селитебных территорий, подверженных негативному воздействию, путем определения количественных значений морфометрических параметров селевого русла и прилегающей территории до прохождения селевого потока и после него. В частности, определялись объемы унесенного потоком грунта, а также объемы наносов на разных участках транзита селя. Путем сопоставительного анализа результатов программной обработки материалов съемки квадрокоптером проблемных зон селевого русла были получены значения объемов унесенного грунта (4376 м^3 на участке разрушения потоком автодороги) и селевых отложений (выше – 4623 м^3 , и ниже – 1788 м^3 автодорожного моста). Подобная информационная основа незаменима в решении задач обеспечения безопасности населенных пунктов и объектов экономики от негативного воздействия селевых потоков.

Ключевые слова: беспилотный летальный аппарат, наносоводный поток, селя, ортофотоплан, морфометрические параметры, объем наносов, ландшафт, мониторинг

Формат цитирования: Шерхов А.Х., Гергокова З.Ж., Акаев А.Р. Определение количественных значений параметров селепроявлений с использованием БПЛА // Природообустройство. 2024. № 2. С. 83-89. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-83-89>

Original article

DETERMINATION OF QUANTITATIVE VALUES OF MUDFLOWS PARAMETERS USING UAVS

A.H. Sherkhov[✉], Z.Z. Gergokova, A.R. Akaev

Federal State Budgetary Institution "Vysokogorny Geophysical Institute", 2, Lenin Ave., Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, 360030, Russia

Abstract. As part of the development of improving methods for integrated monitoring of dangerous riverbed and slope processes, the authors worked out options for using an unmanned aerial vehicle (UAV) and specialized software in order to improve the quality of materials for field surveys of mudslide sites. The reliability of the quantitative determination of the parameters of mudflows is an urgent problem in assessing the spatial and temporal changes in the parameters of mudflow channels. The purpose of this work is to quantify the dynamics of changes in the landscape of residential areas exposed to negative impacts by determining the quantitative values of morphometric parameters of the mudflow channel and the adjacent territory before and after the passage of the mudflow. In particular, the volumes of soil carried away by the flow, as well as the volume of sediments in different sections of the mudflow transit, were determined. By comparative analysis of the results of software processing of materials from the removal of problem areas of the mudflow channel by a quadcopter, the values of the volumes of carried away soil (4376 m^3 , at the site of destruction by the flow of the highway) and mudflow deposits (above – 4623 m^3 , and below – 1788 m^3 of the highway bridge) were obtained. Such an information base is indispensable in solving the problems of ensuring the safety of settlements and economic facilities from the negative impact of mudflows.

Keywords: unmanned aerial vehicle, sediment flow, mudflow, orthophotomap, morphometric parameters, sediment volume, landscape, monitoring

Format of citation: Sherkhov A.H., Gergokova Z.Zh., Akaev A.R. Determination of quantitative values of the mudflows parameters using UAVs // Prirodoobustrojstvo, 2024. No. 2. P. 83-89. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-83-89>

Введение. Наиболее перспективными составляющими комплексного мониторинга природных процессов в мировой практике на сегодняшний день являются космический мониторинг на основе анализа разновременных космоснимков и аэрофотосъемка с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) [1-3].

Данные обработки космоснимков территории со средним, высоким и сверхвысоким разрешением, полученные с частотой 1-5 дней, позволяют отслеживать динамику пространственно-временных изменений с высокой точностью [4, 5]. Однако получить снимки необходимого разрешения и частоты зачастую непросто, а порой и невозможно. Наиболее соответствующим дополнением источников получения данных в нашем случае является аэрофотосъемка с применением БПЛА. Высокоточная съемка ландшафта исследуемого участка поверхности позволяет получить созданное на основе перекрывающихся снимков с БПЛА цифровое ортотрансформированное изображение местности – ортофотоплан. Подобные цифровые изображения местности с точной привязкой объектов в заданной системе координат лишены искажений и могут быть выполнены с высоким пространственным разрешением. Таким образом, достигается уровень детализации, достаточный для проведения сопоставительного анализа разновременных снимков, в том числе космических, с целью получения максимально достоверных данных о текущей динамике развития опасных склоновых и русловых процессов [6-9].

Цель исследований: количественная оценка динамики изменений ландшафта селитебных территорий, подверженных негативному воздействию, путем определения количественных значений морфометрических параметров селевого русла и прилегающей территории до прохождения селевого потока и после него.

В статье рассматривается возможность выявления при помощи современных технических средств разницы численных значений морфометрических параметров, зафиксированных в разные промежутки времени, на исследуемом участке территории. Сопоставление и анализ полученных данных позволяют с высокой точностью оценить динамику пространственно-временных изменений ландшафта выбранного участка. Научная новизна работы обосновывается с учетом того, что приведенные результаты эмпирически

проверяемы и воспроизводимы авторским вариантом анализа объемов наносов селевого потока по визуальным дешифровочным признакам.

Материалы и методы исследований. 29 и 31 мая 2023 г. по руслу реки Нальчик в районе н.п. Хасанья, в пригороде г. Нальчик, по причине интенсивных и продолжительных ливневых осадков прошли мощные наносоводные селевые потоки низкой плотности (порядка 1100-1500 кг/м³) [10], срывающие крупнообломочный русловый материал и переносившие за счет своей транспортирующей способности большое количество взвешенных наносов. Последствия их прохождения были засняты с помощью БПЛА соответственно 30 мая и 1 июня 2023 г. В обоих случаях съемка производилась по одинаковому маршруту, примерно в 12 часов дня, при практически одинаковом уровне воды в реке. Высота полета на разных участках реки имела разную высоту относительно места взлета, но относительно точек фотографирования съемка производилась в пределах высот от 60 до 70 м.

Съемка производилась БПЛА «DJI Mavic Air 2» со следующими техническими характеристиками:

- взлетная масса – 570 г;
- максимальная относительная высота полета – 500 м, над уровнем моря – 5000 м;
- максимальное расстояние полета – 18500 м. В силу особенностей условий применения данного БПЛА в высокогорье дальность полета ограничена, в нашем случае – около 4000 м;
- используемые спутниковые системы – GPS и ГЛОНАСС;
- специализированное приложение управления дроном и съемкой – DJIFlyv 1.9.4;
- максимальное разрешение фото – 48 Мп, 8000 × 6000.

Для обработки материалов натурных съемок, построения ортофотопланов и пр. использовано программное обеспечение Agisoft Metashape Professional 2.1.1, максимально раскрывающее возможности фотограмметрии [11, 12].

Разрабатываемая и описываемая методика проведения исследований и обработки полученных материалов на данном этапе не унифицировалась с какими-либо нормативными и/или техническими документами.

Решение задачи по выявлению и оценке численных значений пространственно-временных изменений морфометрических параметров

исследуемых участков ландшафта реализуется в несколько этапов.

В первую очередь проводятся рекогносцировочные обследования объекта с использованием БПЛА. Начальное обследование – для получения исходных данных о состоянии объекта мониторинга, и далее – все последующие по прошествии определенного времени и/или события, с целью выявления произошедших изменений. Особенностью аэрофотосъемки в целях обеспечения максимальной точности получаемых данных является использование опорных GPS координат и рекомендованное перекрытие кадров съемки по ходу движения БПЛА: продольное – 80%, поперечное – 60%.

Данные проведенного обследования загружаются на компьютер с целью их дальнейшей обработки. Полученные материалы в зависимости от специфики поставленной задачи могут использоваться в различных специализированных программах и картографических сервисах [13, 14].

В процессе обработки данных в указанной программе производится выравнивание камер: координатное, пространственное позиционирование аэрофотоснимков. Строятся связующие точки (в нашем случае – порядка 234000), объединяющие значительный объем фотоматериала в цельное изображение для проектов (до события и после него) исследуемой территории.

Следующий этап обработки снимков – создание плотного облака точек с использованием результатов фототриангуляции и полуглобального метода отождествления соответствующих точек. Для этого проекта было построено облако из более чем 104 млн точек. Полученные таким образом данные в дальнейшем применены для

создания ортофотопланов исследуемой территории. Последние в свою очередь дают возможность с высокой точностью географически позиционировать объект съемки и достаточно достоверно определять количественные характеристики морфометрических параметров объекта до события и после него или через определенный промежуток времени.

Результаты и их обсуждение. На построенных ортофотопланах были выбраны 3 сектора (полигона) русла реки с наиболее выраженными ландшафтными изменениями, характеризующиеся очевидными предпосылками возникновения чрезвычайных ситуаций. Участки выше и ниже автодорожного моста, соединяющего н.п. Хасанья и г. Нальчик, а также участок русла с прилегающей к нему объездной автодорогой, разрушенный наносоводным селевым потоком 31 мая 2023 г., расположенный в 610 м от моста выше по течению.

На основе полученных данных на каждом из выбранных участков определялся объем отложений наносов в русле, или в случае разрушения автодороги – объем унесенного материала. Базовой плоскостью, выше и ниже которой рассчитывается объем в программе, определена аппроксимирующая плоскость. В качестве ее границы была выбрана береговая линия, за пределы которой селевой поток не выходил и ландшафтные изменения не происходили.

На рисунке 1 представлены космоснимок и секторы ортофотопланов участка разрушения автодороги селевым потоком (полигоны 1 и 1.1), расположенные в хронологическом порядке.

Результаты автоматизированных расчетов объема представлены в таблице 1.



Рис. 1. Участок разрушения объездной автодороги селевым потоком:
а – космоснимок (фото Sentinel-2, 24.04.2023 г.); б – полигон 1 (съемка 30.05.2023 г.);
в – полигон 1.1 (съемка 01.06.2023 г.)

Fig. 1. Mudflow destruction section of the bypass road:

a – satellite image (photo Sentinel-2, 04/24/23), b – polygon 1 (survey 05/30/2023), c – polygon 1.1 (survey 06/01/2023)

Разница значений объема ниже аппроксимирующей плоскости отражает объем грунта, вынесенного потоком 31 мая 2023 г. на участке разрушения автодороги, и составляет $4376,4 \text{ м}^3$.

На рисунке 2 представлены космоснимок и секторы ортофотопланов участка, прилегающего к автодорожному мосту выше по течению (полигоны 2 и 2.1), расположенные в хронологическом порядке.

Результаты автоматизированных расчетов объема представлены в таблице 2.

Разница значений объема ниже аппроксимирующей плоскости отражает объем наносов, оставленных потоком 31 мая 2023 г. на данном участке, и составляет $4623,3 \text{ м}^3$.

На рисунке 3 представлены космоснимок и секторы ортофотопланов участка, прилегающего к автодорожному мосту ниже по течению (полигоны 3 и 3.1), расположенные в хронологическом порядке.

Результаты автоматизированных расчетов объема представлены в таблице 3.

Разница значений объема ниже аппроксимирующей плоскости отражает объем наносов, оставленных потоком 31 мая 2023 г. на данном участке, и составляет $1788,7 \text{ м}^3$.

Наряду с такими очевидными преимуществами БПЛА, как относительная доступность, возможность оперативного получения актуальных данных, высокая точность съемки, позиционирование в глобальной системе координат

Таблица 1. Рассчитанные морфометрические параметры участка разрушения селевым потоком автодороги (полигоны 1 и 1.1)

Table 1. Calculated morphometric parameters of the mudflow destruction section (polygons 1 and 1.1)

Полигон № Polygon	Периметр (м) Perimeter (m)	Площадь (м ²) Area (m ²)	Объем (м ³) / Volume (m ³)	
			Выше / Above	Ниже / Below
1	544.580	13316.3	6010.3	17807.7
1.1	544.580	13316.3	3207.5	22184.1

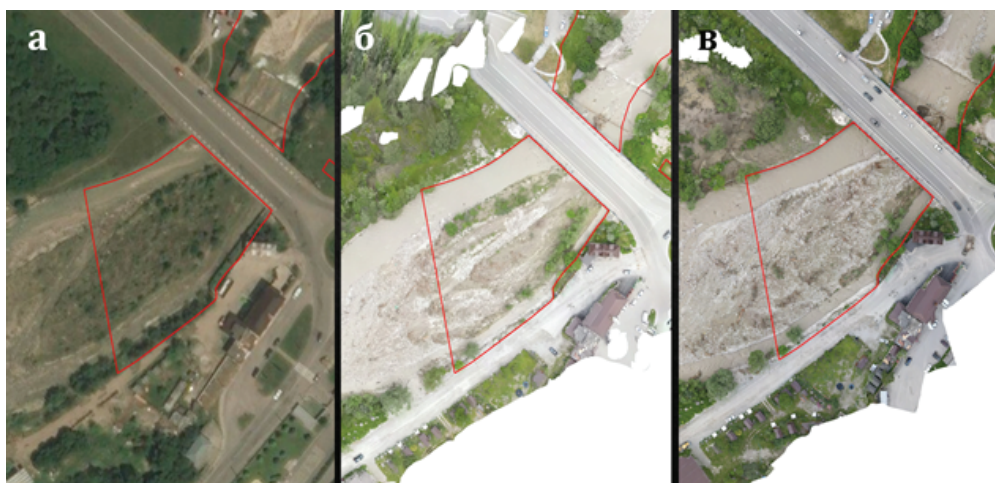


Рис. 2. Участок, прилегающий к автодорожному мосту выше по течению:
а – космоснимок (фото Sentinel-2, 24.04.2023 г.); б – полигон 2 (съемка 30.05.2023 г.);
в – полигон 2.1 (съемка 01.06.2023 г.)

Fig. 2. The section adjacent to the road bridge upstream:

a – satellite image (photo by Sentinel-2, 04/24/23), b – polygon 2 (survey 05/30/2023), c – polygon 2.1 (survey 06/01/2023)

Таблица 2. Морфометрические параметры участка, прилегающего к автодорожному мосту выше по течению (полигоны 2 и 2.1)

Table 2. Morphometric parameters of the section adjacent to the road bridge upstream (polygons 2 and 2.1)

Полигон № Polygon	Периметр (м) Perimeter (m)	Площадь (м ²) Area (m ²)	Объем (м ³) / Volume (m ³)	
			Выше / Above	Ниже / Below
2	302.419	5106.8	664.694	11665.3
2.1	302.419	5106.8	636.308	7042.0

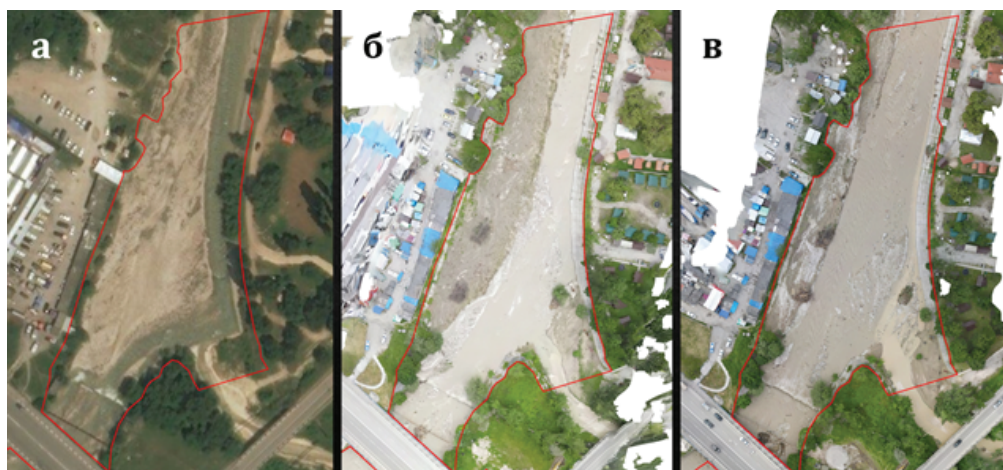


Рис. 3. Участок, прилегающий к автодорожному мосту ниже по течению:
а – космоснимок (фото Sentinel-2, 24.04.23 г.); б – полигон 3 (съемка 30.05.2023 г.);
в – полигон 3.1 (съемка 01.06.2023 г.)

Fig. 3. The section adjacent to the road bridge downstream:

a – satellite image (photo by Sentinel-2, 04/24/23), b – polygon 3 (survey 05/30/2023), c – polygon 3.1 (survey 06/01/2023)

Таблица 3. Морфометрические параметры участка, прилегающего к автодорожному мосту ниже по течению (полигоны 3 и 3.1)

Table 3. Morphometric parameters of the section adjacent to the road bridge downstream (polygons 3 and 3.1)

Полигон № Polygon	Периметр (м) Perimeter (m)	Площадь (м²) Area (m²)	Объем (м³) / Volume (m³)	
			Выше / Above	Ниже / Below
3	573.575	11147.8	2728.5	23361.5
3.1	573.575	11147.8	2643.4	21572.8

и пр., имеют место некоторые сложности, обусловленные в основном несовершенством применяемого оборудования или программного обеспечения. Так, относительным недостатком БПЛА «DJI MavicAir 2» является штатная цифровая камера: оптическая система аппарата характеризуется сильной дисторсией (геометрическое искажение/ искривление объектов съемки), что выражается в искажении получаемых кадров, то есть только небольшая центральная часть снимка оказывается пригодной для формирования стереопары. Также одной из проблем в съемках с БПЛА является такая помеха, как растительность и тени. Выявлено, что при съемке и обработке данных растительность, которая при оцифровке принимается за рельеф, может вносить некоторую погрешность [15-17].

Выводы

Проведение разновременных рекогносцировочных обследований небольших (в несколько квадратных километров) территорий с применением БПЛА позволяет в оперативном режиме и с высокой точностью отслеживать динамику различных геоморфологических и гидрологических явлений.

На основе данных, полученных при помощи БПЛА и обработанных в профильных программных приложениях, могут быть созданы ортофотопланы и цифровые модели, что дает возможность количественно оценить динамику пространственно-временных изменений объектов мониторинга. Данные модели позволяют производить полноценные измерения с высокой точностью, вплоть до расчета объема наносов, оползневых тел или объема вынесенного грунта в результате эрозионных или селевых процессов.

На основе анализа данных дистанционного обследования, а также результатов инженерных изысканий, полученных на месте (на земле), возможны разработка адекватных оперативных мероприятий, проектирование защитных сооружений и др. в целях предотвращения или минимизации негативного воздействия опасных природных процессов на обследуемой территории.

Материалы проведенных исследований также могут представлять интерес для исследователей в области геоэкологии, ландшафтоведения, гидрологии, геоморфологии, биогеографии, картографии и смежных дисциплин.

Список использованных источников

1. **Атутова Ж.В.** Опыт применения дистанционных данных при изучении восстановительной динамики геосистем // Применение беспилотных летательных аппаратов в географических исследованиях: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции (г. Иркутск, 22-23 мая 2018 г.). Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2018. С. 7-9.
2. **Балтакова А.** Применение ГИС и данных дистанционного зондирования для анализа селевых потоков на примере изучения западных предгорий Пирин (Болгария) / Николова В., Кендерова Р., Христова Н. // Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита: Труды 5-й Международной конференции. Тбилиси, Грузия, 1-5 октября 2018 г. Тбилиси: Универсал, 2018. С. 22-33.
3. **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.
4. **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. // Применение беспилотных летательных аппаратов в географических исследованиях: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции (г. Иркутск, 22-23 мая 2018 г.). Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2018. С. 42-47.
5. **Kharchenko S., Tsyplenkov A., Petrakov D., Golosov V.** Causes and consequences of the streambed restructuring of the Koiavgan Creek (North Caucasus, Russia) // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 163-02003.
6. **Докукин М.Д.** Мониторинг обвалов, оползней и других разрушительных процессов в высокогорной зоне на основе анализа разновременных космоснимков / Беккиев М.Ю., Калов Р.Х., Савернюк Е.А., Черногорец С.С. // Изучение опасных природных процессов и геотехнический мониторинг при инженерных изысканиях: Материалы Общероссийской научно-практической конференции. М.: ООО «Геомаркетинг», 2021. С. 59-68.
7. **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: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции (г. Иркутск, 22-23 мая 2018 г.). Иркутск: Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2018. С. 68-70.
8. **Коновалова Т.И.** Геосистемное картографирование. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2010. 186 с.
9. **Mishra N.B., Miles E.S., Chaudhuri G., Mainali K.P., Mal S., Singh P.B., Tiruwa B.** Quantifying heterogeneous monsoonal melt on a debris-covered glacier in Nepal Himalaya using repeat uncrewed aerial system (UAS) photogrammetry // Journal of Glaciology. 2021. № 1 (17). <https://doi.org/10.1017/jog.2021.96>.
10. **Виноградов Ю.Б., Виноградова Т.А.** Современные проблемы гидрологии: учебное пособие. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 170 с.
11. **Докукин М.Д.** Признаки подготовки катастрофических сходов ледников (анализ разновременной

References

1. **Atutova Zh.V.** The experience of using remote data in the study of the restorative dynamics of geosystems / Sb. The use of unmanned aerial vehicles in geographical research. Irkutsk: Publishing House of the V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, 2018. P. 7-9.
2. **Baltakova A.** Application of GIS and remote sensing data for the analysis of mudflows on the example of studying the western foothills of Pirin (Bulgaria) / Nikolova V., Kenderova R., Hristova N. // Mudflows: disasters, risk, forecast, protection. Proceedings of the 5th International Conference. Tbilisi, Georgia, October 1-5, 2018 Tbilisi: Universal, 2018. P. 22-33.
3. **Blyakharsky D.P., Volgusheva N.E., Kazakov E.E.** Monitoring of glaciers during the ablation season using unmanned aerial photography systems on the example of the Potanin and Alexandra glaciers (Tabyn-Bogdo-ola massif, Mongolia) // Izvestiya vysshov uchebnykh uchebnykh zavody. Expedition and aerial photography. 2019. Vol. 63. No. 2. P. 168-179.
4. **Voskresensky I.S.** The use of UAVs for monitoring landslide and erosion processes (on the example of the center of the Russian plain) / Suchilin A.A., Ushakova L.A., Shaforostov V.M., Entin A.L. / Sb. The use of unmanned aerial vehicles in geographical research. Irkutsk: Publishing House of the V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, 2018. P. 42-47.
5. **Kharchenko S., Tsyplenkov A., Petrakov D., Golos V.** The causes and consequences of the restructuring of the Koyavgan streambed (North Caucasus, Russia) // Web conferences E3S. – 2020. – Volume 163-02003.
6. **Dokukin M.D.** Monitoring of landslides, landslides and other destructive processes in the high-altitude zone based on the analysis of multi-temporal satellite images / Bekkiev M.Yu., Kalov R.H., Savernyuk E.A., Chernomorets S.S. // Study of hazardous natural processes and geotechnical monitoring during engineering surveys. Materials of the All-Russian scientific and practical conference. Moscow: Publishing House: Geomarketing LLC. 2021. P. 59-68.
7. **Yerofeev A.A., Yabarkin A.Yu., Yermeev V.F.** The first results of aerial photography of the Aktru mountain-glacial basin using UAVs. In the collection: The use of unmanned aerial vehicles in geographical research. Materials of the All-Russian scientific and practical conference. Irkutsk, May 22-23, 2018). Irkutsk: Institute of Geography SB RAS, 2018. P. 68-70.
8. **Konovvalova T.I.** Geosystem mapping. Novosibirsk: Academic publishing house "Geo", 2010. 186 p.
9. **Mishra NB, Miles ES, Chaudhuri G, Mainali KP, Mal S, Singh PB, Tiruwa B.** Quantifying heterogeneous monsoonal melt on a debris-covered glacier in Nepal Himalaya using repeat uncrewed aerial system (UAS) photogrammetry // Journal of Glaciology. 2021.N1 (17). <https://doi.org/10.1017/jog.2021.96>
10. **Vinogradov Yu.B., Vinogradova T.A.** Modern problems of hydrology: textbook. the manual. M.: Publishing center "Academy", 2008.170 p.
11. **Dokukin M.D.** Signs of preparation of catastrophic glacier descents (analysis of multi-temporal space information) / Bekkiev M.Yu., Kalov R.H., Savernyuk E.A., Chernomorets S.S. // In the proceedings of the conference: "Dangerous natural and man-made processes in mountainous regions: models, systems, technologies". (Vladikavkaz, September 30 – October 2, 2019) Vladikavkaz, 2019. P. 522-528.

космической информации) / Беккиев М.Ю., Калов Р.Х., Савернюк Е.А., Черноморец С.С. // Опасные природные и техногенные процессы в горных регионах: модели, системы, технологии: Сборник материалов научной конференции (г. Владикавказ, 30 сентября – 2 октября 2019 г.). Владикавказ, 2019. С. 522-528.

12. Кадастр селевой опасности Юга Европейской части России // Отв. ред. Н.В. Кондратьева и др. М.: ООО «Феория»; Нальчик: Печатный двор, 2015. С. 90-94.

13. **Докукин М.Д.** Активизация обвалов на Центральном Кавказе и их влияние на динамику ледников и селевые процессы / Беккиев М.Ю., Калов Р.Х., Черноморец С.С., Савернюк Е.А. // Лед и снег. 2020. Т. 60, № 3. С. 361-378.

14. **Kutuzov S., Lavrentiev I., Smirnov A., Nosenko G. and Petrakov D.** Volume changes of Elbrus glaciers from 1997 to 2017 // *Frontiers in Earth Science*. 2019. Vol. 7, Article 153.

15. **Докукин М.Д.** Типы моренного рельефа и селевая опасность (на примере северного склона Центрального Кавказа): Автореф. дис. ... канд. геогр. наук / МГУ им. М.В. Ломоносова. Москва, 1993. 22 с.

16. **Докукин М.Д., Черноморец С.С., Савернюк Е.А.** Моренные пьедесталы – очаги формирования катастрофических гляциальных селей // Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита: Сборник материалов IV Международной конференции. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2016. С. 67-71.

17. **Allen S.K., Rastner I.P., Arora I.M., Huggel I.C., Stoffel I.M.** Lake outburst and debris flow disaster at Kedarnath, June 2013: hydrometeorological triggering and topographic predisposition // *Landslides*. 2015. DOI: 10.1007/s10346-015-0584-3.

12. Cadastre of mudflow hazard in the South of the European part of Russia // Editor N.V. Kondratieva, et al. M.: Feoria LLC, Nalchik: Printing Yard. 2015. pp. 90-94.

13. **Dokukin M.D.** Activation of landslides in the Central Caucasus and their influence on glacier dynamics and mudflow processes / Bekkiev M.Yu., Kalov R.H., Chernomorets S.S., Savernyuk E.A. // *Ice and snow*. 2020. Vol. 60. N3. P. 361-378.

14. Kutuzov S. Changes in the volume of glaciers of Elbrus from 1997 to 2017/ Lavrentiev I., Smirnov A., Nosenko G. and Petrakov D. // *Frontiers of Earth Science* – 2019. Volume 7, article 153.

15. **Dokukin M.D.** Types of moraine relief and mudflow hazard (on the example of the North. the slope of the Central Caucasus). Abstract of the dissertation of the Candidate of Geographical Sciences / Lomonosov Moscow State University. Moscow, 1993. – 22 p.

16. **Dokukin M.D., Chernomorets S.S., Savernyuk E.A.** Moraine pedestals – foci of formation of catastrophic glacial mudflows / Sb. Mudflows: disasters, risk, forecast, protection. Materials of the IV International Conference. Irkutsk: Publishing House of the V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, 2016. P. 67-71.

17. **Allen S.K., Rastner I.P., Arora I.M., Huggel I.S., Stoffel I.M.** The disaster at Lake Kedarnath and the mudflow in June 2013: hydrometeorological causes and topographic predisposition // *Landslides*. 2015. DOI 10.1007/s10346-015-0584-3

Об авторах

Андзор Хамидбиевич Шерхов, канд. физ. – мат. наук, зав. лабор. геоэкологического мониторинга отдела экологических исследований AuthorID: 601874; fff.ddd.11@mail.ru

Зайна Жамаловна Гергокова, научный сотрудник лабор. геоэкологического мониторинга отдела экологических исследований Author ID: 903017; zayna.gerg@mail.ru

Ахмат Русланович Акаев, инженер лаборатории гляциологии отдела стихийных явлений, аспирант, akaev.axmat@mail.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Шерхов А.Х., Гергокова З.Ж., Акаев А.Р. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Criteria of authorship

The authors declare no conflict of interest / Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / All authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 31.12.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 19.02.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 19.02.2024

Author information

Anzor Kh. Sherkhov, CSc (Phys-Math), head of the laboratory geoecological monitoring of the environmental research department; AuthorID: 601874; fff.ddd.11@mail.ru

Zaina Zh. Gergokova, researcher of the laboratory geoecological monitoring of the environmental research department; Author ID: 903017; zayna.gerg@mail.ru

Akhmat R. Makaev, engineer of the glaciology laboratory of the department of natural phenomena, graduate student; akaev.axmat@mail.ru

Sherkhov A.H., Gergokova Z.Zh., Akaev A.R. performed practical and theoretical research, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, they have copyright on the article and are responsible for plagiarism.