

СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ И ЛЕДНИКИ

УДК 551.435.644: 551.324

DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2020-1(64-70)

СНЕЖНО-ЛЕДОВО-КАМЕННАЯ ЛАВИНА НА ЛЕДНИКЕ БАШКАРА
В УЩЕЛЬЕ АДЫЛ-СУ (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ КАВКАЗ) 24 АПРЕЛЯ 2019 ГОДАМ.Д. Докукин¹, Р.Х. Калов¹, С.С. Черноморец², А.В. Гяургиев³, М.М. Хаджиев¹¹ *Высокогорный геофизический институт Росгидромета, 360030, Нальчик, пр. Ленина, 2, Россия; inrush@bk.ru*² *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 119991, Москва, Ленинские горы, 1, Россия*³ *Кабардино-Балкарский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 360030, Нальчик, пр. Ленина, 2, Россия*

На основе сравнительного дешифрирования космических снимков Sentinel 2A 23 и 25 апреля 2019 г. выявлен факт обвала с горы Башкара (4162 м), расположенной в верховьях долины р. Адыл-Су (бассейн р. Баксан, Центральный Кавказ). Зона зарождения обвала находится на границе России и Грузии, зона аккумуляции – в России. По измерениям на космоснимке и карте определены параметры обвала. Ширина зоны отложений составила более 500 м, дальность выброса обломков – 3160 м (в проекции), площадь поражения 0.9 км², приблизительный объем отложений 1.2–1.5 млн м³. По свидетельству очевидцев была уточнена дата обвала – 24 апреля 2019 г. По данным обследования и сравнения с материалами предыдущих экспедиций определено место отрыва скального блока на вершине горы Башкара и выявлено обрушение части висячего ледника со снежным покровом на площади около 40 000 м², что превратило скальный обвал в снежно-ледово-каменную лавину. Основная зона отложения обвалных масс расположена на участке ледника в высотной зоне 2660–2800 м. Космический мониторинг обвалных процессов на Кавказе показал возросшую их активность в XXI в. Выявлены факты обвалов в высокогорной зоне северного и южного склонов Кавказа: в 2012 г. в цирке Белалакайского ледника в долине р. Аманауз, в 2013, 2015 и 2016 гг. в цирке ледника Джаловчат в долине р. Аксаут, в 2017 г. в долине р. Твибери, в 2018 г. в долинах рек Клыч и Ненскра. В будущем подобные обвалы могут произойти на других участках высокогорной зоны и представлять угрозу для населения, рекреационного и хозяйственного освоения горных районов.

*Снежно-ледово-каменная лавина, ледник Башкара, космические снимки*THE SNOW-ICE-ROCK AVALANCHE ON BASHKARA GLACIER
IN THE ADYL-SU VALLEY (CENTRAL CAUCASUS) ON APRIL 24, 2019M.D. Dokukin¹, R.Kh. Kalov¹, S.S. Chernomorets², A.V. Gyaurgiev³, M.M. Khadzhiev¹¹ *High-Mountain Geophysical Institute, 2, Lenina ave., Nalchik, 360030, Russia; inrush@bk.ru*² *Lomonosov Moscow State University, 1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia*³ *Kabardino-Balkarian Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, 2, Lenina ave., Nalchik, 360030, Russia*

On the basis of the comparative interpretation of Sentinel 2A satellite images on April 23 and 25, 2019, the fact of a collapse from the Mt. Bashkara (4162 m) located in the headwaters of the Adyl-Su River (the basin of the Baksan River, Central Caucasus) has been revealed. The initiation zone of the collapse is located on the border of Russia and Georgia; the accumulation zone is located in Russia. The parameters of the collapse have been determined from measurements on the satellite image and the map. The width of the sediment zone is more than 500 m, the runout distance of avalanche is 3160 m (in projection), the affected area is 0.9 km², the approximate volume of deposition is 1.2–1.5 million m³. According to eyewitnesses, the date of the collapse was April 24, 2019. We compared the survey data from April 30, 2019 and the previous survey data and determined the location of the rock block at the top of Mt. Bashkara and detected a collapse of a hanging glacier with snow cover on an area of about 40,000 m², which transformed the rock collapse into a snow-ice-rock avalanche. The main zone of the deposition of the landslide masses is located on a section of the glacier in the altitude zone 2660–2800 m. Remote sensing of the landslides in the Caucasus has demonstrated an increase of their activity in the 21st century. We detected facts of collapses in the high-altitude zone of the northern and southern slopes of the Caucasus: in the cirque of the Belalakaya Glacier in the valley of the Amanauz River in 2012, in the cirque of the Dzhalogchat Glacier in the valley of the Aksaut River in 2013, 2015 and 2016, in the valley of the Tviberi River in 2017, and in the valleys of the Klych and Nenskra rivers in 2018. In the future, such landslides may occur in other parts of the high-mountainous zone and pose a hazard to the people and the recreational and economic activities in the mountain regions.

Snow-ice-rock avalanche, Bashkara Glacier, satellite image

ВВЕДЕНИЕ

На Кавказе в XXI в. в связи с потеплением климата участились обвалы в горах [Докукин и др., 2015]. Подобные события происходили последние 20 лет и в других регионах – в Тибете, Сычуани,

© М.Д. Докукин, Р.Х. Калов, С.С. Черноморец, А.В. Гяургиев, М.М. Хаджиев, 2020

Каракоруме, горах Святого Ильи, Альпах, на Аляске [Shang et al., 2003; Haeussler et al., 2004; Crosta et al., 2006; Dunning et al., 2007; Evans et al., 2007; Huggel et al., 2007; Lipovsky et al., 2008; Wei et al., 2010]. В работах [Legros, 2002; Hewitt, 2009; Deligne et al., 2015; Sosio, 2015] обобщены данные о каменных и каменно-снежно-ледяных лавинах (rock avalanches, rock-snow-ice avalanches) в горных районах мира.

Наиболее крупными на Кавказе были обвалы (ледово-каменные лавины): в 2002 г. в ледниковом цирке Колка (Республика Северная Осетия–Алания) [Петраков и др., 2004; Тутубалина и др., 2005; Kotlyakov et al., 2004; Evans et al., 2009] общим объемом 115 млн м³ и дальностью выброса около 20 км, в 2006 г. на склоне Пирикительского хребта в долине р. Харгабахк (Чеченская Республика) объемом около 5 млн м³ и дальностью выброса 7.5 км [Докукин, Савернюк, 2010], в 2014 г. на склоне г. Казбек объемом по разным данным от 2 до 6 млн м³ и дальностью выброса 10.5 км [Дробышев и др., 2014; Черноморец, 2014; Черноморец и др., 2016; Tielidze et al., 2019], а также обвалы после схода ледника Колка в 2002 г. [Докукин и др., 2015]. В 2003 г. произошли обвалы со скал Аристов на ледник Джанкуат в долине р. Адыл-Су [Докукин и др., 2015; Резепкин, Поповнин, 2018].

В последние годы на основе сравнительного дешифрирования космических снимков Sentinel 2A (разрешением 10 м), космоснимка WorldView2 от 17.09.2012 г. и материалов аэровизуального обследования 22.08.2013 г. были выявлены обвалы на Западном и Центральном Кавказе: в 2012 г. в цирке Белалакайского ледника в долине р. Аманауз [Докукин и др., 2015], в 2013, 2015 и 2016 гг. в цирке ледника Джаловчат в долине р. Аксаут [https://twitter.com/inrushmd/status/1000776089558503425], в 2015 г. в цирке ледника Штулу Восточный [https://twitter.com/inrushmd/status/1020990870043136000], в 2017 г. в долине р. Твибер [https://twitter.com/inrushmd/status/999363888738111488], в 2018 г. в долинах рек Клыч [https://twitter.com/inrushmd/status/1033775971265064961] и Ненскра [https://twitter.com/inrushmd/status/1123580598172487682] и др. В 2019 г. список продолжился: 21 марта произошел обвал со склона над ледником Лекзыр в Сванетии [https://twitter.com/inrushmd/status/1123580598172487682], 24 апреля – обвал с горы Башкара в ущелье Адыл-Су [https://twitter.com/inrushmd/status/1121799921034612736], в начале июля – обвал со склона над ледником Башиль Северный в ущелье Башиль-Аузу-Су, в конце июля – обвал в долине р. Мурквами в Сванетии с дальностью выброса более 4 км [https://twitter.com/inrushmd/status/1159681328297709568].

ОБВАЛ И СНЕЖНО-ЛЕДОВО-КАМЕННАЯ ЛАВИНА НА ЛЕДНИКЕ БАШКАРА 24 АПРЕЛЯ 2019 ГОДА

На космоснимке Sentinel 2A от 25 апреля 2019 г. можно увидеть следы обвала на леднике Башкара в верховьях долины р. Адыл-Су (бассейн р. Баксан). 23 апреля этого обвала еще не было (рис. 1).

26 апреля 2019 г. GIF-анимация космических снимков до и после обвала была представлена на электронном ресурсе [https://twitter.com/inrushmd/status/1121799921034612736]. 30 апреля это сообщение отметил Д. Петли [Petley, 2019]. Он сравнил событие на леднике Башкара с обвалом на г. Хааст (Диксон) в Новой Зеландии в 2013 г. и привел данные о дальности выброса обломков на расстояние 2.7 км при возможном объеме 2 млн м³.

По измерениям на космоснимке (в программе EO Browser) и топокарте получены следующие параметры обвала с г. Башкара: перепад высоты 1500 м (4162–2660 м), дальность выброса 3160 м (с учетом среднего угла наклона пути 25.4° – 3500 м), площадь поражения (0.90 ± 0.04) км², максимальная ширина зоны отложений 500–510 м, общая площадь зоны отложений (0.44 ± 0.03) км², приблизительный объем отложений исходя из визуальной оценки средней толщины (3 м) и погрешности измерения площади на снимке (0.03 км²) – 1.2–1.5 млн м³. Погрешность измерения площади на космоснимке определялась исходя из периметра контура и 0.5 пикселя разрешения снимка ($dS_{\max} = P \times \zeta$, где dS_{\max} – ошибка площади для контура обвала; P – периметр контура обвала; ζ – половина размера пикселя разрешения космоснимка) [Petrov et al., 2017].

В результате обвала водораздел на участке г. Башкара сместился к югу на расстояние до 25 м. В 2018 г. на этом месте произошел обвал, в 8 раз меньший по масштабам отложений, чем в 2019 г. (см. рис. 1). Первый обвал произошел до 13 августа 2018 г. (см. рис. 1, а). Обломками была покрыта поверхность ледника на площади (0.052 ± 0.007) км².

30 апреля 2019 г. было проведено наземное обследование места обвала. В результате обследования и сравнения с материалами 2018 г. выявлены особенности зоны отрыва обвала, зоны транзита и аккумуляции обвальных масс. Это позволило сделать вывод о том, что обвальный процесс имел признаки снежно-ледово-каменной лавины. По свидетельству очевидцев было уточнено время обвала – 10–11 часов 24 апреля 2019 г.

На рис. 2 приведен общий вид участка обвала.

На фрагментах наземных фотографий (рис. 3) показаны контуры скальных блоков на вершине г. Башкара до обвалов. Сравнение наземных фото-

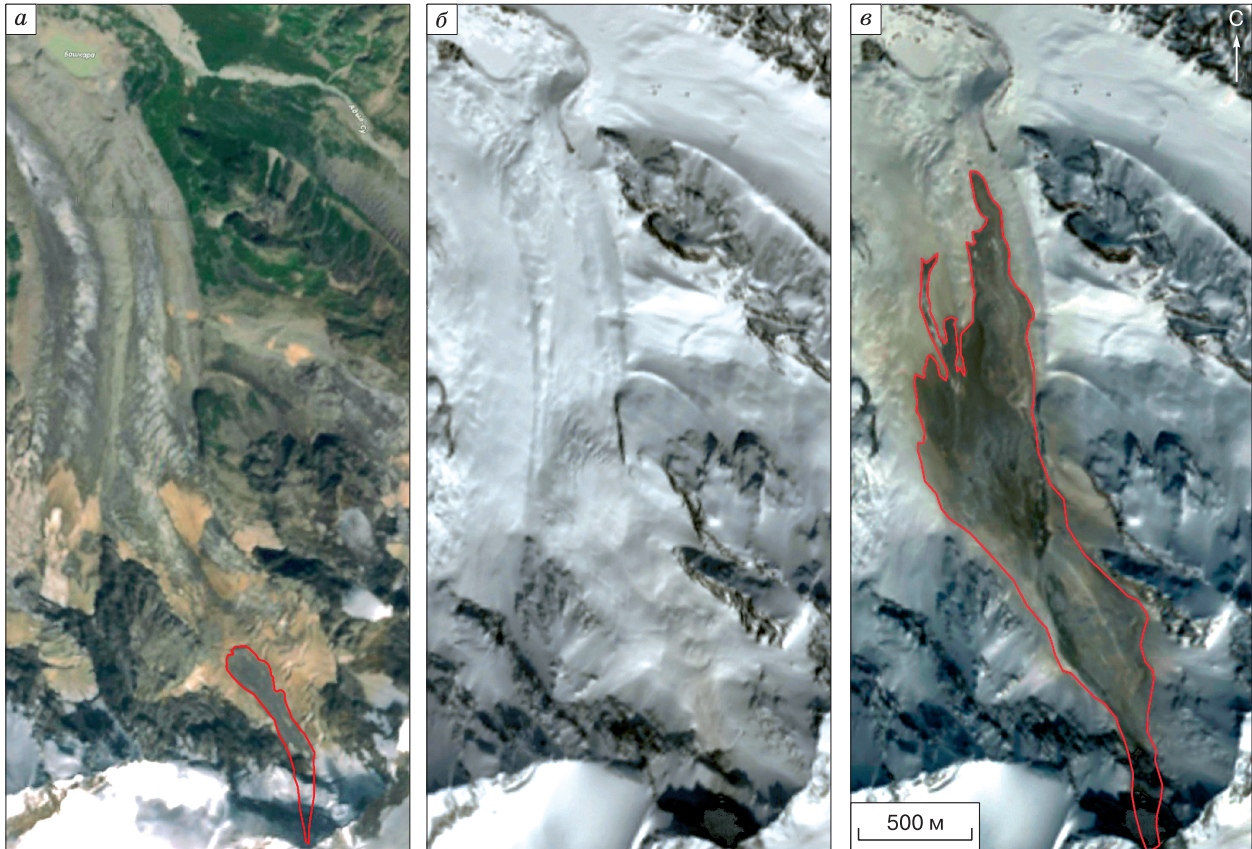


Рис. 1. Следы обвалов с горы Башкара в 2018 и 2019 гг. на леднике Башкара.

Космоснимки Sentinel 2A: *а* – 13.08.2018; *б* – 23.04.2019; *в* – 25.04.2019. Красная линия – контуры свежих обвалов.



Рис. 2. Общий вид участка обвала в верхьях долины р. Адыл-Су:

1 – г. Джантуган (4012 м); 2 – г. Башкара (4162 м); 3 – фронтальная часть зоны отложения обвала (снежно-ледово-каменной лавины); 4 – озеро Башкара; 5 – ледник Башкара. Фото М.Д. Докукина, 30.04.2019 г.

графий склона г. Башкара до и после обвалов 2018 и 2019 гг. позволило выявить зоны отрыва скальных блоков, зоны падения скальных обломков и зоны выбивания и отрыва массивов льда висячего ледника (рис. 4).

В результате сравнения фотографий можно сделать следующие выводы:

1) летний и весенний снимки до обвала 2018 г. (см. рис. 4, *а*, *б*) фиксируют одинаковые контуры висячего ледника;

2) в результате небольшого по объему скального обвала в 2018 г. была выбита часть висячего ледника, расположенная выше бергшрунда и “содран” верхний слой висячего ледника;

3) больше чем через неделю после скального обвала 2018 г. произошел обвал части висячего ледника (на рис. 4, *в* запечатлен момент обвала льда), отложения которого покрыли площадь около 0.03 км²;

4) массы льда висячего ледника и снежный покров на склоне обрушивались не только в зоне ударного воздействия скальных обломков, но и за ее пределами;

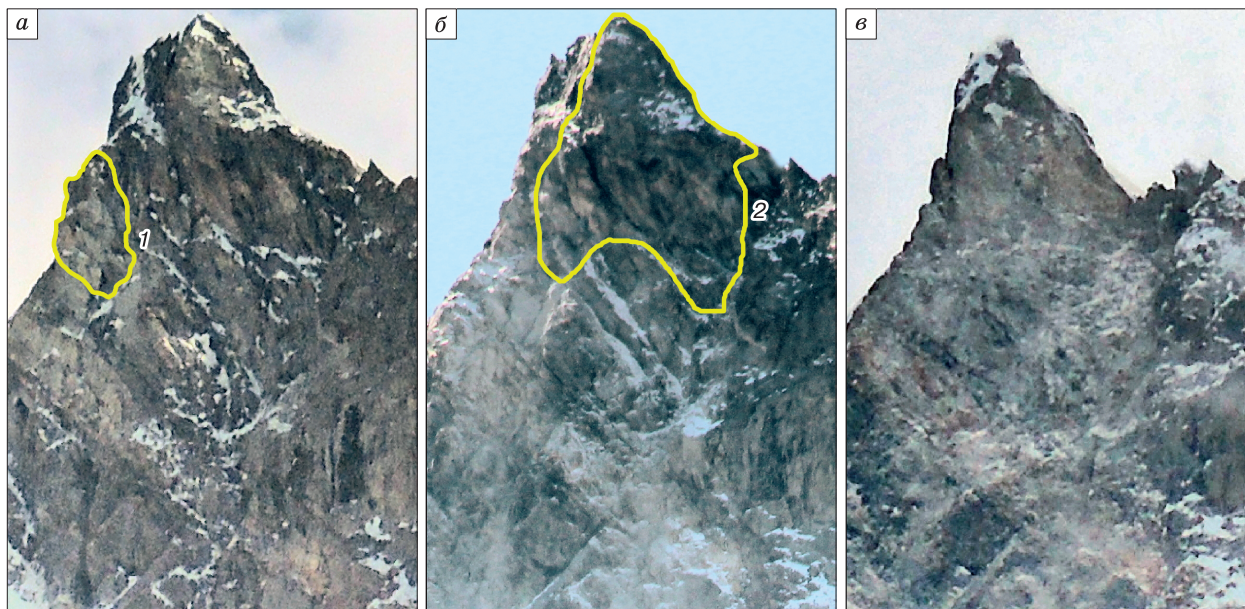


Рис. 3. Вершина г. Башкара до и после обвалов:

a – 29.07.2017 (фото М.Д. Докукина); *б* – 20.08.2018 (фото С.С. Черноморца); *в* – 30.04.2019 (фото М.Д. Докукина).
1 – контур скального блока, обрушившегося в августе 2018 г.; 2 – контур скального блока, обрушившегося 24.04.2019 г.

5) объем льда и снежного покрова в составе обвальных масс был намного больше объема обрушившихся скальных обломков. Скальными обломками, падающими с высоты 400 м, был выбит слой снежного покрова и льда висячего ледника на площади примерно 0.03 км^2 (определено по измерениям в Google Earth).

На рис. 5 показаны другие зоны снежно-ледово-каменной лавины. В стороне от зоны падения скальных обломков выделяется зона зарождения снежной лавины с четкой линией отрыва (см. рис. 5, *a*).

На крутом уступе ледника в интервале высот 2800–2880 м отложения масс снежно-ледово-ка-

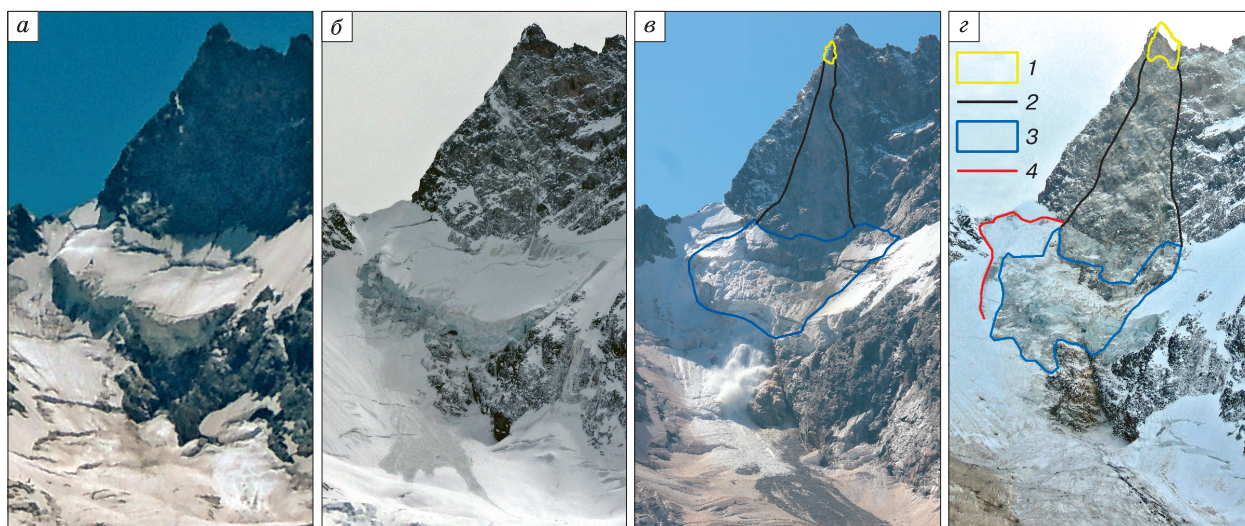


Рис. 4. Склон г. Башкара до и после обвалов:

a – 29.07.2017 (фото М.Д. Докукина); *б* – 18.04.2018 (фото М.Д. Докукина); *в* – 20.08.2018 (фото С.С. Черноморца); *г* – 30.04.2019 (фото М.Д. Докукина). 1 – контуры обрушившихся скальных блоков; 2 – границы зоны падения скальных обломков; 3 – границы зоны выбивания и отрыва массивов льда висячего ледника; 4 – линия отрыва снежной лавины.

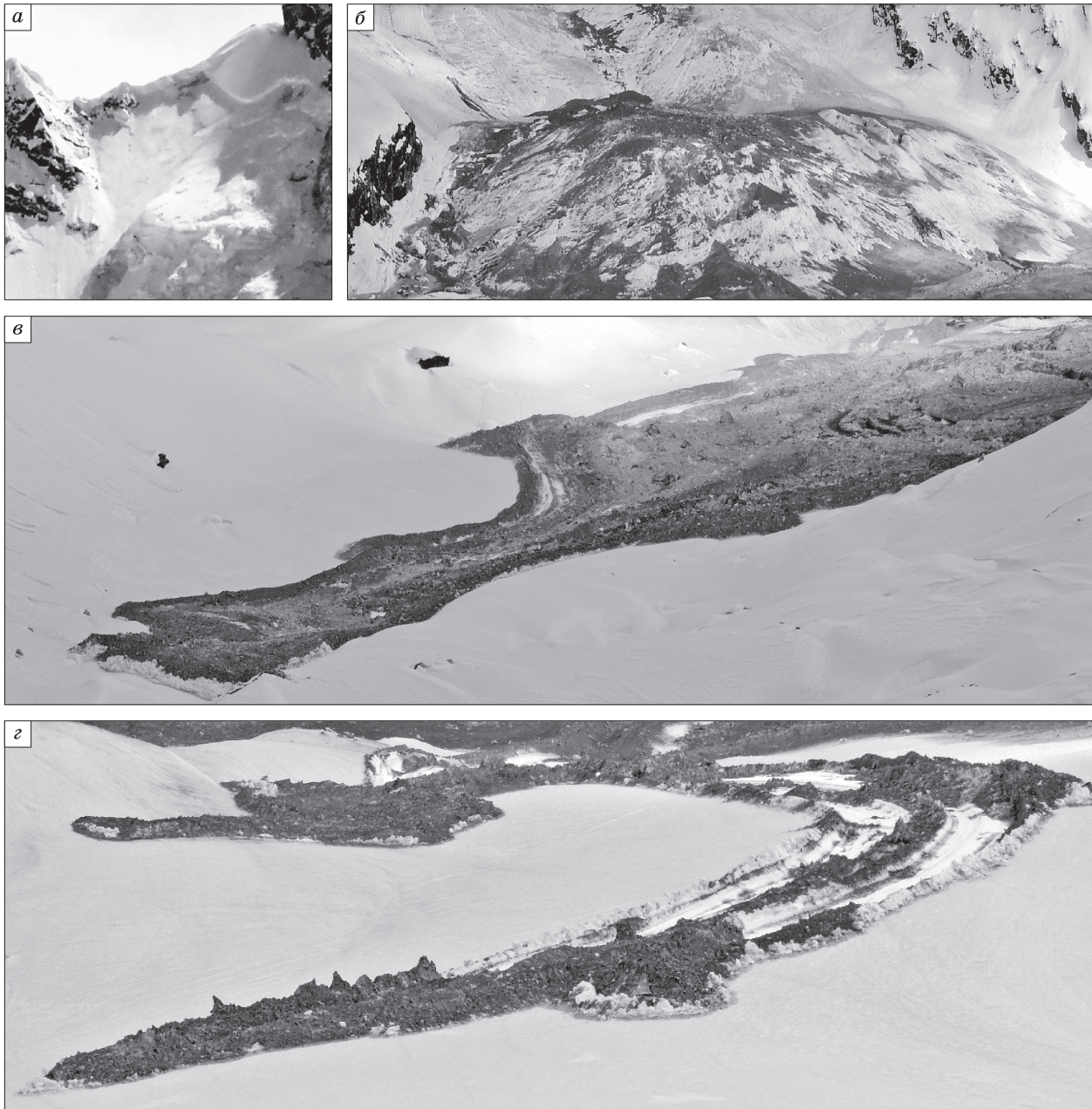


Рис. 5. Динамические зоны снежно-ледово-каменной лавины на леднике Башкара:

a – линия отрыва снежной лавины вне зоны падения обломков; *б* – зона транзита на участке крутого уступа ледника в интервале высот 2800–2880 м; *в* – правая лопасть зоны отложения; *з* – левая лопасть зоны отложения. Фото М.Д. Докукина, 30.04.2019 г.

менной лавины практически не происходило (см. рис. 5, б). Выше этого уступа на высотах 2880–2940 м находилась первая зона аккумуляции на участке ледника крутизной до 6–8°, протяженностью около 400 м, площадью (0.092 ± 0.009) км².

Вторая зона аккумуляции расположена на высотах 2660–2800 м на участке ледника протяженностью более 1 км и крутизной 6–8°. Отложе-

ния образованы несколькими потоками разной ширины, из которых наиболее мощным был правый поток шириной 70–230 м (см. рис. 5, в). Крайние левые потоки – довольно узкие (общей шириной до 40 м) и представляют собой неглубокие желоба в снежном покрове ледника, ограниченные продольными снежными грядами (см. рис. 5, з). Скальный обломочный материал сосредоточен в

основном во фронтальной части левых потоков. Общая площадь зоны отложений снежно-ледово-каменной лавины на леднике Башкара составила (0.44 ± 0.03) км².

Снежно-ледово-каменная лавина остановилась на расстоянии 450 м от оз. Башкара (см. рис. 2), прорыв которого описан в работе [Черноморец и др., 2018]. Это показывает, что риск прорыва озера был не только из-за катастрофического ливня или таяния льда и снега, но и в результате падения массы обломков в озеро. Подобный механизм считается основным для прорыва оз. Палька-коча в Перу, приведшего к гибели 5000 человек в 1941 г. [Carey, 2010]. Такую возможность нужно учитывать и для других озер.

Метеоусловия формирования обвала 24 апреля 2019 г. отличались постоянством отрицательных температур. По данным метеостанции Чегет, расположенной на высоте 3040 м, максимальные температуры воздуха в период 17–25 апреля были отрицательными. Более того, с учетом вертикального градиента температуры в зоне отрыва обвала в течение всего месяца температуры воздуха оставались отрицательными. С 15 по 21 апреля выпало 53.4 мм твердых осадков.

По данным Геофизической службы РАН, USGS, каталогов и карт землетрясений в режиме реального времени, сейсмическая активность в районе обвала непосредственно перед событием не наблюдалась.

ВЫВОДЫ

1. Космический мониторинг высокогорной зоны на основе данных спутника Sentinel 2A позволил выявить активизацию обвальных процессов на Западном и Центральном Кавказе в последние годы.

2. Зоны отрыва обвалов достигают высоты 3800–4000 м (отрыв скального блока на г. Штавлер в Грузии в июле 2018 г. произошел на высоте 3830 м).

3. Обвал на леднике Башкара по дальности выброса (3500 м), площади зоны поражения (0.90 ± 0.04) км² и объему (1.2–1.5 млн м³) не является максимальным, но превышает средние масштабы.

4. Особенностью обвалов в высокогорной зоне было вовлечение в обвальные массы массивов льда висячих ледников и трансформация обвалов в ледово-каменные и снежно-ледово-каменные лавины.

5. Обвальные отложения могут повлиять на динамику ледника Башкара, в связи с чем наблюдения за этим объектом будут продолжены.

Работа выполнена при финансовой поддержке РГО (грант № 12/2019-Р).

Литература

- Докукин М.Д., Савернюк Е.А. О возможности оценки угрозы каменных лавин (на примере долины р. Харгабах, Чеченская Республика) // В мире науч. открытий, 2010, № 3–4, с. 146–151.
- Докукин М.Д., Савернюк Е.А., Черноморец С.С. Обвальные процессы в высокогорной зоне Кавказа в XXI веке // Природа, 2015, № 7, с. 52–62.
- Дробышев В.Н., Торчинов Х.-М.З., Тутубалина О.В., Хубаев Х.М. Основные топогеодезические параметры и кинематика Девдоракского обвала 17 мая 2014 года // Вестн. Владикавказ. науч. центра, 2014, № 4, с. 30–41.
- Петраков Д.А., Тутубалина О.В., Черноморец С.С. По следам Геналдонской катастрофы: год спустя // Криосфера Земли, 2004, т. VIII, № 1, с. 29–39.
- Резепкин А.А., Поповин В.В. О влиянии поверхностной морены на состояние ледника Джанкуат (Центральный Кавказ) к 2025 г. // Лед и снег, 2018, т. 58, № 3, с. 307–321.
- Тутубалина О.В., Черноморец С.С., Петраков Д.А. Ледник Колка перед катастрофой 2002 года: новые данные // Криосфера Земли, 2005, т. IX, № 4, с. 62–71.
- Черноморец С.С. Новый “Казбекский завал” 17 мая 2014 года // Природа, 2014, № 7, с. 67–72.
- Черноморец С.С., Савернюк Е.А., Петраков Д.А. и др. Ледово-каменный обвал и последующий селевой поток в Девдоракском ущелье (Кавказ, Грузия) в 2014 году // Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита: Материалы IV Междунар. конф. (Иркутск, пос. Аршан, 6–10 сент. 2016 г.). Иркутск, Изд-во ИГ СО РАН, 2016, с. 244–248.
- Черноморец С.С., Петраков Д.А., Алейников А.А. и др. Прорыв озера Башкара (Центральный Кавказ, Россия) 1 сентября 2017 года // Криосфера Земли, 2018, т. XXII, № 2, с. 70–80.
- Carey M. In the Shadow of Melting Glaciers – Climate Change and Andean Society. Oxford, U.K., Oxford University Press, 2010, 273 p.
- Crosta G.B., Chen H., Frattini P. Forecasting hazard scenarios and implications for the evaluation of countermeasure efficiency for large debris avalanches // Eng. Geology, 2006, vol. 83, p. 236–253.
- Deline P., Hewitt K., Reznichenko N., Shugar D. Rock avalanches onto glaciers // Landslide Hazards, Risks, and Disasters. Chap. 9. Amsterdam, Elsevier, 2015, p. 263–319.
- Dunning S.A., Mitchell W.A., Rosser N.J., Petley D.N. The Hattian Bala rock avalanche and associated landslides triggered by the Kashmir earthquake of 8 October 2005 // Eng. Geology, 2007, vol. 93, p. 130–144.
- Evans S.G., Guthrie R.H., Roberts N.J., Bishop N.F. The disastrous 17 February 2006 rockslide-debris avalanche on Leyte Island, Philippines: a catastrophic landslide in tropical mountain terrain // Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 2007, vol. 7, p. 89–101.
- Evans S.G., Tutubalina O.V., Drobyshev V.N. et al. Catastrophic detachment and high-velocity long-runout flow of Kolka Glacier, Caucasus Mountains, Russia in 2002 // Geomorphology, 2009, vol. 105, No. 3–4, p. 314–321.
- Haeussler P.J., Schwartz D.P., Dawson T.E. et al. Surface rupture and slip distribution of the Denali and Totshunda faults in the 3 November 2002 M7.9 earthquake, Alaska // Bull. Seismol. Soc. Amer., 2004, vol. 94, No. 6B, p. S23–S52.
- Hewitt K. Rock avalanches that travel onto glaciers and related developments, Karakoram Himalaya, Inner Asia // Geomorphology, 2009, vol. 103, p. 66–79.
- Huggel C., Caplan-Auerbach J., Waythomas C.F., Wesels R.L. Monitoring and modeling ice-rock avalanches from

ice-capped volcanoes: A case study of frequent large avalanches on Iliamna Volcano, Alaska // *J. Volcanol. and Geothermal Res.*, 2007, vol. 168, p. 114–136.

Kotlyakov V.M., Rototaeva O.V., Nosenko G.A. The September 2002 Kolka glacier catastrophe in North Ossetia, Russian Federation: evidence and analysis // *Mountain Res. and Development*, 2004, No. 24, p. 78–83.

Legros F. The mobility of long-runout landslides // *Eng. Geology*, 2002, vol. 63, p. 301–331.

Lipovsky P.S., Evans S.G., Clague J.J. et al. The July 2007 rock and ice avalanches at Mount Steele, St. Elias Mountains, Yukon, Canada // *Landslides*, 2008, No. 5, p. 445–455.

Petley D. Bashkara Glacier: a major rock avalanche in the Caucasus last week. 2019. – URL: <https://blogs.agu.org/landslideblog/2019/04/30/bashkara-glacier-1/> (last visited: 17.05.2019).

Petrov M.A., Sabitov T.Y., Tomashevskaya I.G. et al. Glacial lake inventory and lake outburst potential in Uzbekistan // *Sci. Total Environ.*, 2017, vol. 592, p. 228–242.

Shang Y., Yang Z., Li L. et al. A super-large landslide in Tibet in 2000: background, occurrence, disaster, and origin // *Geomorphology*, 2003, vol. 54, p. 225–243.

Sosio R. Rock–snow–ice avalanches // *Landslide Hazards, Risks and Disasters*. Chap. 7. Amsterdam, Elsevier, 2015, p. 191–240.

Tielidze L., Kumladze R.M., Wheate R., Gamkrelidze M. The Devdoraki Glacier Catastrophes, Georgian Caucasus // *Hungarian Geograph. Bull.*, 2019, vol. 68, No. 1, p. 21–35.

Wei F., Chernomorets S., Aristov K. et al. A seismically triggered landslide in the Niujuan valley near the epicenter of the 2008 Wenchuan earthquake // *J. Earth Sci.*, 2010, vol. 21, No. 6, p. 901–909.

References

Dokukin M.D., Savernyuk E.A. On the possibility of assessing the threat of rock avalanches (by the example of the valley of the Khargabakhk river, Chechen Republic). *V mire nauchnykh otkrytii* [Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture], 2010, No. 3–4, p. 146–151.

Dokukin M.D., Savernyuk E.A., Chernomorets S.S. Rock avalanches in the Alpine Zone of the Caucasus in the 21 century. *Priroda* [Nature], 2015, No. 7, p. 52–62.

Drobyshev V.N., Torchinov X.-M.Z., Tutubalina O.V., Khubaev H.M. Basic topogeodesic parameters and kinematics of the Devdorak landslide, May 17, 2014. *Vestnik of Vladikavkaz Scientific Centre*, 2014, No. 4, p. 30–41.

Petrakov D.A., Tutubalina O.V., Chernomorets S.S. The 2002 Genaldon glacial catastrophe: one year later. *Kriosfera Zemli* [Earth's Cryosphere], 2004, vol. VIII, No. 1, p. 29–39.

Rezepkin A.A., Popovnin V.V. Influence of the surface moraine on state of Djankuat Glacier (Central Caucasus) by 2025. *Led i Sneg* [Ice and Snow], 2018, vol. 58, No. 3, p. 307–321.

Tutubalina O.V., Chernomorets S.S., Petrakov D.A. Kolka glacier before the 2002 collapse: new data. *Kriosfera Zemli* [Earth's Cryosphere], 2005, vol. IX, No. 4, p. 62–71.

Chernomorets S.S. New “Kazbek Obstruction” of 17 may 2014. *Priroda* [Nature], 2014, No. 7, p. 67–72.

Chernomorets S.S., Savernyuk E.A., Petrakov D.A. et al. Ice-rock avalanche and consequent debris flow in the Devdorak Gorge (Mt. Kazbek, Caucasus, Georgia) in 2014. In: *Debris flows: risks, forecast, protection*. Proc. IV Intern. Conf. (Irkutsk; Arshan village, Sept. 6–10, 2016). Irkutsk, Institute of Geography SB RAS, 2016, p. 244–248 (in Russian).

Chernomorets S.S., Petrakov D.A., Aleynikov A.A. et al. The outburst of Bashkara glacier lake (Central Caucasus, Russia) on September 1, 2017. *Earth's Cryosphere*, 2018, vol. XXII, No. 2, p. 61–70.

Carey M. In the Shadow of Melting Glaciers – Climate Change and Andean Society. Oxford, U.K., Oxford University Press, 2010, 273 p.

Crosta G.B., Chen H., Frattini P. Forecasting hazard scenarios and implications for the evaluation of countermeasure efficiency for large debris avalanches. *Eng. Geology*, 2006, vol. 83, p. 236–253.

Deline P., Hewitt K., Reznichenko N., Shugar D. Rock avalanches onto glaciers. In: *Landslide Hazards, Risks, and Disasters*. Chap. 9. Amsterdam, Elsevier, 2015, p. 263–319.

Dunning S.A., Mitchell W.A., Rosser N.J., Petley D.N. The Hattian Bala rock avalanche and associated landslides triggered by the Kashmir earthquake of 8 October 2005. *Eng. Geology*, 2007, vol. 93, p. 130–144.

Evans S.G., Guthrie R.H., Roberts N.J., Bishop N.F. The disastrous 17 February 2006 rockslide-debris avalanche on Leyte Island, Philippines: a catastrophic landslide in tropical mountain terrain. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 2007, vol. 7, p. 89–101.

Evans S.G., Tutubalina O.V., Drobyshev V.N. et al. Catastrophic detachment and high-velocity long-runout flow of Kolka Glacier, Caucasus Mountains, Russia in 2002. *Geomorphology*, 2009, vol. 105, No. 3–4, p. 314–321.

Haeussler P.J., Schwartz D.P., Dawson T.E. et al. Surface rupture and slip distribution of the Denali and Totshunda faults in the 3 November 2002 M7.9 earthquake, Alaska. *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, 2004, vol. 94, No. 6B, p. S23–S52.

Hewitt K. Rock avalanches that travel onto glaciers and related developments, Karakoram Himalaya, Inner Asia. *Geomorphology*, 2009, vol. 103, p. 66–79.

Huggel C., Caplan-Auerbach J., Waythomas C.F., Wessels R.L. Monitoring and modeling ice-rock avalanches from ice-capped volcanoes: A case study of frequent large avalanches on Iliamna Volcano, Alaska. *J. Volcanol. and Geothermal Res.*, 2007, vol. 168, p. 114–136.

Kotlyakov V.M., Rototaeva O.V., Nosenko G.A. The September 2002 Kolka glacier catastrophe in North Ossetia, Russian Federation: evidence and analysis. *Mountain Res. and Development*, 2004, No. 24, p. 78–83.

Legros F. The mobility of long-runout landslides. *Eng. Geology*, 2002, vol. 63, p. 301–331.

Lipovsky P.S., Evans S.G., Clague J.J. et al. The July 2007 rock and ice avalanches at Mount Steele, St. Elias Mountains, Yukon, Canada. *Landslides*, 2008, No. 5, p. 445–455.

Petley D. Bashkara Glacier: a major rock avalanche in the Caucasus last week. 2019. – URL: <https://blogs.agu.org/landslideblog/2019/04/30/bashkara-glacier-1/> (last visited: 17.05.2019).

Petrov M.A., Sabitov T.Y., Tomashevskaya I.G. et al. Glacial lake inventory and lake outburst potential in Uzbekistan. *Sci. Total Environ.*, 2017, vol. 592, p. 228–242.

Shang Y., Yang Z., Li L. et al. A super-large landslide in Tibet in 2000: background, occurrence, disaster, and origin. *Geomorphology*, 2003, vol. 54, p. 225–243.

Sosio R. Rock–snow–ice avalanches. In: *Landslide Hazards, Risks, and Disasters*. Chap. 7. Amsterdam, Elsevier, 2015, p. 191–240.

Tielidze L., Kumladze R.M., Wheate R., Gamkrelidze M. The Devdoraki Glacier Catastrophes, Georgian Caucasus. *Hungarian Geograph. Bull.*, 2019, vol. 68, No. 1, p. 21–35.

Wei F., Chernomorets S., Aristov K. et al. A seismically triggered landslide in the Niujuan valley near the epicenter of the 2008 Wenchuan earthquake. *J. Earth Sci.*, 2010, vol. 21, No. 6, p. 901–909.

*Поступила в редакцию 17 мая 2019 г.,
после доработки – 10 июля 2019 г.,
принята к публикации 5 августа 2019 г.*