

УДК 551.324.433:556.51/54(55)

О перестройке гидрографической сети северо-восточного подножия Эльбруса

© 2012 г. М.Д. Докукин, Е.А. Савернюк, А.М. Багов, А.В. Маркина

Высокогорный геофизический институт, Нальчик

inrush@bk.ru

Статья принята к печати 25 ноября 2011 г.

Гидрографическая сеть, деградация ледников, ледниковые озёра, мёртвые льды, прорывные паводки, ригель, срединные морены.

Breakthrough floods, dead ice, degradation of glaciers, glacial lakes, hydronetwork, medial moraine, riegel.

С 1957 по 2010 г. ледники северо-восточного подножия Эльбруса значительно уменьшились в размерах. Площадь ледников Бирджалычиран и Чунгурчатчиран сократилась на 5,7 км². В результате уменьшения толщины ледников и их отступления на путях стока ледниковых вод образовались преграды в виде ригелей и исчезли преграды, сложенные мёртвыми льдами срединных морен. Это стало причиной частых изменений направлений ледникового стока и прорывов озёр. Сделан прогноз предстоящей коренной перестройки гидрографической сети, связанной с исчезновением гряды срединной морены на водораздельном участке и присоединением правой составляющей р. Бирджалы-Су к бассейну р. Кара-Кая-Су.

Введение

При отступании ледников нередко меняются направления стока ледниковых вод и образуются новые ледниковые озёра. Наиболее заметны эти изменения на участке северо-восточного подножия Эльбруса, который известен паводками и селевыми потоками, проходящими по р. Бирджалы-Су в результате прорывов ледниковых озёр [2, 4, 5, 9]. Авторами установлено не менее пяти случаев таких прорывов [1]. В ходе маршрутного обследования в 2010 г. мы обнаружили резкое изменение характера ледникового стока в верховьях правой составляющей р. Бирджалы-Су. На основе материалов более ранних работ, результатов обследования 2010 г. и космических снимков 2010 г. сделана попытка восстановить картину изменения рисунка гидрографической сети в районе ледников Бирджалычиран и Чунгурчатчиран за период 1957–2010 гг., установить его механизмы и сделать прогноз на будущее.

Исходные материалы

В работе использованы аэрофотоснимки разных масштабов (1:12 000–1:40 000) 1957, 1974, 1978, 1979, 1980, 1982, 1987 и 1997 гг. В рамках конкурса «Лучшие идеи по использованию космических снимков» ООО ИТЦ «СКАНЭКС» любезно предоставил нам следующие космические снимки: Landsat 7 1999, 2000 г. и Terra (ASTER) 2001 г. – разрешение 15 м; Spot 4 2010 г. – разрешение 10 м (авторские права принадлежат © CNES 2010); IRS 1C/1D 2006 г. – разрешение 6 м; IRS 1C/1D 2004 г. (авторские права принадлежат © 2006 National Remote Sensing Centre, Department of Space, Government of India) и IRS P5 2007 г. – разрешение 2,5 м (авторские права принадлежат © 2003–2007 ANTRIX). На сайте USGS (<http://glovis.usgs.gov/>) были получены космоснимки Landsat 5 разрешением

30 м за 1991 и 2003 гг. По программе Института географии РАН «Ураган» получены космические снимки с борта МКС 2002, 2005, 2006 гг.

Для уточнения и детализации аэрокосмической информации использовались материалы наших экспедиций 2007–2010 гг., собственные вертолётные снимки 1988, 2004, 2006, 2009, 2010, 2011 г., а также вертолётные снимки ГУ «МЧС России по КБР», НПП «InfoTERRA», других организаций и частных лиц; кроме этого, к работе привлекались и наземные фотографии Е.В. Аксаментова (1958, 2003 г.), Ю.А. Авакяна (2007, 2009 г.), В.Ю. Акилова (2009 г.), М.М. Багова (2002 г.), М.В. Голубева (2002, 2004, 2006 г.), Э.В. Запороженко (2006 г.), О.В. Тутубалиной и С.С. Черноморца (2005, 2006, 2007 г.) и др.

Разновременные аэрофото- и космоснимки обрабатывались и дешифрировались согласно методам, изложенным в работе И.А. Лабутиной [7]. Среди применяемых программных средств – QGis, ArcGis, ScanEx Image Processor и др. Точность и надёжность дешифрирования снимков обеспечивались многолетним опытом работы в этой области М.Д. Докукина, а также полевыми и аэровизуальными наблюдениями. Благодаря этому ошибка измерений площади крупных объектов составляла 2–3%.

Общая характеристика гидрографической сети

В XIX – начале XX вв. сток с ледников проходил по всем долинам, включая реки Бирджалы-Су, Султан-Гара-Су, Гитче-Каян-Су и Кара-Кая-Су [8]. С конца 1950-х годов он локализовался в руслах рек Бирджалы-Су и Кара-Кая-Су. Водораздел между ними проходит по поверхности ледника Чунгурчатчиран, талые воды которого направлены как в р. Бирджалы-Су, так и в р. Кара-Кая-Су (рис. 1).

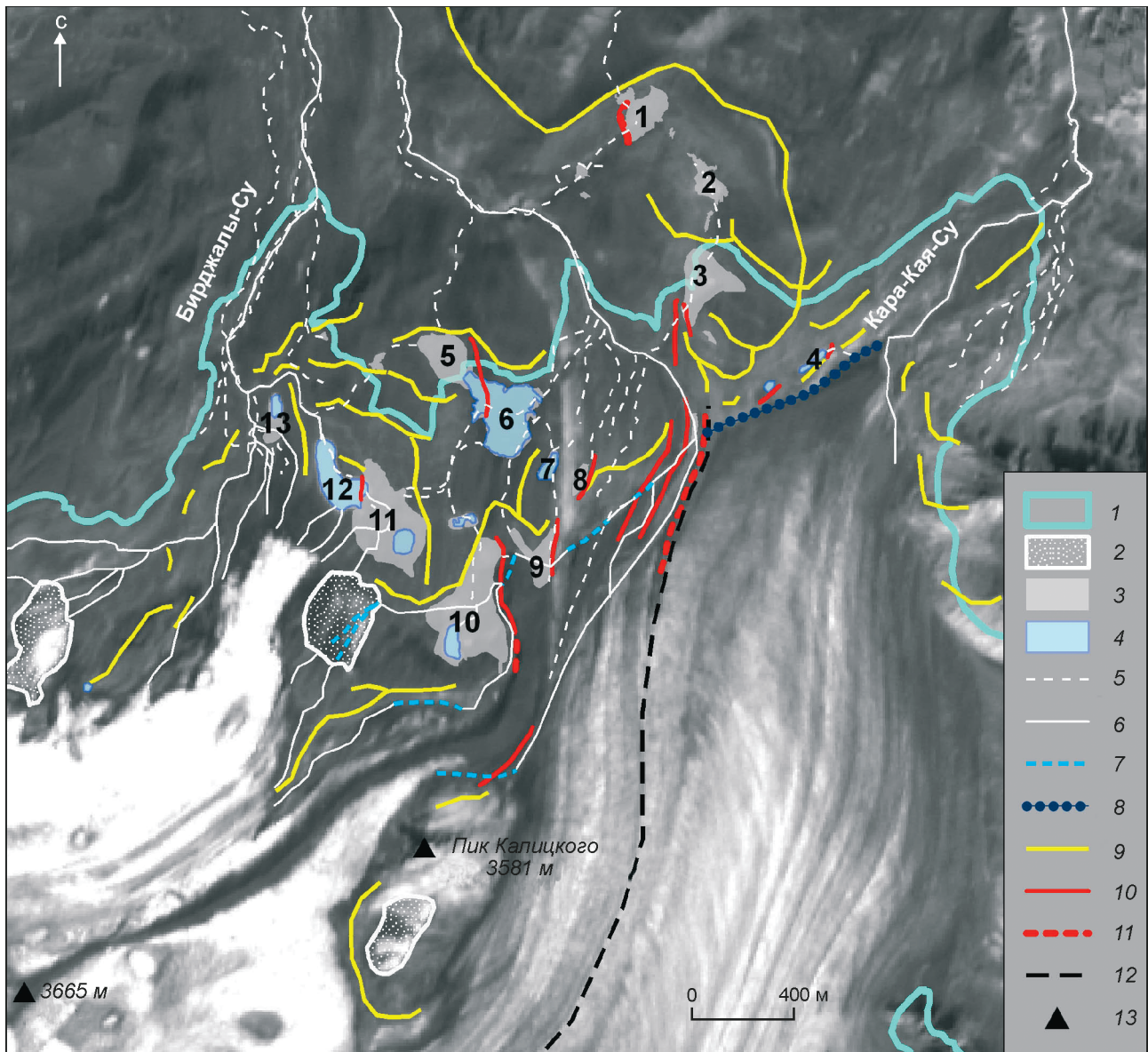


Рис. 1. Схема перестройки гидрографической сети северо-восточного подножия Эльбруса с 1957 по 2010 г. Фрагмент космического снимка Spot 4 2010 г.: 1 – границы ледников в 1957 г.; 2 – массивы мёртвых льдов; 3 – территории, где располагались озёра в период с 1957 по 2009 г.; 4 – современные озёра, 2010 г.; русла потоков ледниковых вод: 5 – в период с 1957 по 2009 г., 6 – в 2010 г., 7 – подлёдные; 8 – предполагаемое новое русло правой составляющей р. Бирджалы-Су; преграды на пути ледникового стока: 9 – существующие (ригели и валы морен), 10 – исчезнувшие (срединные морены, ледники); 11 – преграды, исчезновение которых ожидается в ближайшем будущем; 12 – водораздел рек Бирджалы-Су и Кара-Кая-Су на леднике Чунгурчатчиран в 2010 г.; 13 – отметки абсолютных высот; цифрами обозначены номера озёр (названия см. в тексте)

Fig. 1. The scheme of the river-network at the northeast foothills of Elbrus from 1957 to 2010. Satellite image Spot 4 2010: 1 – glaciers in 1957; 2 – dead ice; 3 – lakes from 1957 to 2009; 4 – present-day lakes in 2010; watercourses of glaciers: 5 – from 1957 to 2009, 6 – to 2010, 7 – subglacial; 8 – the predicted new dextral source of the Birdzhaly-Su river; barriers to glacial water flows: 9 – current barriers (riegels and shafts of moraines), 10 – disappeared barriers (medial moraines and glaciers); 11 – barriers which could disappeared in the nearest future; 12 – watershed (the rivers Birdzhaly-Su and Kara-Kaya-Su) on the Chungurchatchiran Glacier in 2010; 13 – markers of the absolute heights; numerical are marked the numbers of the lakes (names see in text)

Основные источники водного питания рек в верховьях – ледники Чунгурчатчиран и Бирджалычиран, которые вместе составляли ледник Джикиуганкез. С 1957 по 2010 г. ледники по фронту отступили на 800–

1000 м. Больше всех отступили потоки льда, окаймлявшие язык ледника Бирджалычиран с востока и запада, – около 1500–1600 м. От ледникового панциря освободилась территория общей площадью около 5,7 км².

К существенным элементам гидрографической сети относятся ледниковые озёра. В 2010 г. они занимали площадь около 112 тыс. м² (десять озёр), а в 1957 г. – 42 тыс. м² (три озера) [1]. Общая площадь территории, на которой в разное время с 1957 по 2010 г. существовали озёра, составила 434 тыс. м². На рис. 1 показаны современные и исчезнувшие озёра. Мы присвоили им условные номера. Названия озёр в этой статье даны авторами исходя из названий ледников и сторон света. В статьях других авторов озёра получили названия на основе общего числа озёр, существовавших в 2005 и 2006 гг. (например, озеро «Чунгурчат-Чиран 2005 – 2» [10]). Всего мы пронумеровали 13 озёр: 1 – Северное Чунгурчат, 2 – Среднее Чунгурчат, 3 – Южное Чунгурчат, 4 – Юго-Восточное Чунгурчат, 5 – Северное Бирджалы 1, 6 – Северное Бирджалы 2, 7 – Северо-Восточное Бирджалы, 8 – Юго-Западное Чунгурчат, 9 – Аристова, 10 – Восточное Бирджалы, 11 – Среднее Бирджалы, 12 – Подкова, 13 – Западное Бирджалы.

Ледниковые озёра были, как правило, проточными. Прорывы их происходили не по направлению стока, а на участках разрушения перемычек или формирования подлёдных или подземных каналов. Наибольшим из прорывавшихся было оз. Восточное Бирджалы. На схеме (см. рис. 1) ему присвоен № 10. В статье [10] это озеро названо «Бирджалы-Чиран-2005 – 6». Площадь озера, измеренная инструментально 26 июля 2006 г. (в тот год оно получило название «Бирджалы-Чиран-2006 – 5»), составляла 89 тыс. м² [9]. По данным измерений авторов на снимке IRS 1C/1D от 1 августа 2006 г. его площадь была 87 тыс. м² (разница с результатами геодезической съёмки составила 2%).

Особые условия ледникового стока сложились в районе бывших Чунгурчатских озёр – № 1–3 (см. рис. 1). Здесь долгое время существовали огромные массивы мёртвых и погребённых льдов, на поверхности которых сформировались оз. Северное (№ 1) и оз. Южное Чунгурчат (№ 3), а между ними – оз. Среднее Чунгурчат (№ 2). Сток талых ледниковых вод на этой территории проходил как по подлёдным каналам, так и по поверхности мёртвых льдов. Иногда в результате термокарстовых процессов он мог блокироваться и аккумулироваться в полостях массивов мёртвых льдов с последующим прорывом. Возможно, именно такой прорывной паводок был причиной сея 1957 г.

После того как ледник Чунгурчатчиран отступил с возвышенного массива голоценового лавового потока, ледниковый сток в сторону Чунгурчатских озёр прекратился. Питание озёр стало происходить за счёт талых вод мёртвых льдов. При наполнении котловины оз. Северное Чунгурчат сток с мёртвых льдов шёл в северном направлении, а в результате формирования подземных каналов при прорывах озера – в юго-западном. Подробнее о прорывах оз. Северное Чунгурчат написано в работе [1]. В некоторых случаях, вероятно, сток исчезал в трещинах коренных лавовых

Изменение длины рек Бирджалы-Су и Кара-Кая-Су

Река, исток	Длина реки, км	Прирост длины, км
	1957 г./2010 г.	1957–2010 гг.
Бирджалы-Су, левый исток	6,4/8,2	1,8
Бирджалы-Су, правый исток	7,6/9,7	2,1
Кара-Кая-Су	7,3/8,5	1,2

пород, как это предположительно случилось с оз. Среднее Чунгурчат. В 2010 г. при его обследовании обнаружено, что сток с мёртвых льдов исчезал в грунтовой трещине на дне котловины бывшего озера. Данные аэро- и космосъёмки, вертолётных и наземных обследований показали, что озеро имело стабильные размеры с 1979 по 2009 г. Минимальный его уровень отмечался 23 июля 2009 г.

В настоящее время к самым крупным ледниковым озёрам северо-восточного подножия Эльбруса относятся оз. Северное Бирджалы (№ 6) и оз. Подкова (№ 12) (см. рис. 1) площадью 55 и 28 тыс. м² соответственно.

С 1957 по 2010 г. существенно изменились длина рек Бирджалы-Су и Кара-Кая-Су (таблица) и направления их русел в верховьях, что объясняется следующими причинами: 1) отступанием ледников; 2) деградацией и исчезновением мёртвых и погребённых льдов, которые служили преградами для стока и плотинами ледниковых озёр; 3) наступанием ледников в 1990-х годах (согласно [6], в период 1987–1997 гг. ледник Бирджалычиран продвигался вперёд до 160 м, что подтверждено авторами на основании сравнения аэрофотоснимков 1987 и 1997 г.); 4) появлением новых преград в виде ригелей, ранее скрытых под ледниковым льдом.

Исчезновение гряд срединных морен как преград на пути стока

Термин «срединная морена» традиционно употребляют для описания влекомых морен. Авторы применяют его к останцам срединных морен (мёртвым льдам), которые длительное время сохраняются после отступления ледников, а также к грядам, полностью ещё не отделившимся от ледников. Наиболее заметная преграда для ледникового стока – гряда срединной морены, покрытая обломками лав красного цвета, начинающаяся от скального выступа (нунатака) с абсолютной отметкой 3665 м. Участки этой гряды в разное время были плотинами озёр Северное (№ 5) и Восточное Бирджалы (№ 10 (см. рис. 1)).

Оз. Северное Бирджалы (№ 5). Первые заметные изменения в рисунке гидрографической сети произошли в начале второй половины XX в. и связаны с прорывом оз. Северное Бирджалы. По данным аэрофотоснимка 22 августа 1957 г., его площадь составляла 28,4 тыс. м² (рис. 2). После прорыва озера русло р. Бирджалы-Су сместилось к востоку, обойдя выступ коренного ригеля.

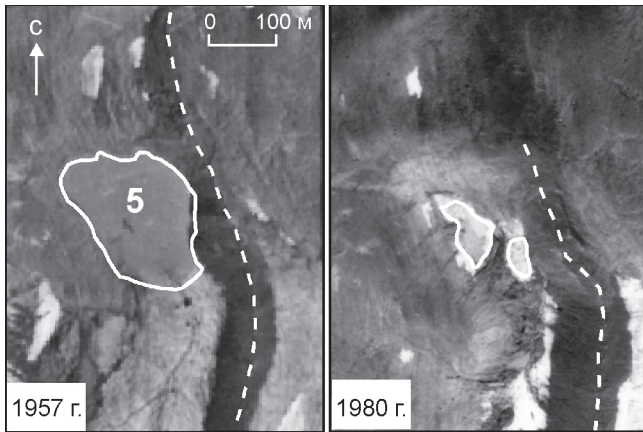


Рис. 2. Озеро Северное Бирджалы до и после прорыва. Фрагменты аэрофотоснимков 1957 и 1980 г.; штриховой линией показана ось гряды срединной морены, белой линией – контуры озёр, цифра 5 – номер озёра (см. рис. 1)

Fig. 2. Northern Birdzhaly lake before and after the breach. Fragments of aerial photographs 1957 and 1980; dashed line shows the axis of the medial moraine ridge, white line is contours of lakes, numerical 5 is the number of lake (see Fig. 1)

Информация о точной дате прорыва озера отсутствует. В монографии «Оледенение Эльбруса» [8] подтверждён факт наличия озера при фотодолимитных работах в 1958 г. Следовательно, селевой поток в августе 1957 г. (факт подтверждён датированной надписью на скале на фотографии Е.В. Аксаментова, сделанной в 1958 г.) не был связан с прорывом этого озера.

На аэрофотоснимках от 23 июля 1974, 9 августа 1978, 22 августа 1980 и 9 сентября 1980 гг. котловина оз. Северное Бирджалы была пустой, отмечались лишь небольшие остаточные озёра, но сток с ледника Бир-

джалычиран в котловину не прекращался и далее шёл под ледяной грядой срединной морены (см. рис. 2). Гряда срединной морены перегораживала котловину до 1987 г., пока в створе подлёдного тоннеля не образовался узкий проход (проран). Полностью гряда растаяла к 1997 г. На её месте в неглубокой котловине сформировалось новое озеро, существующее и в настоящее время (№ 6, см. рис. 1). В 1957 г. (по данным карты масштаба 1:10 000 из Атласа ледников Эльбруса) ледяная гряда возвышалась над озером минимум на 13 м. Полная высота гряды составляла 50 м (по данным ортофотокарты МГУ 1997 г. [6], на которой зафиксированы отметки уровня подошвы гряды). В среднем, понижение гребня гряды в результате абляции и боковой термоэрозии составляло 1,2–1,3 м в год.

Оз. Восточное Бирджалы (№ 10). Практически та же ледяная гряда срединной морены, но сместившаяся за 40 лет к востоку вместе с языком ледника на расстояние до 200 м [1], послужила плотиной и для оз. Восточное Бирджалы (рис. 3). Через 8–9 лет после начала формирования озера самый низкий участок гряды по высоте сравнялся с уровнем озера и 11 августа 2006 г. произошёл его прорыв, последствия которого подробно описаны в работах [4, 5, 9]. О темпах прорывного процесса можно судить по уровню озера, зафиксированному на космическом снимке IRS 1C/1D, сделанном в 5:58 утра (GMT) 11 августа 2006 г. примерно через 6,5 часов после начала прорыва. Значение этого временного интервала определено исходя из допущения, что время зарождения селевого потока, обрушившегося на минеральные источники «Джилы-Су» в 4 часа утра, принимается за время начала прорыва с учётом расстояния от озера до минеральных источников и скорости потока, определённой в работе [4, 5]. Сравнение контуров озера и островов с резуль-

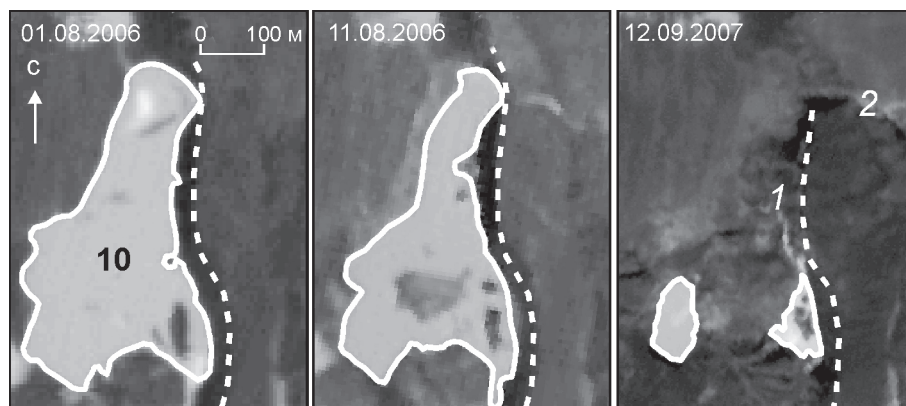


Рис. 3. Озеро Восточное Бирджалы до и после прорыва. Фрагменты космических снимков: 01.08.2006 – IRS 1C/1D, 11.08.2006 – IRS 1C/1D, 12.09.2007 – IRS P5; штриховая линия – ось гряды срединной морены; белая линия – контуры озёр; цифра 10 – номер озера (см. рис. 1); 1 и 2 – соответственно места входа потока в подлёдный тоннель и выхода из него (см. рис. 4)

Fig. 3. East Birdzhaly lake before and after the breach. Fragments of the satellite images: 01.08.2006 – IRS 1C/1D, 11.08.2006 – IRS 1C/1D, 12.09.2007 – IRS P5; dashed line shows the axis of the medial moraine ridge; white line shows contours of lakes; number 10 is number of lake (see Fig. 1); 1 and 2 – respectively image mark of the entrance and exit of the subglacial tunnel (see Fig. 4)

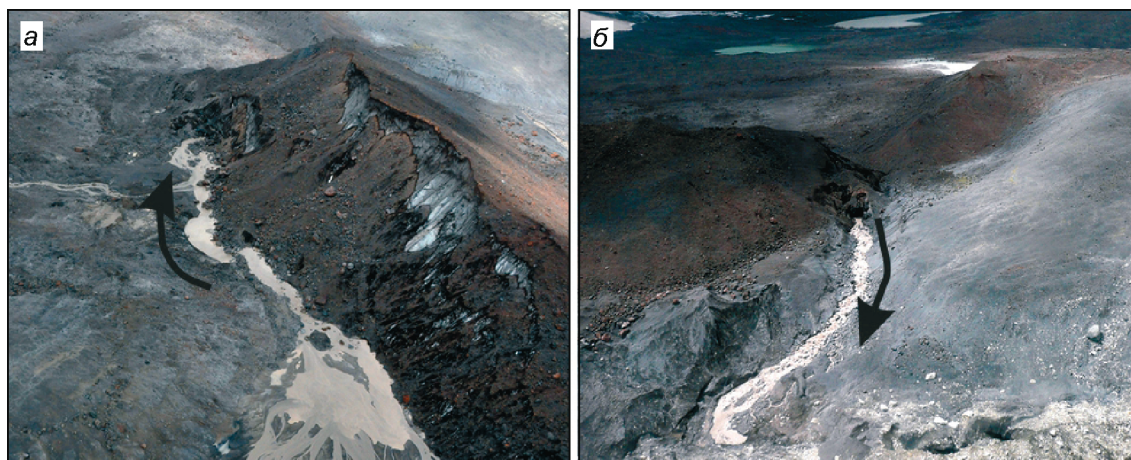


Рис. 4. Участок гряды срединной морены выше прорана – место входа потока ледниковых вод в подлёдный тоннель и выхода из него (2009 г.).

a – фото К.М. Давыдова; *б* – фото М.Д. Докукина; стрелками показаны направления течения водных потоков

Fig. 4. Part of the medial moraine ridge above the breach – the place where glacial waters entered the subglacial tunnel (2009).

a – photo by K. Davydov; *b* – photo by M. Dokukin; arrows show the directions of water flows

татами батиметрической съёмки из работы [9] позволило И.В. Крыленко установить, что к 9:58 местного времени (GMT+ 4) уровень озера понизился примерно на 4 м (см. рис. 3). Площадь озера уменьшилась с 89 [9] до 68 тыс. м². К этому времени объём вытекшей из озера воды составил около 300 тыс. м³. Средний расход прорывного паводка был равен 12,7 м³/с, а скорость «резки» ледяной гряды по вертикали водным потоком – около 0,6 м/ч.

Через некоторое время после прорыва озера (зафиксировано авторами при обследовании в 2007 г.) ледниковый сток снова поменял направление и стал идти не через проран, а под ледяной грядой (рис. 4). В 2009 г. длина подлёдного туннеля достигла 200 м. Образование подлёдного туннеля говорит, что, если бы уровень ледяной перемычки в 2006 г. не понизился до зеркала озера, прорыв озера весьма вероятно мог быть подлёдным, как в случае с оз. Северное Бирджалы.

Другие случаи прорывов гряд срединных морен.

Гряды срединных морен в разные периоды времени прорывались потоками ледниковых вод и на других участках (см. рис. 1):

1) оз. Аристова (№ 9), площадью около 19 тыс. м², находившееся в 1999 г. по данным снимка Landsat 7 между двух гряд (впервые о существовании здесь озера сообщил К.А. Аристов в своей дипломной работе в МГУ), – следы прорыва видны на космическом снимке Landsat 7 от 2000 г.; предположительно, этот прорыв был поверхностный, так как гребень гряды нарушен;

2) оз. Юго-Западное Чунгурчат (№ 8), площадью 5 тыс. м², которое существовало в 1979–1988 гг. и исчезло до 1997 г.;

3) оз. Южное Чунгурчат (№ 3), ограниченное с юга массивом слившихся гряд срединных морен,

просуществовало с 1977 г. предположительно до 1993 г. В 1987 г. его площадь была равна 38,4 тыс. м² (рис. 5). В пользу даты прорыва в 1993 г. говорят факт существования озера в 1991 г. (снимок Landsat 5), его отсутствие на снимке 1997 г. и данные о селевом потоке в 1993 г. из публикации [3].

«Забор» из трёх гряд срединных морен восточнее оз. Юго-Западное Чунгурчат (№ 8) (см. рис. 1) на пути правого истока р. Бирджалы-Су преодолевался рекой постепенно (см. рис. 5). После прорыва оз. Аристова (№ 9, см. рис. 1) в 2000 г. поток вод с правой ветви ледника Бирджалычиран, обходящей пик Калицкого морены, стал протекать под левой грядой срединной морены. После прорыва оз. Восточное Бирджалы (№ 10) в 2006 г. основной водный поток составляющей р. Бирджалы-Су устремился в тот же подлёдный туннель под левой грядой и на выходе из него стал интенсивно подрезать и подмывать среднюю гряду срединной морены. В 2009 г. эта гряда была уже практически размыта. Поток начал подмывать правую гряду – единственную перемычку, отделяющую бассейны рек Бирджалы-Су и Кара-Кая-Су.

Изменения, произошедшие на этом участке за три года (2007–2010 гг.), показаны на рис. 6. В 2010 г. высота ледяной перемычки составляла около 4–5 м. Левый склон гряды уже подрезан и размыт, и вода подступила к стенке осевой зоны гребня. В срезе ледяной гряды отсутствовало грунтовое основание, которое препятствовало бы смещению потока вправо. В 2011 г. ледяной обрыв на самом пониженном участке отступил вправо и вышел за пределы оси гряды. Весьма вероятно, что в ближайшие годы исчезнет последняя преграда на пути р. Бирджалы-Су, и её поток устремится в р. Кара-Кая-Су. Тогда и произойдёт коренная перестройка гидрографической сети (см. рис. 1).



Рис. 5. Разрушение гряд срединных морен потоком р. Бирджалы-Су.

Фрагменты аэрофотоснимков: 1987 г. (3 – оз. Южное Чунгурчат, 8 – оз. Юго-Западное Чунгурчат) и 1997 г.; 2007 г. – космоснимок IRS P 5; 2010 г. – космоснимок Spot 4 (4 – оз. Юго-Восточное Чунгурчат)

Fig. 5. Destruction of the medial moraine ridge by the flow of the river Birdzhaly-Su.

The aerial photography of: 1987 (3 – South Chungurchat lake, 8 – South-Western Chungurchat lake) and 1997; 2007 – IRS P5 satellite image; 2010 – Spot 4 satellite image (4 – South-Eastern Chungurchat lake)

Исчезновение ледниковой преграды на пути стока

Наступание ледника Бирджалычиран в 1990-х годах привело к тому, что язык ледника стал преградой для стока. Площадка, которая до наступания имела равномерный наклон, стала ровной, а частично приобрела даже обратный уклон. На поверхности ледника и мёртвых льдов образовалось оз. Среднее Бирджалы (№ 11, см. рис. 1). С 1997 по 2002 г. по мере таяния ледникового льда и мёртвых льдов озеро увеличивалось в размерах и достигло площади 80,5 тыс. м² (рис. 7). Весь этот период не прекращался сток из озера в восточном направлении. Точная дата прорыва оз. Среднее Бирджалы не известна. Прорыв произошёл путём перелива по поверхности ледника не позже 24 ноября 2003 г., так как на снимке Landsat 4 основная часть котловины озера к этому времени уже опустела.

В отличие от других озёр уровень оз. Среднее Бирджалы при прорыве понизился всего на 3–3,5 м. Сброс воды составил около 150 тыс. м³. Прорывной паводок сформировал новое русло. Его мощный конус выноса почти полностью заполнил нижнее задровое поле (место слияния правой и левой составляющих р. Бирджалы-Су), что обнаружилось при сравнении снимка с вертолёта 2004 г. НПП «InfoTERRA» с аэрофотоснимком 1997 г. МГУ и космоснимком Landsat 2000 г. В нижнем течении поток заметно подрезал левый берег р. Бирджалы-Су выше устья р. Кызылкол (по фотографиям М.М. Багова 2002 г. и Е.В. Аксаментова 2003 г.). Серьёзных разрушений на участке минеральных источников при этом не отмечено. Возможно, положительную роль сыграла насыпная защитная дамба в русле р. Бирджалы-Су, которая позже была смыта паводком и селом 2006 г.

В отличие от оз. Восточное Бирджалы (№ 10) прорывной паводок не «пропиливал» ледяную перемычку, а устремился в ложбину на леднике между поперечными валами поверхностных морен в результате оползания обломочного чехла. После отступления ледника обломочный моренный вал поверхностной морены, ограничивавший прорывной поток справа, так и остался положительной формой рельефа (конечно-моренным валом) – преградой на пути стока.

На месте бывшего оз. Среднее Бирджалы в 2004 и 2005 г. существовало три мелких озера (см. рис. 7). Затем на участке пути прорывного паводка после отступления и понижения поверхности ледника образовалось оз. Подкова (№ 12), вписавшееся между валами конечных морен. Сток из остаточного оз. Среднее Бирджалы в восточном направлении прекратился, как и приток талых ледниковых вод в него.

Выводы

Озёра перед ледниками Чунгурчатчиран и Бирджалычиран в разные периоды располагались на трёх пологих ступенях лавового потока, ориентированных поперёк его оси. Таковыми были группы озёр (см. рис. 1): 1) Чунгурчатские – по дуге с озёрами № 1 и 3; 2) северные Бирджалинские и Юго-Западное Чунгурчатское – по линии озёр № 5 и 8; 3) южные Бирджалинские – по линии озёр № 9 и 13.

Сток из озёр и собственно ледниковый сток долгое время удерживались на возвышавшемся над долинами рек Бирджалы-Су и Кара-Кая-Су выпуклом языке лавового потока благодаря преградам из продольных гряд срединных морен ледников и языков ледников Бирджалычиран и Чунгурчатчиран. К настоящему времени пологие ступени лавового языка освободились от лед-

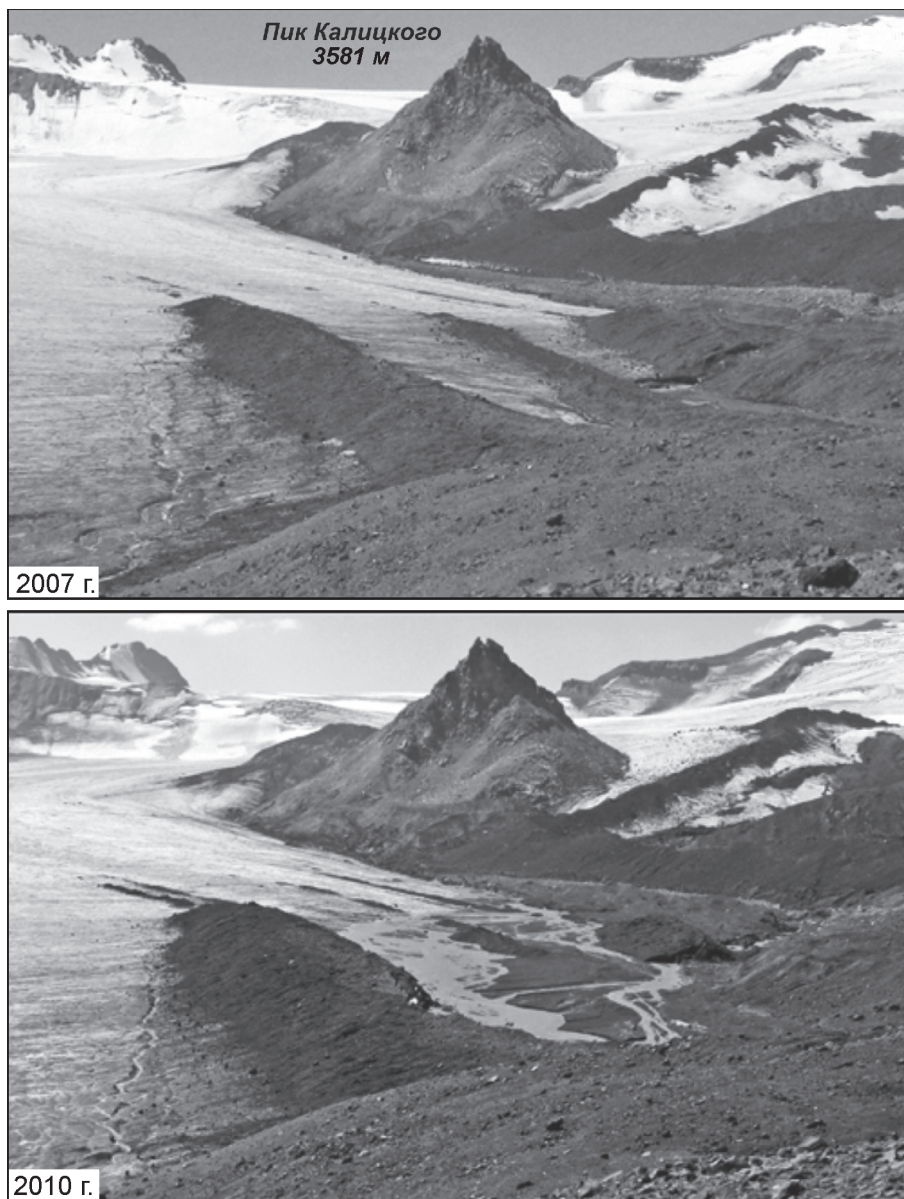


Рис. 6. Фотографии участка гряд срединных морен в 2007 и 2010 гг. (фото М.Д. Докукина).

Точка фотосъёмки показана на рис. 5

Fig. 6. The photography of the medial moraine ridge section in 2007 and 2010 (photo by M. Dokukin).

The point of the photosurvey is marked on the Fig. 5

ников. Постепенно освобождается от ледника Чунгурчат подошва языка лавового потока, и на боковой цокольной террасе образуются озёра (№ 4).

В ближайшее время водный поток с ледника Бирджалычиран, который на протяжении 1,4 км проходит по поверхности ледника Чунгурчатчиран, размоет последнюю преграду из гряды срединной морены и продолжит свой путь по тальвегу долины р. Кара-Кая-Су. Водораздел рек Бирджалы-Су и Кара-Кая-Су сместится к западу. По р. Кара-Кая-Су возможно прохождение катастрофического паводка и селевого потока, так как её расход удвоится.

На участке восточнее бывшего оз. Восточное Бирджалы, где возникли подлёдные тоннели под грядой срединной морены, мы предполагаем изменение направления потока талых вод ледника Бирджалычиран.

Постепенно вся поверхность лавового потока освободится от потоков талых ледниковых вод. Мелкие озёра будут питаться только за счёт талых вод снежников. Новые озёра, вероятно, будут формироваться на следующей ступени лавового потока, к юго-западу от пика Калицкого (см. рис. 1). Если пологие участки ледника Бирджалычиран отделятся от основного языка ледника выступами ригелей, то возможно образование озёр и на поверхности льда.

Процессы деградации ледников, перестройки гидрографической сети и лимногенеза в районе северо-восточного подножия Эльбруса протекают в последнее время настолько интенсивно, что необходимы комплексные исследования и оценка условий рекреационного освоения с целью обеспечения безопасности и рационального природопользования. Для свое-

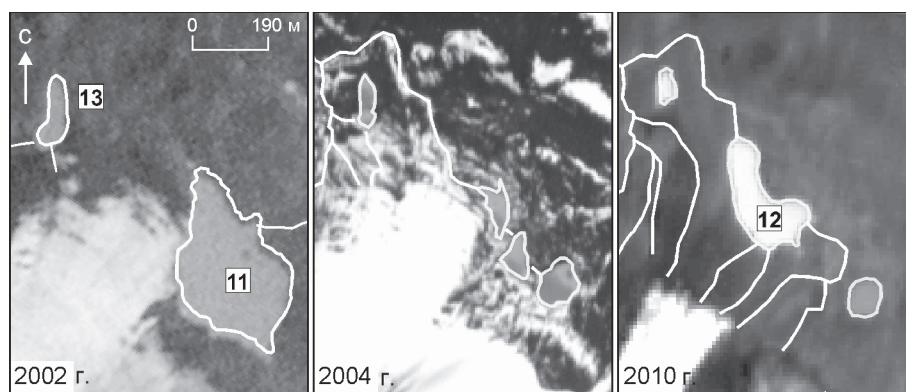


Рис. 7. Озеро Среднее Бирджалы до и после прорыва.

2002 г. – фото с МКС; 2004 г. – космоснимок IRS 1C/1D; 2010 г. – космоснимок Spot 4; белыми линиями показаны русла потоков ледниковых вод; обведены контуры озёр; цифры – номера озёр (см. рис. 1)

Fig. 7. Lake Birdzhaly Srednee before and after the break.

2002 – photo by ISS; 2004 – IRS 1C/1D satellite image; 2010 – Spot 4 satellite image; white lines show the glacial water channels and outlined the contours of lakes, numerical marked the numbers of lakes (see Fig. 1)

временного оповещения о селевой опасности необходим ежегодный мониторинг за состоянием ледников и озёр в верховьях рек Бирджалы-Су и Кара-Кая-Су.

Благодарности. Авторы выражают глубокую благодарность И.А. Лабутиной за советы и помощь, без которых данная работа была бы неполной. Мы благодарим за предоставленные фотоматериалы и другие данные Ю.А. Авакяна, В.Ю. Акилова, Е.В. Аксаментова, М.В. Голубева, К.М. Давыдова, Л.В. Десинова, Э.В. Запороженко, В. Копылова, В.Н. Михаленко, С. Савчука, В.Х. Ульбашева, С.С. Черноморца, К.А. Аристова. Большое спасибо И.В. Крыленко, Н.А. Лизмовой и С.В. Толстелю за обсуждение результатов и помощь при подготовке статьи к публикации.

Особую признательность выражаем: ИТЦ «СКАНЭКС» – за любезно предоставленные космические снимки и программу «ScanEx Image Processor»; ГУ «МЧС России по КБР» – за предоставленную возможность участия в аэровизуальных наблюдениях; ФГБУ «ВГИ» – за предоставление транспорта для проведения экспедиций; ГЛОУ «Эльбрус» – за помощь и содействие экспедициям.

Литература

1. Багов Аз.М., Докукин М.Д., Савернюк Е.А. Особенности деградации ледников Бирджалычиран и Чунгурчатчиран северо-восточного подножия Эльбруса и эволюция приледниковых озёр за 50 лет // Материалы междуна. научн. конф. «Гляциология в начале XXI века». Москва, 15–16 октября 2009 г. М.: Университетская книга, 2009. С. 156–161.
2. Герасимов А. О прорыве ледникового озера на NO склоне Эльбруса // Изв. Геологич. Комитета. 1909. Т. 28. № 7. С. 156–160.
3. Ефремов Ю.В., Ильичев Ю.Г., Николайчук А.В. Динамика современного оледенения и селевых процессов на северных склонах г. Эльбрус в истоках Малки // Тр. Всерос. конф. по селям 26–28 октября 2005 г. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. С. 210–220.

4. Запороженко Э.В. Селевые потоки по рр. Кара-Кая-Су и Бирджалы-Су в Кабардино-Балкарии: сравнительный анализ прошлой и новейшей истории // Вестн. Владикавказского науч. центра. 2008. Т. 8. № 1. С. 33–43.
5. Запороженко Э.В. Селевые потоки по рр. Кара-Кая-Су и Бирджалы-Су в Кабардино-Балкарии: сравнительный анализ прошлой и новейшей истории // Вестн. Владикавказского науч. центра. 2008. Т. 8. № 2. С. 27–33.
6. Золотарёв Е.А., Харьковец Е.Г. Оледенение Эльбруса в конце XX в. (цифровая ортофотокарта Эльбруса на 1997 г.) // МГИ. 2000. Вып. 89. С. 175–181.
7. Лабутина И.А. Дешифрирование аэрокосмических снимков. М.: Аспект Пресс, 2004. 184 с.
8. Оледенение Эльбруса / Под ред. Г.К. Тушинского. М.: изд. МГУ, 1968. 345 с.
9. Черноморец С.С., Петраков Д.А., Тутубалина О.В., Сейнова И.Б., Крыленко И.В. Прорыв ледникового озера на северо-восточном склоне Эльбруса 11 августа 2006 г.: прогноз, событие и последствия // МГИ. 2007. Вып. 102. С. 219–223.
10. Черноморец С.С., Тутубалина О.В. Селеопасные ледниковые озера как фактор угрозы при строительстве (на примере Северного Приэльбрусья) // Тр. Всерос. конф. по селям 26–28 октября 2005 г. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. С. 202–207.

Summary

From 1957 to 2010, glaciers at the northeast foothills of Elbrus have significantly decreased in size. The area of the glaciers Birdzhalychiran and Chungurchatchiran have shrunk by 5.7 square kilometers. The shrinking in glacier thickness and the reduction in flow of glacier waters have resulted in the formation of barriers that look like riegels; at the same time, barriers that formed by dead ice of the medial moraine disappeared. This situation induced the constant change of glacial flow direction and the breach of lakes. The prediction for this area gives forthcoming radical reforming of the water network because of disappearance of the medial moraine ridge and the joining of the right-hand side of the river Birdzhaly-Su to the merging point of the river Kara-Kaya-Su.