

О ЛЕДОВО-КАМЕННОМ ОБВАЛЕ С СЕВЕРНОГО СКЛОНА ГОРЫ ДЫХТАУ 12.08.2023 И ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ УГРОЗЕ ОБВАЛА СО СКЛОНА ГОРЫ ДЖАНГИТАУ (БАССЕЙН Р. ЧЕРЕК-БЕЗЕНГИЙСКИЙ, ЦЕНТРАЛЬНЫЙ КАВКАЗ)

© 2024 г. М. Ю. Беккиев, М. Д. Докукин*, М. Ч. Залиханов, Р. Х. Калов, А. Р. Акаев

Высокогорный геофизический институт, Нальчик, Россия

**e-mail: inrush@bk.ru*

Поступила 24 января 2024 г.

После доработки 6 марта 2024 г.

Принята к печати 10 апреля 2024 г.

На основе анализа космоснимков на участках высоких скально-ледовых стен в бассейне р. Черек-Безенгийский выявлена активизация ледово-каменных обвалов (северный склон горы Дыхтау) в 2016 и 2023 гг., появление новых трещин на висячем леднике и ускорение движения ледника подножия горы Джангитау Западная на Безенгийской стене летом и осенью 2023 г., что позволяет предполагать возрастание угрозы крупных обвалов в будущем.

Ключевые слова: ледник, трещина, обвал, зона поражения, дальность выброса

DOI: 10.31857/S2076673424020047

ВВЕДЕНИЕ

Изменение климата приводит к ускорению деградации ледников и к изменению их состояния и динамики. С этим связана активизация широкого спектра обвальных и других опасных процессов, которые были выявлены на разных участках склонов Главного Кавказского хребта и его отрогов в результате анализа разновременных космоснимков (Докукин и др., 2020а). Воздействие талых ледниковых вод и других атмосферных явлений приводит к изменению динамики ледников и вследствие этого к многочисленным обвалам льда на различных участках (скально-ледовые стены, уступы коренного ложа) (Докукин и др., 2020б). Вследствие оттаивания многолетнемёрзлых скальных массивов, обрамляющих ледники, чаще сходят ледово-каменные и каменные лавины на участках, где они раньше не фиксировались (Leinss et al., 2021; Shugar et al., 2021; Докукин и др., 2022). С участков скальных и моренных склонов с различными углами наклона вплоть до 8–9° обрушиваются массы льда объёмами до 100 млн м³ и более (Leinss et al., 2021; Käåb et al., 2021; Беккиев и др., 2022; Bondesan et al., 2023). В некоторых случаях перед обвалом или сходом ледника наблюдаются изменения на склонах и ледниках, видимые на космоснимках (Докукин и др., 2019; Беккиев и др., 2021; Shugar et al., 2021). Их можно считать признаками подготовки опасных природных процессов и в дальнейшем

учитывать в ходе мониторинга высокогорной зоны с целью предупреждения о грозящей опасности.

В результате анализа проявлений обвальных процессов и сходов ледников в разных районах мира был сделан вывод о том, что в ближайшие годы возможна активизация ледовых и скально-ледовых обвалов (ледяных, ледово-каменных лавин) (Докукин и др., 2022). Один такой обвал с гибелью человека произошёл 12.08.2023 в ущелье р. Мижирги с северного склона горы Дыхтау (Поисково-спасательные работы, 2023).

С целью оценки динамики и современного состояния висячих ледников на скально-ледовых стенах с высотами до 5000 м и более, а также выявления активности ледово-каменных обвалов и их потенциальной угрозы проведён анализ разновременных космоснимков на участке обвала 12.08.2023 на горе Дыхтау (5204.7 м) и участке Безенгийской стены на склоне горы Джангитау Западная (5059 м).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использованы космоснимки Sentinel-2 разрешением 10 м и космоснимки Landsat-7 ETM+ разрешением 15 м с сайта <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>. В программе QGIS последовательно просматривались разновременные космоснимки с целью выявления изменений и строились слои границ зоны поражения обвальным процессом и контура

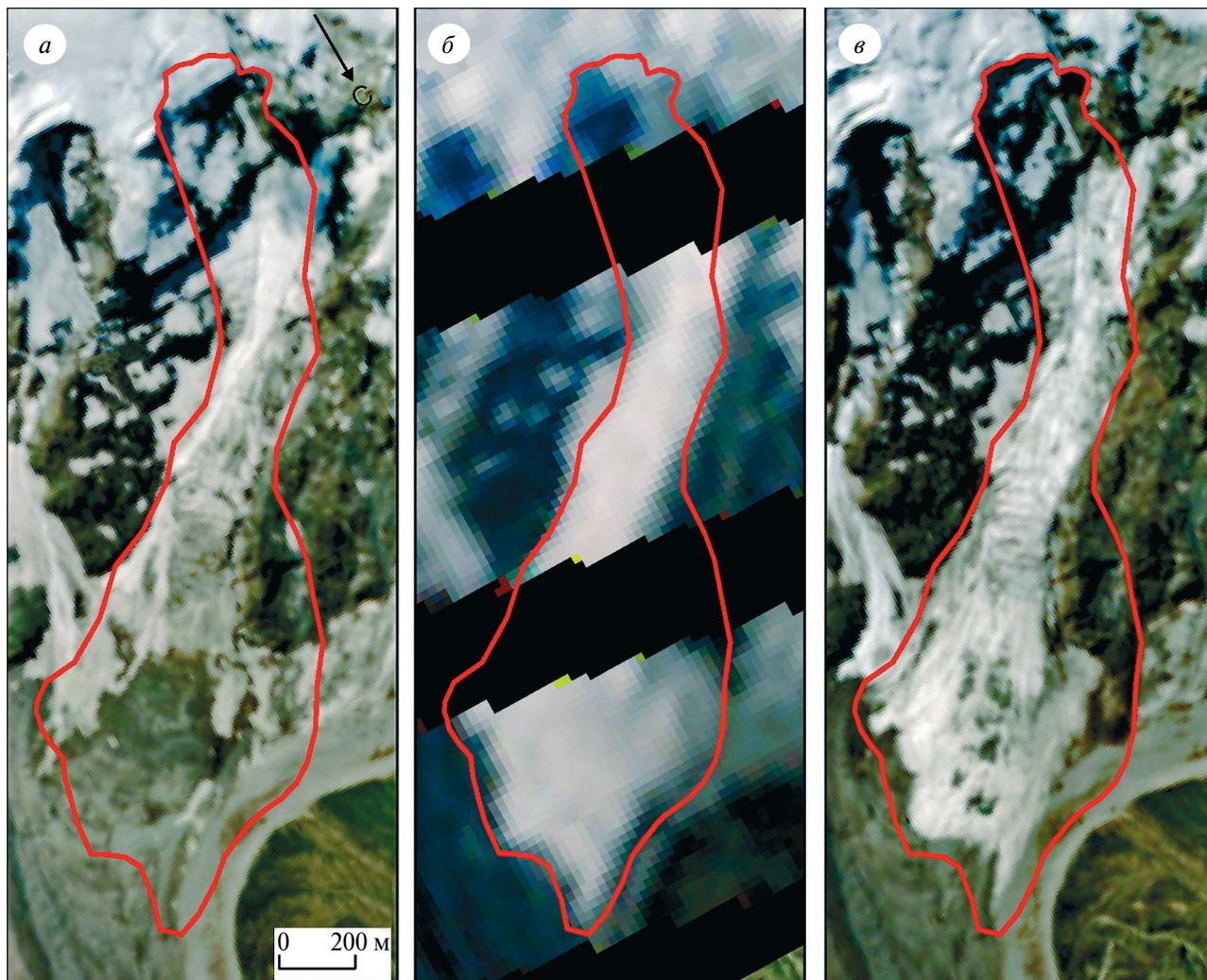


Рис. 1. Зона поражения обвальным процессом 12.08.2023 (показана красным контуром) с северного склона горы Дыхтау на космоснимках: *а* — 07.08.2023 Sentinel-2; *б* — 13.08.2023 Landsat-7 ETM+; *в* — 17.08.2023 Sentinel-2

Fig. 1. The area affected by the collapse on 12.08.2023 (shown in red outline) from the northern slope of Mount Dykhtau on satellite images; *a* — 07.08.2023 Sentinel-2; *б* — 13.08.2023 Landsat-7 ETM+; *в* — 17.08.2023 Sentinel-2

обвалившегося блока для определения площади зон поражения и отложений, дальности выброса и приблизительного объёма (рис. 1). Погрешность определения площади находили посредством произведения периметра контура на 0.5 размера пикселя (5 м для космоснимков Sentinel-2 и 7.5 м для космоснимка Landsat-7 ETM+). Для оценки высотных параметров использовались карты OpenStreetMap. Кроме этого, использованы фотографии с вертолётного облёта 19.09.2023.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Динамика висячего ледника на северном склоне горы Дыхтау (5204.7 м) в 2015–2023 гг. и обвал 12.08.2023. По данным МЧС России по Кабардино-Балкарской Республике (Поисково-спасательные работы, 2023) 12.08.2023 в 6 часов поступила информация о том,

что в Черекском районе, недалеко от альплагеря «Безенги» (Судейские ночёвки в ущелье Мижирги), группа туристов попала под камнепад. В дальнейшем выяснилось, что один из туристов, который ночевал в палатке, погиб.

В результате анализа космоснимков до и после обвала был выявлен участок отрыва блока ледника, и определена зона поражения обвальным процессом (рис. 2). Отрыв блока льда висячего ледника произошёл на северном склоне горы Дыхтау (5204.7 м) на высоте около 4370 м, а нижняя граница отложений зафиксирована на высоте 2960 м. Дальность выброса обвальных масс составила в плане 2.33 км, а с учётом среднего угла наклона 31.2° — около 2.7 км. Границы зоны отложений определены с использованием космоснимка Landsat-7 ETM+ от 13.08.2023 и в результате сравнения космоснимков Sentinel-2 от 7 и 17 августа. На космоснимке 17.08.2023 Sentinel-2

часть отложенной массы льда уже растаяла, и выявлен участок массы обломочного материала (см. рис. 1, *в* справа), которой не было видно на снимке до обвала. Это подтвердило, что обвал был ледово-каменным. Общая площадь отложений обвала составила $0.45 \pm 0.02 \text{ км}^2$. Вследствие того, что отсутствовали точные цифровые модели рельефа и космоснимки детального разрешения на период до и после обвала, объём обвалившегося блока определить было затруднительно, и по приблизительным оценкам он мог составлять около 0.9–1.0 млн м^3 (этому объёму соответствуют приблизительная средняя толщина всياчего ледника около 30–35 м и средняя толщина отложений около 2 м). В дальнейшем при получении новых точных данных величина этого параметра может измениться.

На рис. 1 показано место отрыва обвала по состоянию на разные годы. На фрагментах *д* и *е* изображён участок всياчего ледника до и после обвала 12.08.2023. Ширина обвалившегося блока составила 230 м, а площадь — $20.0 \pm 2.8 \text{ тыс. м}^2$. Превышение линии отрыва над концом ледника составляло около 100 м, угол наклона — около 40° . Следует отметить, что этот обвал был не первым на рассматриваемом участке. В результате анализа космоснимков выявлено, что в 2015–2016 гг. на месте обвалившегося в 2023 г. блока ледника находился массив льда немного меньших размеров и объёма, что и до обвала 2023 г. (см. рис. 2, *а*). В интервале 3 сентября — 12 ноября 2015 г. образовалась трещина примерно в том же месте, где была линия отрыва в 2023 г., но она была длиной более 350 м и захватывала прилегающий массив западнее. Трещина существовала и увеличивалась по ширине с ноября 2015 г. по январь 2016 г. Затем в период с 10 февраля по 10 апреля 2016 г. произошло несколько обвалов. Последний крупный массив льда ледника (примерно половина всего объёма обвалившихся масс) обрушился в период с 10 апреля по 19 июня 2016 г.

На фрагменте *б* (см. рис. 2) в сентябре 2016 г. отсутствует обвалившийся массив льда, видна трещина (бровка) отрыва и небольшие выступы коренных пород ниже неё. Далее несколько лет происходило восстановление массива всياчего ледника на этом же месте. На фрагменте *в* (см. рис. 2) показано состояние ледника 17 августа 2022 г., ещё не достигшего наибольшего размера. К апрелю 2023 г. произошли некоторые изменения в рельефе участка ледника (см. рис. 2, *г*). За 5 суток до обрушения явных трещин на массиве не наблюдалось (см. рис. 2, *д*).

Динамика ледников на склоне и у подножия горы Джангитау Западная (5059 м) в 2015–2023 гг. и потенциальная угроза обвала. После событий на горе Дыхтау было обращено внимание на массив Безенгийской стены с изобилием всياчих ледников. Ранее была оценена активность ледяных лавин (Докукин и др., 2020б) — летом, включая сентябрь, до 20–30 ледяных лавин ежегодно. На рис. 3 показан участок

Безенгийской стены, на котором в 2023 г. выявлено формирование значительной трещины на всياчем леднике.

В ходе вертолётного облёта 19.09.2023 был сфотографирован склон горы Джангитау (часть Безенгийской стены) (см. рис. 3, *а*, обозначение 1), на котором появилась трещина шириной до 40 м за период с мая по сентябрь 2023 г. На рис. 3, *д* показан участок ледника с первым признаком проявления трещины. Далее в течение четырёх месяцев происходил рост ширины трещины и её длины вдоль склона. Длина трещины в виде овала достигла 400 м. Она отделила блок ледника шириной 540 м с образовавшейся выпуклостью слева (см. рис. 3, *е* справа). С учётом того, что ранее при анализе условий схода ледово-каменной лавины в 2021 г. с горы Ронти (Гималаи, Индия) было выявлено формирование трещины задолго до обрушения (Беккиев и др., 2021; Shugar et al., 2021), было сделано предупреждение региональным органам исполнительной власти Кабардино-Балкарской республики о потенциальной угрозе обвала.

Дальнейший ретроспективный анализ космоснимков показал, что в период 03.09.2015–14.02.2017 происходило формирование и развитие системы трещин на этом же массиве всياчего ледника сначала в верхней и затем в нижней частях (см. рис. 3, *б–г*), но обрушения ледника в то время не произошло.

В сентябре — декабре 2023 г. дальнейшего развития системы трещин на всياчем леднике не происходило, но в этот период выявлена аномальная подвижка ледника у подножия склона горы Джангитау (см. рис. 3, *а*, обозначение 2, *ж*, 3, *и*). С середины сентября по конец декабря (3.5 месяца) продвижение характерной точки на леднике (см. рис. 3, *и*, обозначение 3) составило 110 м. При этом наступающим ледником был перекрыт ледяной лавинный конус (см. рис. 3, *ж*, *и* правее обозначения), и ледник напоз на поверхность ледника Безенги с образованием фронтального дугообразного вала. Такого поведения ледника в 2015–2023 гг. не было.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты анализа космоснимков на участках высоких скально-ледовых стен в ущелье Черек-Безенгийский (северная стена горы Дыхтау, стена горы Джангитау массива Безенгийской стены) показали, что в последние годы были аномальные проявления динамики всячих ледников на высотах 4370 и 4650 м в виде образования новых систем трещин в 2015–2017 гг. на склонах гор Дыхтау и Джангитау и в 2023 г. на склоне горы Джангитау, а также в виде обвалов значительной части всячего ледника в 2016 и 2023 гг. (гора Дыхтау).

Абсолютные высоты зон отрыва и новых трещин в перечисленных выше случаях практически превышают высоты ранее зафиксированных крупных обвалов, за исключением обвала с горы Казбек в 2014 г. с высотой отрыва 4500 м (Докукин и др., 2020а). Можно

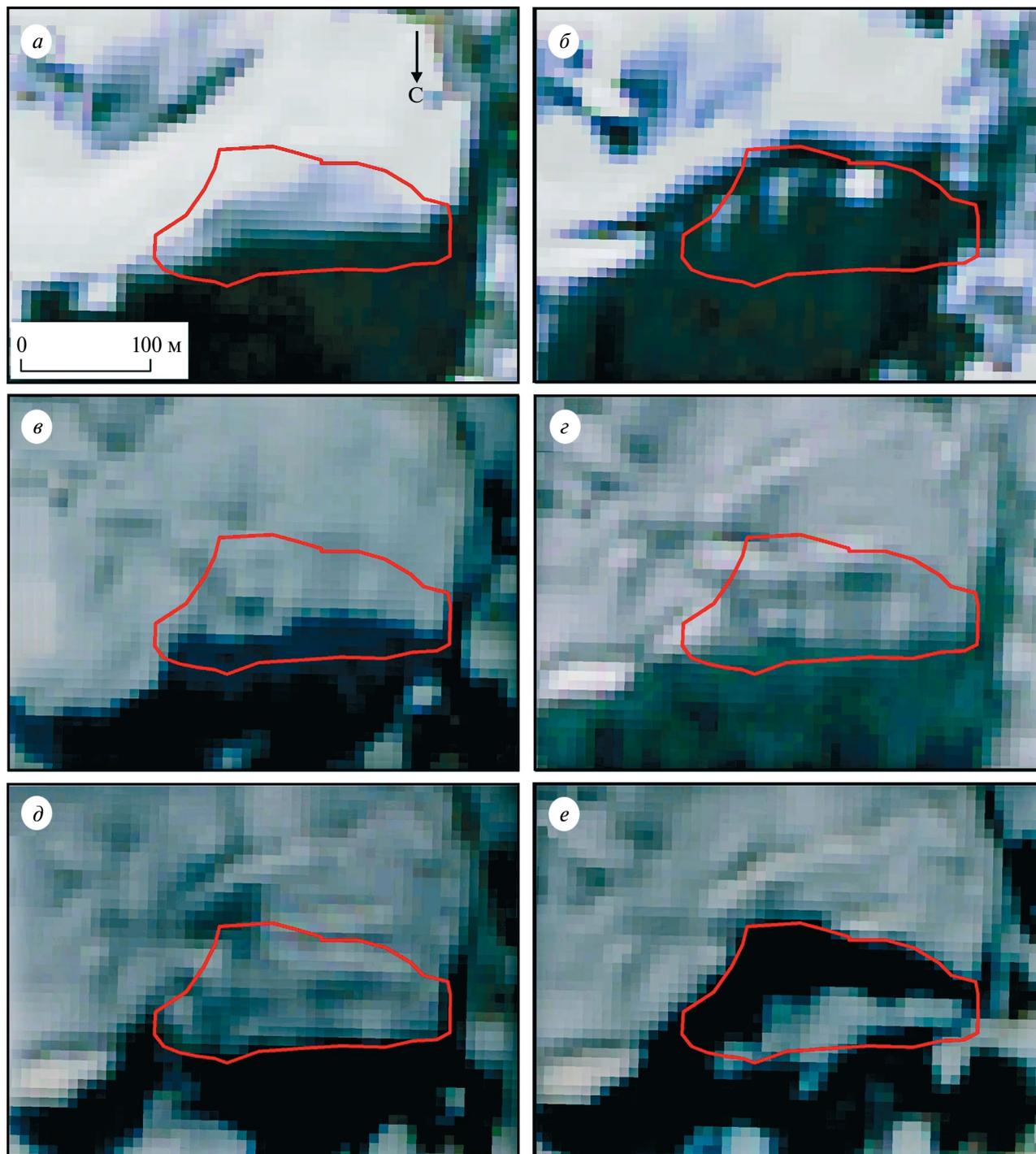


Рис. 2. Участок отрыва обвалов ледника на северном склоне горы Дыхтау в разные годы на космоснимках Sentinel-2: *a* – 03.09.2015; *б* – 07.09.2016; *в* – 17.08.2022; *г* – 04.04.2023; *д* – 07.08.2023; *е* – 17.08.2023. Красный контур на всех фрагментах – границы обвалившегося массива льда 12.08.2023

Fig. 2. The section of icefall detachments on the northern slope of Dykhtau Mountain in different years on Sentinel-2 satellite images: *a* – 03.09.2015; *б* – 07.09.2016; *в* – 17.08.2022; *г* – 04.04.2023; *д* – 07.08.2023; *е* – 17.08.2023. The red outline on all fragments is the boundaries of the collapsed ice mass on 12.08.2023

предположить, что на таких высотных уровнях обвалы всяких ледников будут происходить в будущем чаще, что требует оценки новых угроз. Вместе с тем при взаимодействии с ледниками обломочных масс могут

блокироваться подлёдные гидрологические системы и возникать прорывные обвално-селевые процессы, как это наблюдалось при катастрофе в долине р. Бубисцкали (Грузия) 03.08.2023. Таким образом, зоны

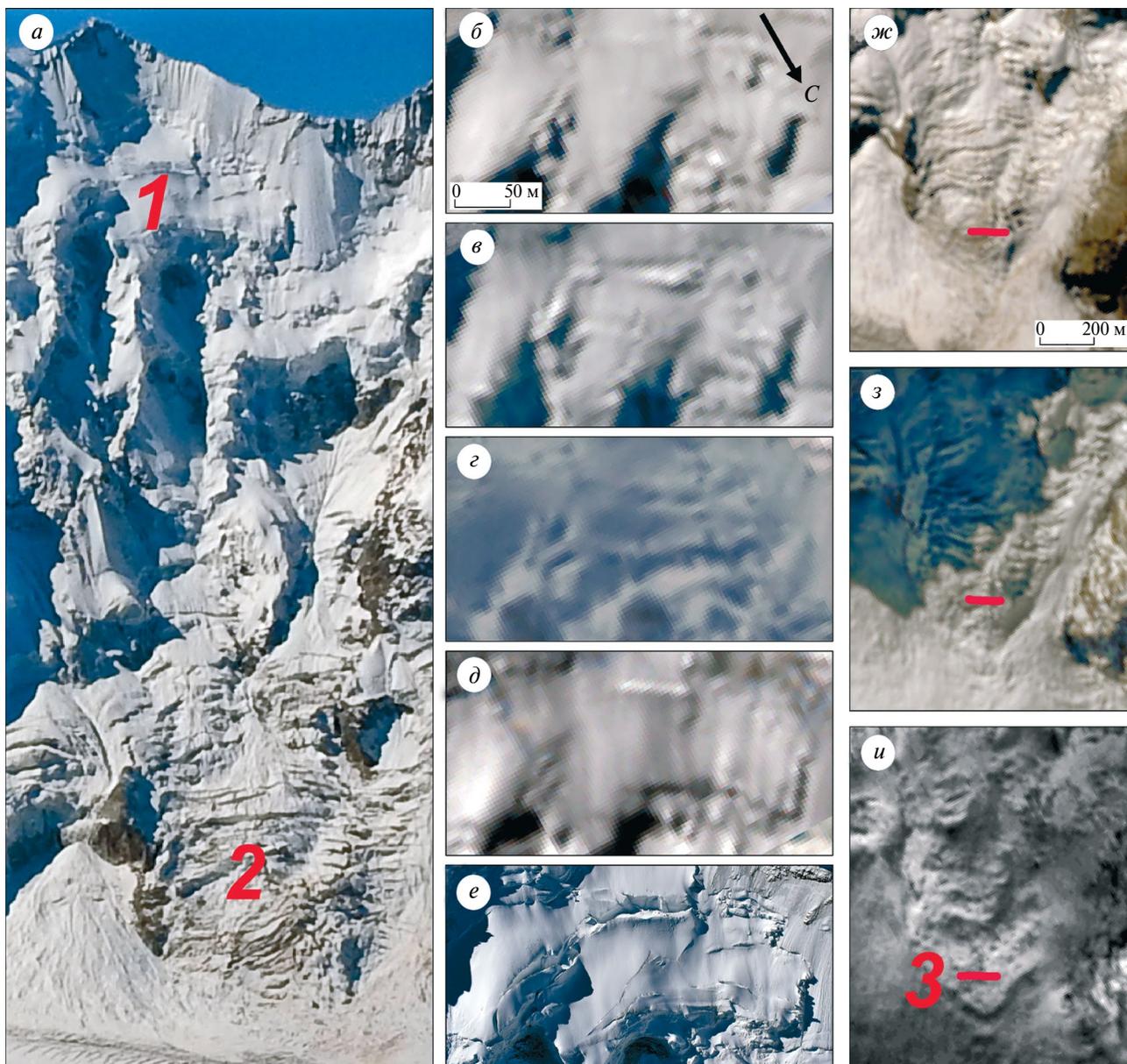


Рис. 3. Участки аномальной динамики ледников на склоне горы Джангитау Западная: *а* – общий вид склона горы Джангитау 19.09.2023 (вертолётное фото М. Д. Докукина; *1* – участок висячего ледника, представленный на фрагментах космоснимков Sentinel-2, *б–д* и вертолётного снимка *е*, *2* – ледник на участке подножия горы Джангитау, представленный на фрагментах космоснимков Sentinel-2 *жс, з, и*); *б* – 03.09.2015; *в* – 07.09.2016; *г* – 14.02.2017; *д* – 09.05.2023; *е* – 19.09.2023; *жс* – 16.09.2023; *з* – 21.10.2023; *и* – 30.12.2023 (*3* – характерные точки для оценки подвижки ледника у подножия горы)

Fig. 3. Areas of anomalous dynamics of glaciers on the slope of Mount Dzhangitau Zapadnaya: *a* – general view of the slope of Mount Dzhangitau 19.09.2023 (helicopter photo by M. D. Dokukin; *1* – a section of a hanging glacier represented on fragments of Sentinel-2 satellite images *б–д* and helicopter image *е*, *2* – a glacier at the foot of Mount Dzhangitau, presented on fragments of Sentinel-2 satellite images *жс, з, и*); *б* – 03.09.2015; *в* – 07.09.2016; *г* – 14.02.2017; *д* – 09.05.2023; *е* – 19.09.2023; *жс* – 16.09.2023; *з* – 21.10.2023; *и* – 30.12.2023 (*3* – typical points for assessing the movement of the glacier at the foot of the mountain)

поражения обвально-селевыми процессами будут захватывать протяжённые участки речных долин.

Пример формирования системы трещин на висячем леднике в 2016–2017 гг. на горе Джангитау, не реализовавшейся в ледовый или ледово-каменный обвал, означает, что не обязательно обвал произойдёт в ближайшем будущем. Подвижка ледника

у подножия стены горы Джангитау, скорее всего, пространственно связана с развитием системы трещин на висячем леднике в верхней части этой стены. Возможно, это свидетельствует о развитии неустойчивости всего этого участка Безенгийской стены, которая может преобразоваться в дальнейшем в крупный ледово-каменный обвал.

Ледово-каменный обвал на склоне горы Дыхтау 12.08.2023, а также факты обвалов и ледово-каменных лавин в 2022 и 2023 гг. на северных и южных склонах Главного Кавказского хребта (в долине р. Аксаут 01.01.2022 в Карачаево-Черкесской республике (Докукин и др., 2022), в долине р. Гебидон в июне 2023 г. в Республике Северная Осетия — Алания, 03.08.2023 в долине р. Бубисцкали в Грузии) дополняют картину общей активизации обвальных процессов в XXI веке на Кавказе, охарактеризованную в работе (Докукин и др., 2020а).

Анализ разновременных космоснимков позволяет своевременно выявлять признаки развития катастрофических обвальных процессов и предупреждать об опасности с целью принятия необходимых мер по снижению рисков стихийных бедствий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённые на основе использования разновременных космоснимков исследования позволили определить место отрыва обвала на горе Дыхтау 12.08.2023 и оценить масштаб обвального процесса, а также выявить проявления обвалов на этом участке в 2016 г., что подтверждает возросшую активность обвальных процессов в высокогорной зоне Кавказа и резкие изменения в состоянии висячих ледников на высоких скально-ледовых стенах в период потепления климата. Эти процессы охватывают гипсометрически самые высокие участки Главного и Бокового Кавказских хребтов (Безенгийская стена и стена массива горы Дыхтау с наличием вершин, высота которых превышает 5000 м). С учётом того, что относительные высоты каменно-ледовых стен достигают 1.5–2.0 км, дальность выброса ледово-каменных масс в будущем может быть значительной. Выявленные проявления аномальной динамики ледников на склоне горы Джангитау Западная дают основание предполагать вероятность ледово-каменного обвала значительного масштаба на этом участке.

В связи с вышеизложенным возрастает значение мониторинга обвальных процессов и аномальной динамики ледников в высокогорной зоне на основе непрерывного сравнительного анализа разновременных космоснимков в сочетании с вертолётными облётами и аэрофотосъёмками.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственной темы 122031600407-4 «Разработка и совершенствование методов мониторинга селей и горных ледников в предгорной и высокогорной зонах».

Acknowledgments. The work was carried out within the framework of the state budget theme 122031600407-4 «Development and improvement of methods for monitoring debris flows and mountain glaciers in low mountain and high mountain zones».

ЛИТЕРАТУРА

- Беккиев М. Ю., Докукин М. Д., Калов Х. М., Калов Р. Х.* Об оценке опасности сходов и обвалов ледников // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Т. XI / Под ред. И. А. Керимова, В. А. Широковой, В. Б. Заалишвили, В. И. Черкашина. М.: Ин-т истории естествознания и техники РАН, 2021. С. 181–186.
- Беккиев М. Ю., Докукин М. Д., Калов Р. Х., Шагин С. И.* О сходах ледников в 2021–2022 годах // Результаты 20 лет изучения катастрофы мирового масштаба в Геналдонском ущелье (сход ледника Колка). Сб. статей Всеросс. науч.-практич. конф. с междунар. участием (Владикавказ, 20–21 сентября 2022 г.). Владикавказ: Северо-Кавказский гидромет. ин-т, 2022. С. 155–163.
- Докукин М. Д., Беккиев М. Ю., Калов Р. Х., Савернюк Е. А., Черноморец С. С.* Признаки подготовки катастрофических сходов ледников (анализ разновременной космической информации) // Опасные природные и техногенные процессы в горных регионах: модели, системы, технологии / Под ред. А. В. Николаева, В. Б. Заалишвили. Владикавказ: ГФИ ВЦ РАН, 2019. С. 522–528.
- Докукин М. Д., Беккиев М. Ю., Калов Р. Х., Черноморец С. С., Савернюк Е. А.* Активизация обвалов на Центральном Кавказе и их влияние на динамику ледников и селевые процессы // Лёд и Снег. 2020а. Т. 60. № 3. С. 361–378. <https://doi.org/10.31857/S2076673420030045>
- Докукин М. Д., Беккиев М. Ю., Калов Х. М., Калов Р. Х.* Результаты мониторинга обвалов льда с использованием аэрокосмической и наземной информации // Докл. Адыгской (Черкесской) Международной академии наук. 2020б. Т. 20. № 3. С. 60–68. <https://doi.org/10.47928/1726-9946-2020-20-3-60-68>
- Докукин М. Д., Савернюк Е. А., Черноморец С. С., Беккиев М. Ю., Калов Р. Х., Шагин С. И.* О каменной лавине 01.01.2022 в долине р. Аксаут (Западный Кавказ) и концентрации подобных явлений на локальных участках горных хребтов // Геориск. 2022. Т. 16. № 3. С. 8–19. <https://doi.org/10.25296/1997-8669-2022-16-3-8-19>
- Поисково-спасательные работы в Черекском районе (первичная информация). 12 августа 2023 г. 06:41 // Электронный ресурс. <https://07.mchs.gov.ru/deyatelnost/press-centr/operativnaya-informaciya/5080655> Дата обращения: 08.01.2024.
- Bondesan A., Francese R.* The climate-driven disaster of the Marmolada Glacier (Italy) // Geomorphology. 2023. V. 431. 108687. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2023.108687>
- Kääb A., Jacquemart M., Gilbert A., Leinss S., Girard L., Huggel C., Falaschi D., Ugalde F., Petrakov D., Chernomorets S., Dokukin M., Paul F., Gascoin S., Berthier E., Kargel J. S.* Sudden large-volume

detachments of low-angle mountain glaciers – more frequent than thought? // *The Cryosphere*. 2021. V. 15. Iss. 4. P. 1751–1785. <https://doi.org/10.5194/tc-15-1751-2021>

Leinss S., Bernardini E., Jacquemart M., Dokukin M. Glacier detachments and rock-ice avalanches in the Petra Pervogo range, Tajikistan (1973–2019) // *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 2021. V. 21. P. 1409–1429. <https://doi.org/10.5194/nhess-21-1409-2021>

Shugar D. H., Jacquemart M., Shean D., Bhushan S., Upadhyay K., Sattar A., Schwanghart W., McBride S., Van Wyk de Vries M., Mergili M., Emmer A., Deschamps-Berger C., McDonnell M., Bhambri R.,

Allen S., Berthier E., Carrivick J. L., Clague J. J., Dokukin M., Dunning S. A., Frey H., Gascoïn S., Haritashya U. K., Huggel C., Kääb A., Kargel J. S., Kavanaugh J. L., Lacroix P., Petley D., Rupper S., Azam M. F., Cook S. J., Dimri A. P., Eriksson M., Farinotti D., Fiddes J., Gnyawali K. R., Harrison S., Jha M., Koppes M., Kumar A., Leinss S., Majeed U., Mal S., Muhuri A., Noetzli J., Paul F., Rashid I., Sain K., Steiner J., Ugalde F., Watson C. S., Westoby M. J. A massive rock and ice avalanche caused the 2021 disaster at Chamoli, Indian Himalaya // *Science*. 2021. V. 373. Iss. 6552. P. 300–306. <https://doi.org/10.1126/science.abh4455>

Citation: Bekkiev M.Yu., Dokukin M.D., Zalikhanov M.Ch., Kalov R.Kh., Akaev A.R. About the ice-rock collapse from the northern slope of Mt. Dykhtau on August 12, 2023 and the potential threat of collapse from the slope of Mt. Dzhangitau (Cherek-Bezengiysky River basin, Central Caucasus). *Led i Sneg. Ice and Snow*. 2024, 64 (2): 213–220. [In Russian]. doi 10.31857/S2076673424020047

About the ice-rock collapse from the northern slope of Mt. Dykhtau on August 12, 2023 and the potential threat of collapse from the slope of Mt. Dzhangitau (Cherek-Bezengiysky River basin, Central Caucasus)

M. Yu. Bekkiev, M. D. Dokukin*, M. Ch. Zalikhanov, R. Kh. Kalov, A. R. Akaev

High-Mountain Geophysical Institute, Nalchik, Russia

*e-mail: inrush@bk.ru

Received January 24, 2024 / Revised March 6, 2024 / Accepted April 10, 2024

The causes and consequences of the ice-rock fall that occurred in 2023 on the Mount Dykhtau (Side ridge of the Greater Caucasus) are analyzed. This happened in the early morning of August 12, 2023 on the northern slope of Mt. Dykhtau (5.204.7 m a.s.l.) in the upper reaches of the Mizhirgi River valley of the Cherek Bezengiysky River basin at the altitude of about 4.400 m. The analysis of Sentinel-2 and Landsat-7 ETM+ satellite images of different times made possible to reveal the place where a block of ice had fallen from the hanging glacier, and to determine the area affected by this ice-rock block which volume was estimated as close to 0.9-1.0 million m³ and a distance of the runout about 2.3 km. As a result of the collapse, a group of tourists were injured, one of whom died. Investigation of the dynamics of the collapse site for the period 2015–2023 showed that earlier in the period September 3 – November 12, 2015 a crack formed on the same hanging glacier massif, which continued to grow until January 2016. This was followed by several ice-rock falls, the largest of which happened in the period April 10 – June 19, 2016. In total, all collapses of 2016 were comparable in volume to the collapse of 2023. By this time, the hanging glacier had been fully restored and occupied the same position it had in 2015. We next investigated a part of the slope of the Dzhangitau Zapadnaya mountain (5059 m a.s.l.) on the Bezengi Wall massif, on the hanging glacier of which the formation of a crack with a length of about 400 m was revealed in the summer of 2023. By September, the crack width had increased to 40 m. Later on, the crack became stable. But in the period of September – December a certain surge of the glacier at the foot of Dzhangitau Zapadnaya mountain was revealed at a speed of about 1 m per day with the formation of a prominent frontal bank overlying the Bezengi Glacier. This research confirmed the activation of the landslide processes in the high-altitude zone and showed the need for continuous monitoring based on the analysis of satellite images for the timely revealing areas with a potential threat of any ice-rock falls and warning about the danger.

Keywords: glacier, crack, collapse, impact zone, runout range

REFERENCES

- Bekkiev M. Yu., Dokukin M. D., Kalov Kh. M., Kalov R. Kh. On the assessment of the danger of glacier detachments and collapses. *Sovremennye problemy geologii, geofiziki i geoekologii Severnogo Kavkaza. Tom XI / Pod red. I. A. Kerimova, V. A. Shirokovo, V. B. Zaalishvili, V. I. Cherkashina*. Modern problems of geology, geophysics and geoecology of the North Caucasus. V. XI / Edited by I. A. Kerimova, V. A. Shirokova, V. B. Zaalishvili, V. I. Cherkashina. Moscow: IIET RAS, 2021: 181–186. [In Russian].
- Bekkiev M. Yu., Dokukin M. D., Kalov R. Kh., Shagin S. I. About the glacier detachments in 2021–2022. *Rezultaty 20 let izucheniya katastrofy mirovogo masshtaba v Genaldonskom ushel'e (skhod lednika Kolka). Sbornik statej Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem (Vladikavkaz, 20–21 sentyabrya 2022 g.)*. The results of 20 years of studying the global catastrophe in the Genaldon Gorge (the Kolka glacier detachment). Collection of articles of the All-Russian scientific and practical conference with international participation (Vladikavkaz, September 20–21, 2022). Vladikavkaz: NCIMM (STU), 2022: 155–163. [In Russian].
- Dokukin M. D., Bekkiev M. Yu., Kalov R. Kh., Savernyuk E. A., Chernomorets S. S. Signs of preparation of catastrophic glacier detachments (analysis of multi-temporal space information) *Opasnye prirodnye i tekhnogennye processy v gornyh regionah: modeli, sistemy, tekhnologii. Kollektivnaya monografiya / Pod redakciej A. V. Nikolaeva, V. B. Zaalishvili*. Dangerous Natural and Technogenic Processes in Mountain Regions: Models, Systems, Technologies / Ed. by Nikolaev A., Zaalishvili V. Vladikavkaz: GPI VSC RAS, 2019: 522–528. [In Russian].
- Dokukin M. D., Bekkiev M. Yu., Kalov R. Kh., Chernomorets S. S., Savernyuk E. A. Activation of rock avalanches in the Central Caucasus and their impact on the dynamics of glaciers and debris flows. *Led i Sneg*. Ice and Snow. 2020a, 60 (3): 361–378. [In Russian]. <https://doi.org/10.31857/S2076673420030045>
- Dokukin M. D., Bekkiev M. Yu., Kalov Kh. M., Kalov R. Kh. Results of monitoring ice collapses using aerospace and ground-based information. *Doklady Adygskoj (Cherkesskoj) Mezhdunarodnoj akademii nauk*. Reports of Adyghe (Circassian) International Academy of Sciences, 2020b, 20 (3): 60–68. [In Russian]. <https://doi.org/10.47928/1726-9946-2020-20-3-60-68>
- Dokukin M. D., Savernyuk E. A., Chernomorets S. S., Bekkiev M. Yu., Kalov R. Kh., Shagin S. I. About the rock avalanche on 1 January 2022 in the Aksaut River valley (Western Caucasus) and the concentration of similar phenomena in local areas of mountain ranges. *GeoRisk World*. 2022, 16 (3): 8–19. [In Russian]. <https://doi.org/10.25296/1997-8669-2022-16-3-8-19>
- Search and rescue operations in the Chereksky district (primary information). August 12, 06:41. 2023. *Poiskovo-spasatelnye raboty v Cherekskom rajone (pervichnaya informaciya). 12 avgusta 06:41. 2023*. Retrieved from: <https://07.mchs.gov.ru/deyatelnost/press-centr/operativnaya-informaciya/5080655> Last access: 08.01.2024.
- Bondesan A., Francese R. The climate-driven disaster of the Marmolada Glacier (Italy). *Geomorphology*. 2023, 431:108687. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2023.108687>
- Kääb A., Jacquemart M., Gilbert A., Leinss S., Girod L., Huggel C., Falaschi D., Ugalde F., Petrakov D., Chernomorets S., Dokukin M., Paul F., Gascoïn S., Berthier E., Kargel J. S. Sudden large-volume detachments of low-angle mountain glaciers – more frequent than thought? *The Cryosphere*. 2021, 15 (4): 1751–1785. <https://doi.org/10.5194/tc-15-1751-2021>
- Leinss S., Bernardini E., Jacquemart M., Dokukin M. Glacier detachments and rock-ice avalanches in the Petra Pervogo range, Tajikistan (1973–2019). *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 2021, 21: 1409–1429. <https://doi.org/10.5194/nhess-21-1409-2021>
- Shugar D. H., Jacquemart M., Shean D., Bhushan S., Upadhyay K., Sattar A., Schwanghart W., McBride S., Van Wyk de Vries M., Mergili M., Emmer A., Deschamps-Berger C., McDonnell M., Bhambri R., Allen S., Berthier E., Carrivick J. L., Clague J. J., Dokukin M., Dunning S. A., Frey H., Gascoïn S., Haritashya U. K., Huggel C., Kääb A., Kargel J. S., Kavanaugh J. L., Lacroix P., Petley D., Rupper S., Azam M. F., Cook S. J., Dimri A. P., Eriksson M., Farinotti D., Fiddes J., Gnyawali K. R., Harrison S., Jha M., Koppes M., Kumar A., Leinss S., Majeed U., Mal S., Muhuri A., Noetzel J., Paul F., Rashid I., Sain K., Steiner J., Ugalde F., Watson C. S., Westoby M. J. A massive rock and ice avalanche caused the 2021 disaster at Chamoli, Indian Himalaya. *Science*. 2021, 373 (6552): P. 300–306. <https://doi.org/10.1126/science.abh4455>