



## ОЦЕНКА ОПОЛЗНЕВОЙ ОПАСНОСТИ НУРЕКСКОГО РАЙОНА ТАДЖИКИСТАНА

Б.Х. МУМИНОВ<sup>1</sup>, И.К. ФОМЕНКО<sup>1,\*</sup>, О.Н. СИРОТКИНА<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»  
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. Ломоносова»  
1, ГСП-1, Ленинские горы, Москва 119991, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Применение геоинформационных технологий является перспективным направлением при картировании и оценке оползневой опасности. В настоящее время активно применяется зондирование земной поверхности при помощи спутников. Спутниковые снимки позволяют не только выявить отдельные оползни, особенно в труднодоступных местах, но и определять участки, на которых оползневые процессы проявлялись, проявляются в настоящее время и могут проявляться в будущем.

**Цель.** Целью настоящей работы было составление карты распространения оползневых явлений на территории Нурекского района Таджикистана на современном этапе с использованием спутниковых снимков и геоинформационных систем.

**Материалы и методы.** В данном исследовании составлены карты распространения оползневых явлений, которые были выполнены автоматическим и ручным способом. Работа основана на анализе результатов предыдущих исследований, дешифрирования спутниковых снимков, цифровой модели рельефа и топографических, геоморфологических, инженерно-геологических карт.

**Результаты.** В результате исследования составлена подробная карта оползневых явлений в формате ГИС и создана база данных по оползневым явлениям, впервые для территории Нурекского района Республики Таджикистан.

**Выводы.** Выполненное районирование показало, что из общего числа оползней очень мелкие составляют 24%, мелкие — 36%, средние 10%, крупные — 18%, очень крупные оползни — 12%. Оползневые процессы развиты на площади  $2601 \times 10^4$  м<sup>2</sup>, что составляет 4% от общей площади района. Результаты данной работы демонстрируют, что используемый в этом исследовании подход может быть применим для оценки оползневой опасности в труднодоступных и слабоизученных регионах.

**Ключевые слова:** оползни, дешифрирование, спутниковые изображения, ГИС, Нурек, Таджикистан

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Муминов Б.Х., Фоменко И.К., Сироткина О.Н. Оценка оползневой опасности Нурекского района Таджикистана. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2022;64(1):50—60. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-1-50-60>

Статья поступила в редакцию 14.06.2021

Принята к публикации 31.05.2022

Опубликована 22.06.2022

\* Автор, ответственный за переписку

## LANDSLIDE HAZARD ASSESSMENT OF THE NORAK REGION OF TAJIKISTAN

BAKHROMZHON Kh. MUMINOV<sup>1</sup>, IGOR K. FOMENKO<sup>1,\*</sup>, OLGA N. SIROTKINA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting  
23, Miklukho-Maclay, Moscow 117997, Russia*

<sup>2</sup> *Lomonosov Moscow State University  
GSP-1, 1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia*

### ABSTRACT

**Introduction.** The application of geographic information system (GIS) technologies is a promising technology for mapping and evaluating landslide hazards. At present, satellite-based terrestrial sensing is widely used. Satellite images make it possible not only to identify individual landslides, particularly in hard-to-reach areas, but also to identify those locations where landslide processes have manifested, are manifesting and may manifest themselves in the future.

**Aim.** Mapping of the present landslide propagation in the territory of the Norak region of Tajikistan using satellite imaging and GIS.

**Materials and methods.** In the course of the study, maps of landslide propagation were compiled both automatically and manually. An analysis of the results of previous studies and interpretations of satellite images was conducted. Digital models of the relief, as well as topographic, geomorphological, engineering and geological maps, were investigated.

**Results.** A detailed map of landslide phenomena was compiled in the GIS format and a database of landslide phenomena was created for the first time for the territory of the Norak region of the Republic of Tajikistan.

**Conclusions.** The conducted zoning showed that, out of the total landslide number, 24%, 36%, 10%, 18% and 12% correspond to very small, small, medium, large, and very large landslides, respectively. The landslide processes are developed across the area of  $2601 \times 10^4$  m<sup>2</sup>, which accounts for the 4% of the total area of the district. The results demonstrate that the approach used in this study may be applicable to the landslide hazard assessment in hard-to-reach and poorly studied regions.

**Keywords:** landslides, decoding, satellite images, GIS, Norak, Tajikistan

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.

**Financial disclosure:** no financial support was provided for this study.

**For citation:** B.Kh. Muminov, I.K. Fomenko, O.N. Sirotkina. Landslide hazard assessment of the Norak region of Tajikistan. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2022;64(1):50—60. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-1-50-60>

*Manuscript received 14 June 2021*

*Accepted 31 May 2022*

*Published 22 June 2022*

\* Corresponding author

Научно обоснованный прогноз реакций литосферы на различные виды естественных и искусственных взаимодействий и составление на этой основе карты оползневой опасности дают возможность правильно спланировать мероприятия по управлению состоянием региональных, локальных и элементарных литотехнических систем (ЛТС), обосновать пространственно-временную структуру мониторинга ЛТС, создать инженерно-геологи-

ческую основу для разработки плана народно-хозяйственного освоения территорий [1].

За последние годы в разных странах и разными исследователями были разработаны новые методы комплексного анализа ЛТС с целью прогнозирования развития оползней различного генезиса [2, 5, 10, 12]. Так как большинство методов прогнозирования оползневой опасности требуют комплексного анализа значительных массивов

данных, все большее применение находят методики, основанные на использовании геоинформационных систем (ГИС) [2, 9, 11, 13—15]. С внедрением ГИС моделирование оползневой опасности стало доступным, удобным и возможным как при научном анализе, так и при экономической оценке прогнозного освоения территорий [8].

Целью настоящей работы было составление карты распространения оползневых явлений на территории Нурекского района Таджикистана на современном этапе с использованием спутниковых снимков (СС) и геоинформационных систем.

Для этой цели использовались как результаты предыдущих исследований (сделанные в советский период), так и результаты дешифрирования современных СС [3, 4]. Появление данных, полученных спутниками, позволяет сделать картографирование рельефа более обоснованным, т.к. СС весьма информативны в отношении современной динамики рельефа, направленности и активности его преобразования. Массовость, разномасштабность СС и длительность ведения съемки позволяют анализировать взаимоотношения различных типов рельефа на больших территориях, проследить типологические поверхности на значительных расстояниях.

Все это позволяет более объективно и достоверно выделять формы рельефа, образованные опасными геологическими процессами, чем при их рисовке по топографическим картам «вслепую». Следует отметить, что при дешифрировании СС выявлены крупные оползневые смещения, которые не обнаруживаются традиционными методами исследований, в то же время многие известные оползни, представляющие угрозу отдельным объектам народного хозяйства, не выделялись на снимках ввиду их относительно небольших размеров. Как правило, такие оползни входят в выделенные крупные оползневые зоны.

С использованием ГИС в разы выросла точность картографирования оползней и зон их развития, а также возможность измерения их параметров.

### Материалы и методы

Территория Таджикистана как горной страны подвержена воздействию многочисленных опасных геологических процессов, таких как землетрясения, оползни, обвалы, сели, наводнения, снежные лавины. В связи с дефицитом территорий, пригодных для жизни и деятельности населения (93% территории Таджикистана занимают горы, мало пригодные для проживания), очень остро

стоит вопрос о рациональном использовании пригодных для проживания земель, о защите населения от опасных геологических процессов, о планировании и разработке защитных мероприятий, о планировании устойчивого экономического развития горных территорий.

Нурекский район расположен в Вахшской долине, центральной части Республики Таджикистан. В административном отношении территория относится к Нурекскому району Хатлонской области. Центральная часть района относится к зоне интенсивного хозяйственного освоения. Здесь в прибрежной зоне Нурекского водохранилища расположена автомагистраль Душанбе — Куляб. Антропогенная деятельность приводит к современным геологическим процессам в береговой зоне. Это переработка берегов, оползни, просадки, подъем уровня подземных вод и др., что осложняет строительство и затрудняет эксплуатацию.

За последние годы накоплен значительный материал по опасным геологическим процессам и явлениям, появились новые методы выявления и оценки степени их опасности, новое программное обеспечение, позволяющее проводить более глубокий анализ различных факторов, влияющих на развитие и проявление этих процессов.

Так как большинство методов прогнозирования оползневой опасности требуют комплексного анализа значительных массивов данных, все большее применение находят методики, основанные на использовании ГИС [2]. С использованием ГИС в разы выросла точность картографирования оползней и зон их развития, а также возможность измерения их параметров.

Методика исследований включала следующие виды работ:

- анализ и обобщение тематических материалов опубликованной и фондовой литературы по проблеме изучения оползней в Нурекском районе Таджикистана;
- дешифрирование космических снимков, анализ цифровых моделей рельефа и топографических карт

Это позволило установить закономерности распространения оползневых проявлений на исследуемой территории: распознать границы оползневых тел и, как следствие, оценить масштабность оползневых процессов. При дешифрировании использовались спутниковые снимки с интернет-сервиса Google Earth. Время съемки СС находится в пределах от 2005 до 2012 г.

## Результаты и обсуждения

На площади района развиты морские, лагунные и континентальные породы верхнеюрского, мелового, палеогенового и неогенового возраста. Отложения смяты в складки общего северо-восточного простирания и нарушены многочисленными разломами, на которых основным является Вахшский надвиг. Четвертичные образования представлены континентальными фациями, среди которых выделены аллювиальные, пролювиальные, озерные, аллювиально-пролювиальные и делювиальные.

Инженерно-геологические условия района характеризуются высокой степенью сложности, обусловленной развитием разнообразных видов осадочных пород мезозойско-кайнозойского возраста, значительно дислоцированными, и раздробленными тектоническими нарушениями.

Сильно расчлененный рельеф района обусловлен наличием хорошо развитой гидрогеологической сети. Водотоки впадают в Нурекское водохранилище. Основная водная артерия, питающая Нурекское водохранилище, р. Вахш, берет начало в горах Памиро-Алая и пересекает описываемую территорию с северо-востока на юго-запад. Долина реки Вахш на большем своем протяжении является узкой и глубоко врезанной.

Исследуемая территория отличается сложностью геоморфологического строения, обусловленной взаимодействием эндогенных и экзоген-

ных процессов, действующих при формировании рельефа. По схеме геоморфологического районирования Таджикистана, предложенной [6, 7], описываемая территория входит в состав геоморфологической области, именуемой «Южно-Таджикская впадина». Характерными особенностями рельефа Южно-Таджикской впадины являются ярко выраженная структурность и широкое развитие форм аккумулятивного происхождения.

Выявление зон развития оползневых явлений требует учета многих факторов, участвующих в процессах развития и проявления оползней. Ввиду того что картографирование оползней производилось по материалам спутниковых съемок, без обследования на местности, не проводилось какой-либо классификации оползней. Тем более что для оценки опасности оползней не надо его классифицировать по типу. Тем не менее для более правильного отражения ситуации с оползневой опасностью были использованы материалы предыдущих картографических работ. Были использованы инженерно-геологические и геоморфологические карты, составленные при комплексных гидрогеологических и инженерно-геологических съемках масштаба 1:200 000, карты специализированных работ масштаба 1:500 000. Результатом работ явилась карта пораженности оползневыми процессами территории района Нурек (рис. 1).

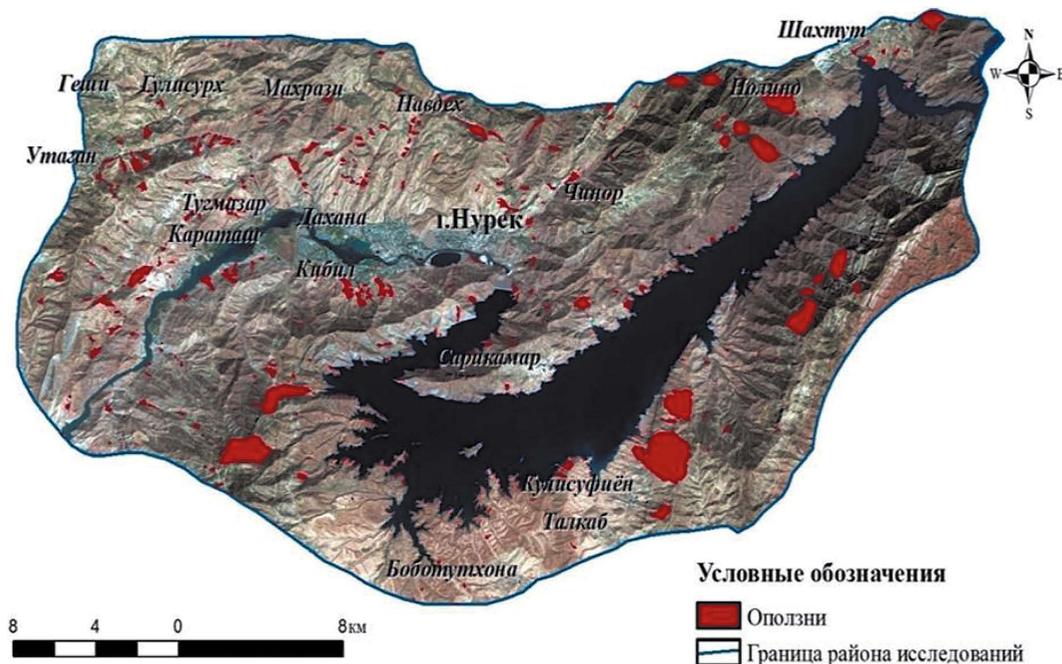


Рис. 1. Карта пораженности оползневыми процессами территории района Нурек, Таджикистан  
Fig. 1. Landslides impact map of the territory of Nurek region, Tajikistan

На исследованной территории современные геодинамические процессы широко распространены и представлены разнообразными формами. Факторами для широкого развития процессов служат: горный расчлененный рельеф с крутыми склонами, наличие на склонах комплексов рыхлых неустойчивых отложений, отсутствие растительности, довольно широкое распространение легкорастворимых пород, высокая сейсмичность района. Мощным толчком к активизации современных геологических процессов послужило образование Нурекского водохранилища.

Все оползневые явления показаны залитыми цветом контурами, что позволило определить их площади. Это дает возможность более объективно оценивать оползневую опасность территорий через коэффициент оползневой пораженности. Ранее на аналогичных картах [3 и др.] мелкие оползни показывались внесмасштабными знаками, а районы распространения мелких оползней — овальными контурами (без привязки их к рельефу), внутри которых указывалось количество оползней определенного типа. Такой подход не позволяет оценить территорию по степени оползневой опасности количественно, а только качественно, субъективно. Привязка всех выделенных оползневых явлений в географических координатах позволит в будущем пополнять базу данных новыми произошедшими оползнями и проводить обоснованное районирование по степени оползневой опасности.

В результате работ на исследуемой территории было выявлено 648 оползневых участков (табл.), а пораженность территории оползневыми процессами составила  $2601 \times 10^4 \text{ м}^2$ . В Нурекском районе по условиям рельефа и геологическим особенностям местности оползнеопасные территории составляют 4% от общей площади района.

Основная причина возникновения оползневых подвижек на территории: переувлажнение пород атмосферными осадками в годы, когда количество выпадающих атмосферных осадков аномально высоко. При формировании крупных оползней, с захватом коренных отложений, главную роль играют сейсмические факторы. Появление Нурекского водохранилища вызвало как образование новых, свежих оползней, так и активизацию давних оползневых форм.

Формирование оползневой активности отмечаются по всей территории района Нурека. Очень крупные оползни составляют  $315 \times 10^4 \text{ м}^2$  территории района (рис. 2).

Количество крупных и средних оползней равно 7, и их площадь составляет  $715 \times 10^4 \text{ м}^2$ . В основном эти оползни распространены на обоих бортах водохранилища Нурекской ГЭС. По всей территории района распространены мелкие и очень мелкие оползни. Здесь наблюдается формирование 945 мелких оползней, и их площадь составляет  $945 \times 10^4 \text{ м}^2$ . Более 500 очень мелких оползней зафиксировано на этой территории общей площадью  $526 \times 10^4 \text{ м}^2$ .

Активизация оползневых процессов, приводящих к разрушению инженерных сооружений. Оползневые явления на территории достаточно часто приводят к чрезвычайным ситуациям с большим материальным ущербом и даже человеческими жертвами.

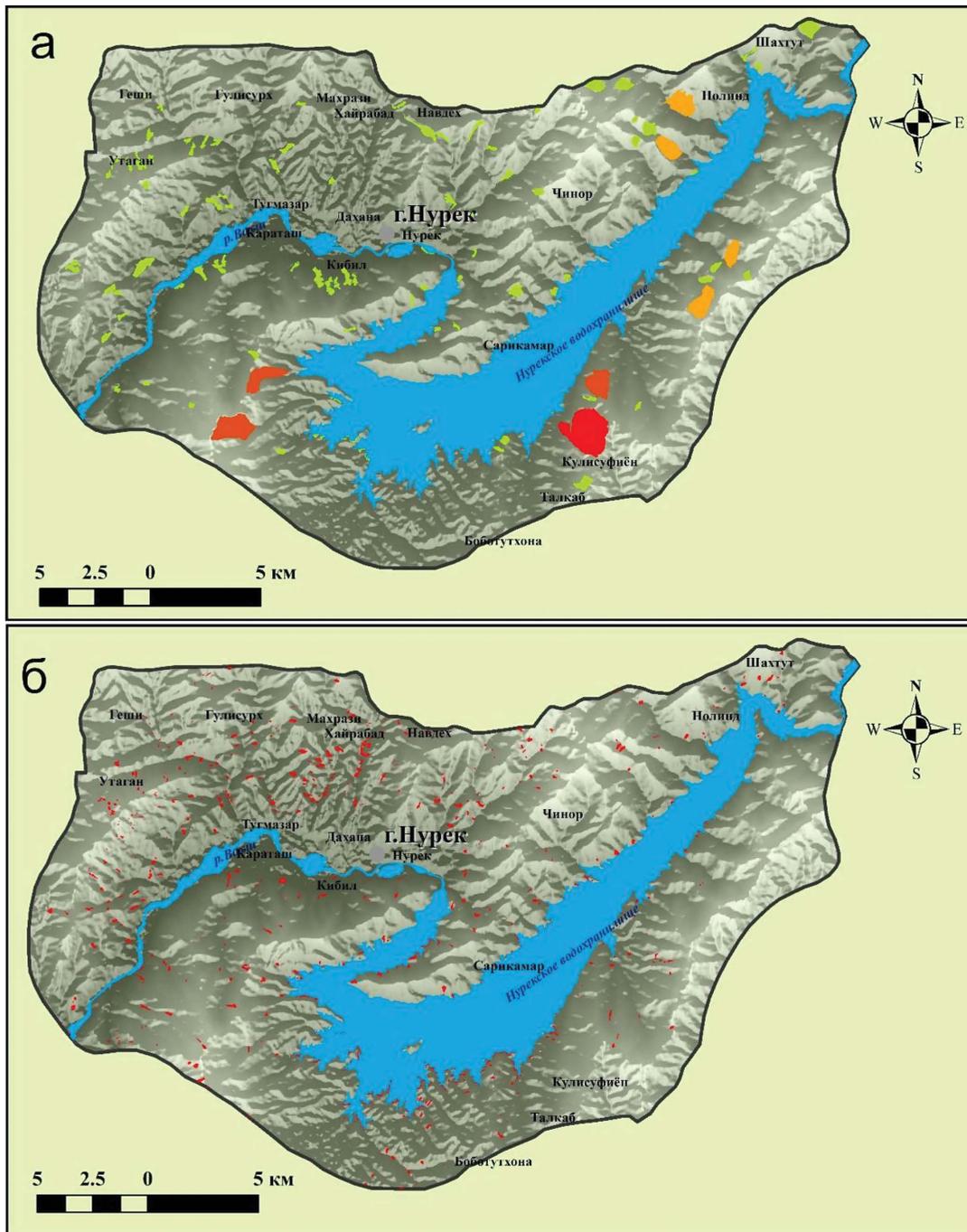
По итогам расчетов установлено, что около 36% оползней характеризуются как мелкие (рис. 3). Такие виды оползней в основном распространены в северных частях районов. Очень мелкие оползни занимают 24% от общего количества оползней. Этот вид оползней встречается по всем частям районов. На долю крупных видов оползней приходится всего 18%. Очень крупные оползни составляют 12% и средние — 10% от общего количества оползней.

Оползни полукруглые широко распространены на описываемой территории и образуются преимущественно в четвертичных отложениях. В зависимости от стадии развития оползневое тело может быть смещено без существенного нарушения его внутреннего строения. В большинстве же случаев поверхность оползневых тел покрыта трещинами шириной до 1 м и ступенчатая. Причина образования полукруглых оползней — снижение прочности пород в основании массива за счет увлажнения, выщелачивания и выдавливания пластичных пород.

**Таблица.** Количество оползней и территория пораженности

**Table.** The number of landslides and the affected area

Ранги оползней, $\times 10^4 \text{ м}^2$	Площадь оползней, $\times 10^4 \text{ м}^2$	Количество оползней
Очень крупные (200—400)	315	1
Крупные (100—200)	483	4
Средние (50—100)	232	3
Мелкие (5—50)	945	84
Очень мелкие (<5)	626	556



**Условные обозначения**

- Граница района исследований
- Реки

**Ранги оползней (площадь,  $\times 10^4 \text{ м}^2$ )**

- очень крупные (200—400)
- мелкие (5—50)
- крупные (100—200)
- очень мелкие (<5)
- средние (50—100)

**Рис. 2.** Карты ранжирования оползней по масштабу проявления на территории Нурекского района:

*а* — очень крупные, крупные, средние, мелкие; *б* — очень мелкие

**Fig. 2.** Maps of landslides ranking according to the scale of manifestation on the territory of Nurek region: *a* — very large, large, medium, small; *b* — very small

Форма оползневых тел часто зависит от сменяющихся пород. В глинистых и связных породах форма оползней самая различная: циркообразная, глетчеровидная, грушевидная, эллипсоидальная и т.д. Оползневые явления приводят к образованию весьма характерных форм мезо- и микро-рельефа. Поэтому дешифрирование оползней велось преимущественно по их форме и рисунку фотоизображения. Сформированные «свежие» оползни выделяются по четким формам рельефа, светлому, иногда почти белому фото тону стенок срыва. Некоторые мелкие оползни находятся в активном состоянии до сих пор. В 2005 году в результате переувлажнения горных пород атмосферными осадками сформировались мелкие оползни в селе Кибил (рис. 4). В данном участке горы сложены лёссами и лёссовидными суглинками. Лёссы и лёссовидные суглинки здесь имеют широкое распространение, с ними связаны многие сформировавшиеся оползни различного масштаба.

На территории исследования формирование большей части современных действующих оползней и оползней, находящихся в состоянии временной устойчивости, связано с климатическими условиями и большим распространением лёссов и лёссовидных суглинков, наиболее сильно подверженных влиянию атмосферных осадков.

Анализ представленной карты позволяет определить участки проведения первоочередных

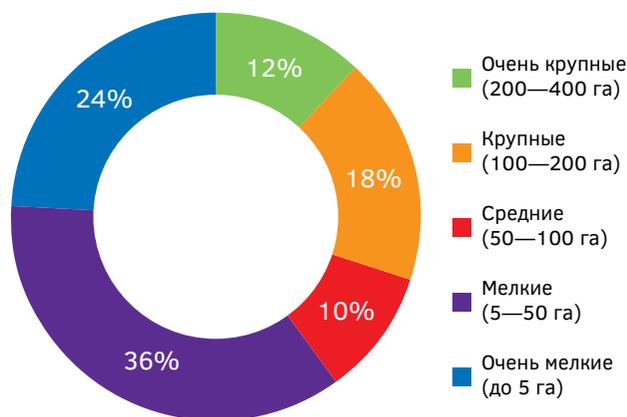


Рис. 3. Диаграмма распределения оползней по рангам, %

Fig. 3. Diagram of the distribution of landslides by ranks, %

полевых исследований, к которым могут быть отнесены:

- левый берег Нурекского водохранилища, так как здесь наблюдаются крупные и средние оползни, которые расположены близко к водохранилищу;
- мелкие оползни, которые расположены рядом с селом Кибил.

На рисунке 5 видно, что, в течение 15 лет зона оползневых процессов увеличивается



Рис. 4. Оползень в лёссах в г. Нурек, 2005 г. (фото Н.Р. Ищук)

Fig. 4. Landslide in the loess in the city of Nurek, 2005 (photo by N.R. Ischuk)



**Рис. 5.** Развитие оползневого процесса в лёссах во времени, с. Кибил. а — спутниковый снимок 2005 г., б — спутниковый снимок 2020 г.

**Fig. 5.** Development of a landslide process in loess soils in time, Kibil village. а — satellite image — 2005, б — satellite image in 2020

высокими темпами. И до сих пор продолжается формирование различных масштабов оползней.

Надо отметить еще очень важную особенность оползневых процессов, происходящих в лёссовых породах. Это важно при разработке оползнезащитных мероприятий и оценке риска. Практически все оползни в лёссовых породах начинаются

с просадки массива пород на склоне, которая вызывается также и суффозией. Далее при движении вниз по склону этот массив может превратиться в грязевой поток, способный продвинуться на большое расстояние, например повернуть вниз по долине, и превратиться в селевой поток. В рыхлых четвертичных породах выделяются

оползневые зоны, где оползни происходят по бортам многочисленных саёв, врезов и часто служат причиной возникновения селей. Это необходимо учитывать при оценке риска от оползневых процессов.

#### Заключение

В результате исследования составлена подробная карта оползневых явлений в формате ГИС и создана база данных по оползневым явлениям, впервые для территории Нурекского района Республики Таджикистан.

Выполнено районирование и показано, что из общего числа оползней очень мелкие составляют 24%, мелкие — 36%, средние — 10%, крупные — 18%, очень крупные оползни — 12%. Оползневые процессы развиты на площади  $2601 \times 10^4$  м<sup>2</sup>, что составляет 4% от общей площади района.

Результаты данной работы демонстрируют, что используемый в этом исследовании подход может быть применен для оценки оползневой опасности в труднодоступных и слабоизученных регионах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бондарик Г.К., Пендин В.В., Ярг Л.А. Инженерная геодинамика. М.: КДУ, 2007. 327 с.
2. Зыонг М.Х., Фоменко И.К., Пендин В.В. Региональный прогноз оползневой опасности для района Ха Лонг — Кам Фа на северо-востоке Вьетнама // Инженерная геология. 2013. № 1. С. 46—54.
3. Ишчук Н.Р. Объяснительная записка к карте ледниковых форм, селевых и оползневых явлений Таджикистана. Душанбе, 2019. 80 с.
4. Ишчук Н.Р., Ишчук А.Р., Саидов М.С. Результаты использования космических снимков и ГИС при картировании оползней Таджикистана. // Наука и Инновация. 2017. № 2. С. 92—100.
5. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика. Л.: Недра, 1977. 479 с.
6. Лоскутов В.В. Геоморфология Таджикистана. Новейший этап геологического развития территории Таджикистана. Душанбе: Дониш, 1962. С. 189—214.
7. Лоскутов В.В. Геоморфологическая карта Таджикистана масштаба 1:500 000. М.: Недра, 1971.
8. Нгуен Ч.К., Фоменко И.К., Пендин В.В., Нгуен К.Т. Применение метода анализа иерархий при региональной оценке оползневой опасности (на примере района северо-западный Лаокай, Вьетнам) // Геоинформатика. 2017. № 3. С. 53—66.
9. Пендин В.В., Фоменко И.К. Методология оценки и прогноза оползневой опасности. М.: ЛЕНАНД, 2015. 320 с.
10. Тихвинский И.О. К вопросу об использовании метода оползневого потенциала // Разработка методов прогнозной оценки развития оползневых явлений в условиях горно-складчатых областей альпийского орогена. Тбилиси: Мецниереба, 1978. С. 52—56.
11. Barredo J.I., Benavides A., Hervás J., van Westen C.J. Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Gran Canaria Island, Spain // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2000. Vol. 2. No. 1. P. 9—23 [https://doi.org/10.1016/S0303-2434\(00\)85022-9](https://doi.org/10.1016/S0303-2434(00)85022-9)
12. Komac M. A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in peri-alpine Slovenia // Geomorphology. 2006. V. 74. No. 1—4. P. 17—28. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.07.005>
13. Lulseged A., Hiromitsu Y. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan // Geomorphology. 2005. Vol. 65. No. 1—2. P. 15—31.
14. Saro L. Application of Likelihood Ratio and Logistic Regression Models to Landslide Susceptibility Mapping Using GIS // Environmental Management. 2004. Vol. 34. No. 2. P. 223—232. <https://doi.org/10.1007/s00267-003-0077-3>
15. Tarboton D.G., Pack R.T., Goodwin C.N., Prasad A. Sinmap user's Manual. Sinmap 2: A stability index approach to terrain stability hazard mapping: Version for ArcGIS 9.x and Higher / Utah state university; Terratech consulting Ltd.; Canadian forest products Ltd.; C.N. Goodwin fluvial system consulting, 2005. P. 1—39.

#### REFERENCES

1. Bondarik G.K., Pendin V.V., Yarg L.A. Engineering geodynamics. Moscow, KDU, 2007. 327 p. (In Russian).
2. Duong M.H., Fomenko I.K., Pendin V.V. Regional forecast of landslide hazard in the region of the halong and cam pha cities in the north-east of vietnam // Engineering Geology. 2013. No 1. P. 46—54 (In Russian).
3. Ishchuk N.R. The explanatory note to the map of glacial forms, mudslides and landslides in Tajikistan. Dushanbe, 2019. 80 p. (In Russian).
4. Ishchuk N.R., Ishchuk A.R., Saidov M.S. Results of the use of satellite images and GIS in mapping landslides in Tajikistan // Science and innovation. 2017. No. 2. C. 92—100 (In Russian, in Tajik).

5. Lomtadze V.D. Engineering geology. Engineering geodynamics. Leningrad: Nedra, 1977. 479 p. (In Russian).
6. Loskutov V.V. Geomorphology of Tajikistan. The latest stage of geological development of the territory of Tajikistan. Dushanbe: Donish, 1962. P. 189—214 (in Russian).
7. Loskutov V.V. Geomorphological map of Tajikistan scale 1:500 000. Moscow: Nedra, 1971 (In Russian).
8. Nguyen Ch.K., Fomenko I.K., Pendin V.V., Nguyen K.T. Application of the Hierarchy Analysis Method in the regional landslide hazard assessment (for example, the North-West Lao Cai region, Vietnam) // Geoinformatika. 2017. No. 3. P. 53—66 (In Russian).
9. Pendin V.V., Fomenko I.K. Methodology of landslide hazard assessment and prediction. Moscow: LENAND, 2015. 320 p. (In Russian).
10. Tikhvinskiy I.O. On the use of the landslide potential method // Development of methods for predictive assessment of the development of landslide phenomena in the conditions of mountain-folded areas of the Alpine orogen. Tbilisi: Metsniyereba, 1978. P. 52—56 (In Russian).
11. Barredo J.I., Benavides A., Hervás J., van Westen C.J. Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Gran Canaria Island, Spain // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2000. Vol. 2. No. 1. P. 9—23. [https://doi.org/10.1016/S0303-2434\(00\)85022-9](https://doi.org/10.1016/S0303-2434(00)85022-9)
12. Komac M. A Landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in peri-alpine Slovenia // Geomorphology. 2006. V. 74. No. 1—4. P. 17—28. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.07.005>
13. Lulseged A., Hiromitsu Y. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan // Geomorphology. 2005. Vol. 65. No. 1—2. P. 15—31.
14. Saro L. Application of Likelihood Ratio and Logistic Regression Models to Landslide Susceptibility Mapping Using GIS // Environmental Management. 2004. Vol. 34. No. 2. P. 223—232. <https://doi.org/10.1007/s00267-003-0077-3>
15. Tarboton D.G, Pack R.T., Goodwin C.N, Prasad A. Sinmap user's Manual. Sinmap 2: A stability index approach to terrain stability hazard mapping: Version for ArcGIS 9.x and Higher / Utah state university; Terratech consulting Ltd.; Canadian forest products Ltd.; C.N. Goodwin fluvial system consulting, 2005. P. 1—39.

### ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Муминов Б.Х. — выполнил работы по геологическому картированию оползней Нурекского района, дешифрирование данных дистанционного зондирования, создал ГИС-проект распространения оползневых явлений на исследуемой территории.

Фоменко И.К. — разработал концепцию статьи, отредактировал и окончательно утвердил публикуемую версию статьи, согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Сироткина О.Н. — выполнила анализ информации, подготовила и оформила текст статьи, рисунки и таблицы.

Muminov B.Kh. — performed work on geological mapping of landslides in the Nurek region, deciphering remote sensing data, created a GIS project for the spread of landslides in the study area.

Fomenko I.K. — developed the concept of the article, edited and finally approved the published version of the article, agree to take responsibility for all aspects of the work.

Sirotkina O.N. — performed the analysis of information, prepared and formalized the text of the article, figures and tables.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Муминов Бахромжон Халилович** — аспирант кафедры экологии и природопользования экологического факультета ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе.

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

E-mail: [bahromzhon95@mail.ru](mailto:bahromzhon95@mail.ru)

Тел.: (+992) 900704045

SPIN-код: 6211-3138

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9113-3156>

**Bakhromzhon Kh. Muminov** — Post-graduate researcher, Department of Ecology and Nature Management, Faculty of Ecology, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maclay, Moscow 117997, Russia

E-mail: [bahromzhon95@mail.ru](mailto:bahromzhon95@mail.ru)

Тел.: (+992) 900704045

SPIN-code: 6211-3138

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9113-3156>

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ /  
HYDROGEOLOGY AND ENGINEERING GEOLOGY

**Фоменко Игорь Константинович\*** — доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры инженерной геологии гидрогеологического факультета ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

E-mail: [ifolga@gmail.com](mailto:ifolga@gmail.com)

Тел.: 8-916-922-45-39

SPIN-код: 9127-1871

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2318-6015>

**Сироткина Ольга Николаевна** — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник кафедры динамической геологии ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. Ломоносова».

1, ГСП-1, Ленинские горы, Москва 119991, Россия

E-mail: [onsirotkina@gmail.com](mailto:onsirotkina@gmail.com)

Тел.: 8-916-552-54-55

SPIN-код: 1822-6528

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8171-1960>

**Igor K. Fomenko\*** — Dr. of Sci. (Geol.-Min.), Prof. of Department of Engineering Geology, Faculty of Hydrogeological, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting

23, Miklukho-Maclay, Moscow 117997, Russia

E-mail: [ifolga@gmail.com](mailto:ifolga@gmail.com)

Тел.: 8-916-922-45-39

SPIN-code: 9127-1871

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2318-6015>

**Olga N. Sirotkina** — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), researcher, Department of Dynamic Geology, Lomonosov Moscow State University.

GSP-1, 1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia

E-mail: [onsirotkina@gmail.com](mailto:onsirotkina@gmail.com)

Тел.: 8-916-552-54-55

SPIN-code: 1822-6528

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8171-1960>

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author