

Прорыв ледникового озера на северо-восточном склоне Эльбруса 11 августа 2006 г.: прогноз, событие и последствия

С.С. Черноморец, Д.А. Петраков, О.В. Тутубалина, И.Б. Сейнова, И.В. Крыленко

Университетский центр инженерной геодинамики и мониторинга;

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Описан редкий случай успешно спрогнозированного прорыва ледникового озера в северо-восточной части Эльбруса, случившийся 11 августа 2006 г., проведена съемка озера до и после прорыва.

Ледниковые озера на современном этапе в большом количестве возникают в высокогорных областях, что связано с быстрым сокращением оледенения. Подпруженные плотинами с ледяным ядром, озера являются неустойчивыми объектами, их прорывы вызывают разрушительные сели и паводки в нижележащих долинах. Выявлением опасных озер, изучением особенностей их формирования и последствий прорыва занимаются исследовательские группы в Швейцарии, Казахстане, Китае, Канаде, Норвегии, Непале, Индии и других странах. Однако краткосрочный прогноз прорывов озер затруднителен, так как требует детального изучения состояния ледяной плотины непосредственно перед прорывом.

В настоящей статье излагаются результаты исследований, проведенных на северо-восточных склонах Эльбруса, в ходе которых удалось спрогнозировать прорыв озера, вовремя предупредить территориальные органы власти и обследовать последствия прорыва.

Эльбрус — высочайшая гора Европы (5642 м). Во все стороны с него спускаются четвертичные лавовые потоки, частично покрытые ледниками. На северных и северо-восточных склонах Эльбруса (рис. 1) ледники относительно пологие и наиболее значительные по площади. Ледники Чунгурчат-Чиран, Бирджалы-Чиран и Микель-Чиран питают истоки р. Бирджалы-су. В месте слияния рек Бирджалы-су и Кизилкол расположены минеральные источники Джилы-су. Более 100 лет назад здесь был создан «народный курорт». В летнее время в палатках и домиках в районе источников одновременно проживают 200–300 человек.

Исторические сведения

Впервые прорыв озера на северо-востоке Эльбруса был зафиксирован в 1909 г. [2, 3]. Исток реки из ледника Бирджалы-Чиран располагался тогда на высоте 3084 м*, а длина озера превышала 1 км. До прорыва оно существовало менее 20 лет. Плотина представляла собой недавно отчленившуюся и от-

мершую часть языка ледника Бирджалы-Чиран. Талые воды частично накапливались между ледником и полем мертвых льдов. Рано или поздно должен был произойти прорыв, что и случилось 20 июля (2 августа по новому стилю) 1909 г. По измерениям Н.Е. Кобылина, к 21 июля уровень озера понизился на 3,7 м, что при площади в 113 тыс. м² дает массу воды около 425 тыс. м³. По описанию А.П. Герасимова, вода у источников Джилы-су поднялась на 5–6 м. Менее чем за 15 минут воды потока, несшего крупные валуны, разрушили источник, снесли дом арендатора вод М. Конова, уничтожили шалаши и палатки, унесли много вещей, испортили тропы. Едва успели спастись люди. Утром 21 июля вода несколько спала, но еще была высока. Мощность наносов у источника Джилы-су в среднем превышала 3 м. Устье р. Бирд-



Рис. 1. Эльбрус: 1 — озеро, прорвавшееся 11 августа 2006 г., 2 — ледник Бирджалы-Чиран, 3 — ледник Чунгурчат-Чиран, 4 — ледник Микель-Чиран, 5 — минеральные источники Джилы-Су. Снимок, сделанный С.К. Крикалевым с борта Международной космической станции, 19 августа 2005 г.

Fig. 1. Mt. Elbrus: 1 — the lake which outburst on 11 August 2006, 2 — Birdzhaly-Chiran Glacier, 3 — Chungurchat-Chiran Glacier, 4 — Mikel-Chiran Glacier, 5 — Dzhily-Su mineral water springs. Image taken on 19 August 2006 by S.K. Krikalev on board of the International Space Station.

*Сажени и версты пересчитаны нами в метрические единицы

жалы-су сместилось более чем на 100 м ниже по течению [2, 3].

В XX в., по сведениям Ю.Г. Ильичева и И.Б. Сейновой (устное сообщение), по р. Бирджалы-су проходило еще несколько селей прорывного генезиса.

Проведенные исследования

На топографической карте масштаба 1:10000 [1], составленной для рассматриваемой территории около полувека назад, показаны три озера. С тех пор количество и размеры озер здесь менялись: одни исчезали, другие появлялись. В июле 2005 г. мы участвовали в экспедиции «Север Эльбруса-2005», организованной Кубанским и Московским университетами и Северо-Кавказским управлением гидрометслужбы. Было выявлено, что в бассейне р. Бирджалы-су имеется 13 крупных озер. По нашим расчетам, с 1957 по 2005 г. площадь озер выросла более чем в 6 раз и достигла 250 тыс. м² [6]. О потенциальной опасности озер говорилось на Всероссийской конференции по селям [4–6].

Детальные исследования были проведены экспедицией Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова и Университетского центра инженерной геодинамики и мониторинга в 2006 г. Выполнены батиметрические съемки 9 озер с помощью комплекса из эхолота и GPS-приемника. С четырех базисов были проведены цифровые стереосъемки наиболее крупных озер, а также геодезические съемки, барометрическое нивелирование, геоморфологические и гляциологические маршрутные исследования.

Из 13 озер, зафиксированных в 2005 г., через год два озера слились воедино, и таким образом озер стало 12. Мы использовали условную рабочую нумерацию озер, включающую название близлежащего ледника, год и номер озера. 25 июля 2006 г. в ходе экспедиционных работ была выявлена возможность катастрофического прорыва одного из ледниковых озер, обозначенного как Бирджалы-Чиран-2006–5.



Рис. 2. Ледяная дамба, удерживавшая озеро: 1 — место спрогнозированного прорыва, 2 — ледник Чунгурчат-Чиран. Фото С.С. Черноморца, 28 июля 2006 г.

Fig. 2. The ice dam of the lake: 1 — location of the predicted outburst, 2 — Chungurchat-Chiran Glacier. Photo by S.S. Chernomorets, 28 July 2006

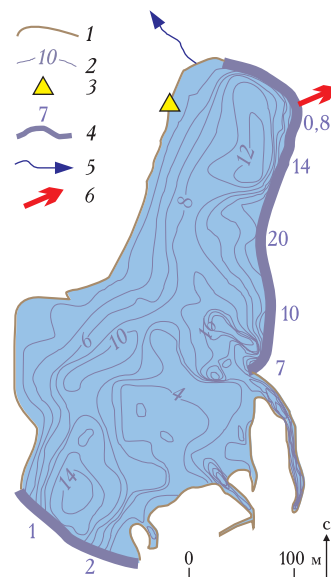


Рис. 3. Схема озера до прорыва. Составлена И.В. Крыленко по результатам батиметрической съемки, выполненной 25–26 июля 2006 г.: 1 — береговая линия, 2 — изобаты, 3 — временный футшток, 4 — ледяной обрыв и его высота в метрах, 5 — русло реки до прорыва, 6 — место будущего прорыва

Fig. 3. Schematic map of the lake before the outburst surveyed by I.V. Krylenko on 25–26 July 2006: 1 — coastline, 2 — depth lines, 3 — level gauge, 4 — ice cliff and its height in metres, 5 — location of the outburst channel

Основания для прогноза

Указанное озеро (рис. 2) было самым крупным из изученных и находилось у края ледников Бирджалы-Чиран и Чунгурчат-Чиран, севернее вершины пик Калицкого. По данным стереосъемки, выполненной 26 июля 2006 г., площадь озера составляла 89 тыс. м². Его дно было сложено мертвым льдом, покрытым озерными, моренными и флювиогляциальными отложениями. Урез озера, по измерениям с помощью GPS-приемника в геодезической системе WGS-84, находился на высоте около 3300 м. Объем воды достигал 550 тыс. м³ при максимальной глубине 17 м. Рисунок изобат был довольно сложным (рис. 3). Из северо-западной части озера вытекала река. На востоке оно было подпружено ледником Чунгурчат-Чиран, и высота ледяной дамбы составляла от 0,8 до 20 м. Стало очевидно, что прорыв через самую низкую часть дамбы может произойти в самом ближайшем будущем. Путем экстраполяции зависимости абляции от высоты, используя значения для репрезентативного кавказского ледника Джанкуат (находящегося в 30 км от этого места), мы получили среднюю расчетную скорость абляции льда, равную около 5 см в день. Имевшийся моренный чехол толщиной в среднем около 5 см мог уменьшить скорость абляции на 10–20%. Таким образом, мы предположили, что прорыв озера с высокой степенью вероятности может произойти в течение примерно одного месяца. При прорыве мог образоваться катастрофический



Рис. 4. Геодезические съемки изменений. Дно спущенного озера. Фото С.С. Черноморца, 17 августа 2006 г.

Fig. 4. Geodetic survey of changes on the lake bed after the outburst. Photo by S.S. Chernomorets, 17 August 2006

сель по р. Бирджалы-су. Это создавало угрозу отдыхающим на курорте Джины-су, а также инфраструктуре курорта, находящегося в пойме реки.

В ходе обследования озера, проведенного совместно со специалистами Севкавгипроводхоза (Э.В. Запорожченко, К.Н. Корилов) и Высокогорного геофизического института (М.М. Хаджиев), была подтверждена высокая вероятность образования катастрофического селя. Об опасности были оповещены руководство и МЧС Кабардино-Балкарской Республики, а также администрация курорта.

Прорыв озера и его последствия

Утром 11 августа 2006 г., в соответствии с прогнозом, произошел прорыв озера, повлекший за собой сход наносоводного селя. При содействии МЧС Кабардино-Балкарии 16–20 августа мы повторно обследовали место прорыва и тракт прошедшего потока.



Рис. 5. Озеро до (вверху слева) и после прорыва: а — 26 июля и б — 17 августа 2006 г. (стрелкой показано место прорыва, съемки О.В. Тутубалиной, М.С. Шахминой и А.Н. Капитанова), в — канал прорыва (фото Д.А. Петракова), г — микротеррасы, оставшиеся в результате постепенной сработки уровня озера (фото С.С. Черноморца)

Fig. 5. Lake before (upper) and after (down) the outburst: а — 26 July 2006; б — 17 August 2006. (photo by O.V. Tutubalina, M.S. Shahmina and A.N. Kapitanov); в — the outburst channel (photo by D.A. Petrakov), г — small terraces formed as a result of water gradually draining out of the lake (photo by S.S. Chernomorets)



Рис. 6. Льдины на дне бывшего озера. Фото С.С. Черноморца, 17 августа 2006 г.

Fig. 6. Ice floes at the bed of the former lake. Photo by S.S. Chernomorets, 17 August 2006

Геодезические съемки (рис. 4) выявили, что при опорожнении озера его уровень понизился на 8,5 м. В результате произошел сброс 400 тыс. м³ воды, а на месте единого озера остались 4 небольших озерца (рис. 5). Особенности строения ледяной плотины, состоявшей из плотного ледникового льда без крупных полостей, способствовали формированию узкого прорана (см. рис. 5 в) и относительно длительному (более суток) опорожнению озера. Через несколько дней на дне бывшего озера сохранялись многочисленные микротеррасы, маркирующие уровни воды при сработке (см. рис. 5 г). Айсберги также остались в зоне осушки (рис. 6). Как показала обработка результатов повторных стереосъемок, общая площадь сохранившихся водоемов составила около 13 тыс. м².

Прорывной паводок прошел по поверхности ледника Чунгурчат-Чиран, затем через подледный канал, после чего вышел в русло восточного истока р. Бирджалы-су. Пройдя 2 км от точки прорыва, паводок при увеличении уклонов русла трансформировался в водокаменный сель.

Относительно низкий расход селевого потока (по нашим оценкам, до 150 м³/с) был связан с длительным опорожнением озера. Обломки, вовлекавшиеся в поток в зонах размыва, сбрасывались на пологих участках аккумуляции. Объем вовлеченного обломочного материала составил 300–350 тыс. м³, в том числе в зоне курорта отложилось 50 тыс. м³. В районе источников Джилы-су в пойме реки были уничтожены бассейны с минеральной водой, фундаменты новых ванн павильонов, автодорожный мост и участок дороги (рис. 7). Человеческих жертв не было, поскольку сель начался около 4 часов утра, и на источниках в это время не было отдыхающих.

Сель прошел около 10,5 км, в том числе 6,5 км по р. Бирджалы-су и затем около 4 км по р. Малка. После сброса грубообломочной массы сель перешел в паводок, дошедший по р. Малка до предгорий и зафиксированный сотрудниками Гидрометцентра КБР

в районе села Каменноостское. В случае быстрого, а не постепенного прорыва озера, селевой поток имел бы значительно больший объем и более катастрофические последствия.

Выводы и уроки

После спуска озера опасность нового прорыва на этом участке уменьшилась. Однако к западу от прорвавшегося озера активно расширяется в размерах и объеме цепочка других озер у края ледника Бирджалы-Чиран (рис. 8). На этом динамичном участке в ближайшие годы возможно возникновение новых селей, которые могут сойти по соседнему истоку р. Бирджалы-су и привести к более тяжелым последствиям для курорта Джилы-су. В связи с этим мы предложили закрыть стихийно эксплуатируемый бассейн на месте уцелевшего нижнего источника Джилы-су, построить трубопровод до новой безопасной площадки, создать охранную зону в пойме реки в ра-



Рис. 7. Минеральные источники Джилы-су до (а) и после (б) катастрофического селя (29 июля 2006 г., фото И.В. Крыленко; 19 августа 2006 г., фото С.С. Черноморца)

Fig. 7. Dzily-Su mineral water springs before and after the disastrous glacial lake outburst flood: а — 29 July 2006, photo by I.V. Krylenko; б — 19 August 2006, photo by S.S. Chernomorets



Рис. 8. Карта динамики приледникового озерного комплекса, расположенного к северо-востоку от Эльбруса: 1, 2 — озера в 2005 и 1957 гг., 3, 4 — ледники в 2005 и 1957 гг., 5 — реки в 2005 г. (составлена по аэрофотоснимку, сделанному 22 августа 1957 г., и космическому снимку МКС Kodak DCS760С, сделанному 19 августа 2005 г.)

Fig. 8. Map of the periglacial area dynamics at the north-east slope of Mt. Elbrus: 1 — lakes in 2005, 2 — lakes in 1957, 3 — glaciers in 2005, 4 — glaciers in 1957, 5 — rivers in 2005 (compiled on the basis of an air photograph of 22 August 1957 and an ISS Kodak DCS760C image of 19 August 2005)

диусе 50 м от выходов минеральных вод. Необходимо ежегодно в июле проводить гляциологическую экспертизу группы прорывоопасных озер, угрожающих безопасности курорта, с вынесением заключения о степени селевой угрозы и необходимости оперативного наблюдения за озерами.

Северо-восток Эльбруса — не единственное место на Центральном Кавказе, где есть угроза прорыва приледниковых озер. В течение ближайших лет необходимо выявить все опасные ледниковые озера и составить карты зон опасности. Для этого требуются аэровизуальные обследования и направление специалистов для оценки состояния ледяных плотин. Поскольку при маршрутном осмотре не всегда можно сделать однозначные выводы, на опасных участках нужно проводить геодезические, батиметрические и геофизические работы. Следует убедить органы государственного управления и МЧС, что в случае критического состояния плотины необходимо не «включать обследования в тематику будущего года», а сразу устанавливать посты, оповещать людей, находящихся в зоне опасности, а также проводить защитные мероприятия.

Авторы выражают благодарность А.Н. Капитанову, И.А. Корноуховой, Ю.С. Мухиной, А.В. Полякову, М.С. Шахминой, О.Я. Червяцовой за помощь

при сборе полевых данных; Э.В. Запороженко, М.М. Хаджиеву, Ю.В. Ефремову, А.Н. Зимницкому, Ю.Г. Ильичеву, К.Н. Носову за обсуждение результатов; А.А. Чеченову, А.Т. Туркинову, С.И. Шагину, А.Х. Улимбашеву, А.М. Будаеву, М. Шаваеву, М.В. Туменову, В.О. Тапасханову, А.С. Кругликову за поддержку и помощь в организации полевых работ.

Работы выполнены при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 06-05-64787, 05-05-64037, 04-05-65030, 07-05-00172), а также программ «Ведущие научные школы» (проекты НШ-4861.2006.5, НШ-8306.2006.5) и Science for Peace (проект 982143).

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас ледников Эльбруса. М., Изд-во МГУ, 1965.
2. Герасимов А. Северо-восточное подножие Эльбруса. Геолого-географический очерк. — Изв. Геологического комитета, СПб., т. XXX, № 2, 1911, с. 77-151.
3. Герасимов А. О прорыве ледникового озера на NO склоне Эльбруса. — Изв. Геологического комитета, СПб, т. 28, № 7, 1909, с. 156-160.
4. Ефремов Ю.В., Зимницкий А.В., Николайчук А.В., Ильичев Ю.Г. Селевая опасность в верховьях р. Малки. — Тезисы Всерос. конф. по селям. 26–28 октября 2005 г. Нальчик, 2005, с. 89-92.
5. Хаджиев М.М. Селевая опасность в верховьях р. Малка (Жылысу). — Тезисы Всерос. конф. по селям. 26–28 октября 2005 г. Нальчик, 2005, с. 107-108.
6. Тутубалина О.В., Черноморец С.С. Ледниковые озера на северо-востоке г. Эльбрус и их селевая опасность. — Тезисы Всерос. конф. по селям. 26–28 октября 2005 г. Нальчик, 2005, с. 108-109.

SUMMARY

Our field research at the north-east slope of Mt. Elbrus in the end of July 2006 has identified that a large (550,000 m³) dammed glacial lake by Birdzhaly-Chiran and Chungurchat-Chiran glaciers is in a critical state and should outburst in the nearest future. We informed regional authorities and managers of the Dzhily-Su mineral water resort about a possible disaster. The outburst occurred on 11 August 2006, releasing about 400,000 m³ of water over one or two days. As a result, a glacial lake outburst flood destroyed the resort infrastructure. We present results of field observations and stereosurveys of the lake before and after the outburst.