

**Озёра у ледника Малый Азау на Эльбрусе: динамика и прорывы**

© 2016 г. М.Д. Докукин\*, А.В. Хаткутов

Высокогорный геофизический институт, Нальчик, Россия

\*inrush@bk.ru

**Lakes near the glacier Maliy Azau on the Elbrus (Central Caucasus): dynamics and outbursts**

M.D. Dokukin\*, A.V. Khatkutov

High-Mountain Geophysical Institute, Nalchik, Russia

\*inrush@bk.ru

Received April 17, 2016

Accepted July 5, 2016

**Keywords:** breakthrough floods, degradation of glaciers, glacial lakes, medial moraines, outburst of lake, satellite images, underground drainage.**Summary**

The lake dynamics and the current state of them were analyzed on the basis of interpretation of aerial and satellite images of different years together with results of field surveys. Areas of six lakes existing in different years near the Maliy Azau Glacier had been determined. On August 22, 2011, the maximum area of one of the lakes was equal to 25.5 thousand m<sup>2</sup>. The first outburst was caused by the landslide deformations of the moraine massif forming a part of the lake basin, while the second one was a result of degradation of the lake ice dam and the water overflow on top of it. The present-day lake dams (terminal-moraine ramparts and medial moraine ridges) are the result of the Maliy Azau Glacier advance in 1990s. The revealed feature of the lake dynamics on the mountain Elbrus was a drop of the water level and corresponding decrease of the lake areas in winter that was related to existence of the groundwater runoff into fractured volcanic rocks. At present, moraine dams of lakes and areas of the surface water runoff from the lakes are in stable condition due to which there is no threat of a lake outburst. However, the potential threat of outburst still remains because of high seismicity and possible volcanic activity in this region.

Поступила 17 апреля 2016 г.

Принята к печати 5 июля 2016 г.

**Ключевые слова:** деградация ледников, космические снимки, ледниковые озёра, подземный сток, прорыв озера, прорывные паводки, срединные морены.

На основе дешифрирования аэрофотоснимков и космических снимков приводятся данные о количестве и динамике озёр у ледника Малый Азау за 1957–2015 гг. Наибольшая площадь озера (25,5 тыс. м<sup>2</sup>) зафиксирована на космоснимке 22.08.2011 г. незадолго до прорыва. Прорывы озёр происходили в 1978 и 2011 гг. и имели разные причины. Первый прорыв связан с оползневными деформациями моренного массива, слагающего часть озёрной котловины, второй – с деградацией ледяной плотины озера и переливом воды поверх неё. Установлен также факт значительного падения уровня воды в озёрах в зимний период.

**Введение**

Озёра, расположенные около ледника Малый Азау на южном склоне Эльбруса, широко известны и ежегодно посещаются туристами и альпинистами. Они обозначены на топографических картах в контурах 1957 г. На рис. 1 показано расположение участка озёр в 2015 г. Публикации, в которых приводятся характеристики озёр и сведения об их прорывах, появились только в XXI в. [1–4]. А.В. Зимницкий и В.М. Кидяева проводили батиметрические съёмки и опубликовали данные об одном озере, которое получило название «Азау» [1] и «Малое Азау» [2, 3] (табл. 1). На основе материалов, подобранных авторами на

участок озёр, – аэрофотоснимков и космических снимков разных лет (в том числе снимка из космоса 2015 г.) – проанализирована динамика озёр и оценено современное их состояние.

**Исходные материалы**

В работе использованы следующие аэрофотоснимки: 16.08.1957; 08.09.1973; 1975; 07.08.1980; 27.07.1988; 08.09.1997 (МГУ); 28.09.2012 (ООО «Аэротех»). Космические снимки предоставлены ИТЦ «СканЭкс»: 11.09.2007 (EROS A); 19.09.2009; 16.10.2009 (GeoEye-1); 11.02.2010 (WorldView-1); 22.08.2011; 21.09.2011 (SPOT 5);

Таблица 1. Характеристики озера «Малое Азау» по данным ряда авторов\*

Автор, год	Площадь, тыс. м <sup>2</sup>	Максимальные значения, м			Средняя глубина, м	Объём, тыс. м <sup>3</sup>
		длины	ширины	глубины		
А.В. Зимницкий, 2005 [4]	20,0	201	136	8,0	3,5	70,3
В.М. Кидяева, 2005 [7]	19,8	254	78	8,3	3,4	66,7
В.М. Кидяева, 2011 [6]	26,0	279	93	7,8	2,6	66,7

\*Озеро «Малое Азау» в настоящей статье соответствует озеру № 1 (восточное).

08.09.2013 (SPOT 6); 06.09.2014 (Pleiades 1A); 23.09.2014 (GeoEye-1); 23.08.2015 (Pleiades 1B). С сайта НАСА (<http://eol.jsc.nasa.gov>) получен снимок с МКС 24.08.2002. Также использовалась топографическая основа 1:5000 (ООО «Аэротех»).

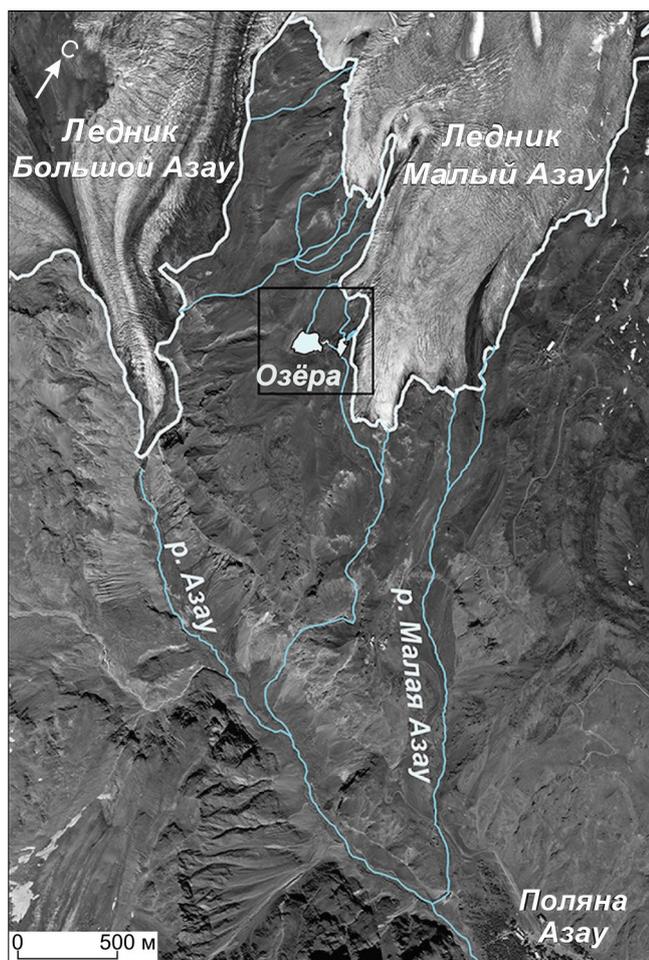
Аэрофотоснимки и космические снимки привязывались по опорным точкам к карте 1:5000 в программе ArcGIS. В 2015 г. выполнены марш-

рутное обследование участка, прилегающего к озёрам, и полевое дешифрирование космических снимков. В результате обработки материалов определены этапы развития озёр, связанные с динамикой ледника и прорывами озёр.

### Результаты исследований

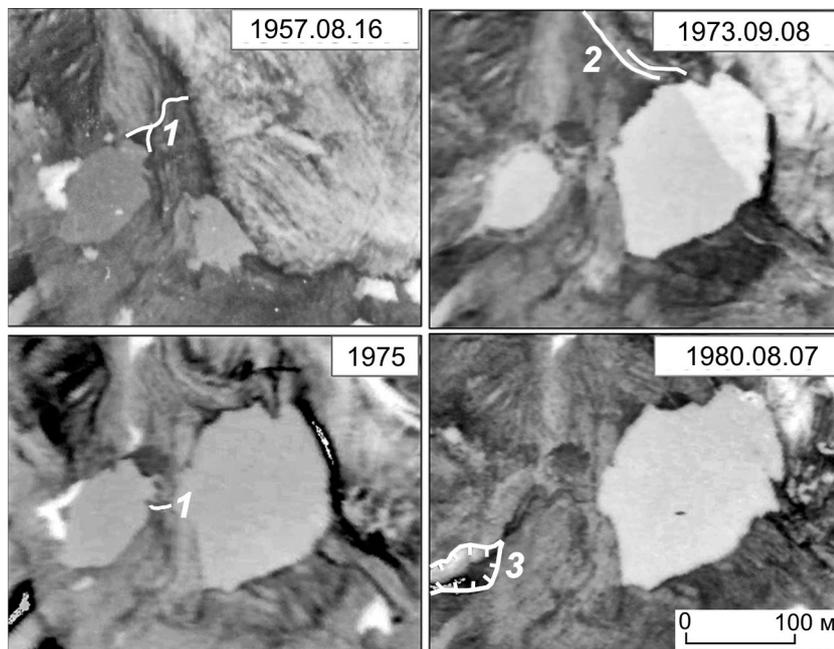
**Динамика озёр в период 1957–1980 гг.** В это время у края ледника Малый Азау существовало два озера, названные нами восточное и западное. На рис. 2 показано состояние озёр по данным аэрофотоснимков до и после прорыва западного озера 19 июля 1978 г. [4]. В период 1957–1973 гг. произошло наступление ледника Малый Азау, которое установлено по появлению моренного вала (см. рис. 1 и рис. 2), перекрывшего русло притока талых вод ледника в западное озеро. Возможно, из-за этого и уменьшилась его площадь с 5,8 до 3,3 тыс. м<sup>2</sup>. К 1975 г. ледник Малый Азау продвинулся на северо-восточную окраину озера. Наступание составило около 15 м. По-видимому, при наступлении ледника был деформирован подлёдный канал стока из восточного озера. В результате уровень восточного озера поднялся и вода из него стала поступать в западное озеро. Западное озеро опять увеличилось в размерах (площадь достигла 6,3 тыс. м<sup>2</sup>). Площадь восточного озера, несмотря на смещение его береговой линии из-за наступания ледника, осталась почти неизменной – 18,1 тыс. м<sup>2</sup>. Это произошло из-за подъёма уровня воды.

19 июля 1978 г. произошёл прорыв западного озера, сопровождавшийся формированием глубокого вреза в моренном массиве. Протяжённость образовавшегося вреза составила около 480 м, перепад высоты – 170 м, средний угол наклона – 20,5°. Местами глубина вреза достигала 30 м, а в среднем составляла 15–18 м, площадь вреза по бровке – 13 тыс. м<sup>2</sup>. Объём вынесенного рыхло-



**Рис. 1** Схема расположения исследуемых озёр на космоснимке 23.08.2015 г.

**Fig. 1.** Location scheme of investigated lakes on the satellite image of 23.08.2015



**Рис. 2.** Динамика западного и восточного озёр за 1957–1980 гг.:

1 – водные потоки, питающие озеро; 2 – свежий моренный вал; 3 – верхняя часть вреза, образовавшегося после прорыва западного озера

**Fig. 2.** Dynamics of western and eastern lakes in 1957–1980:

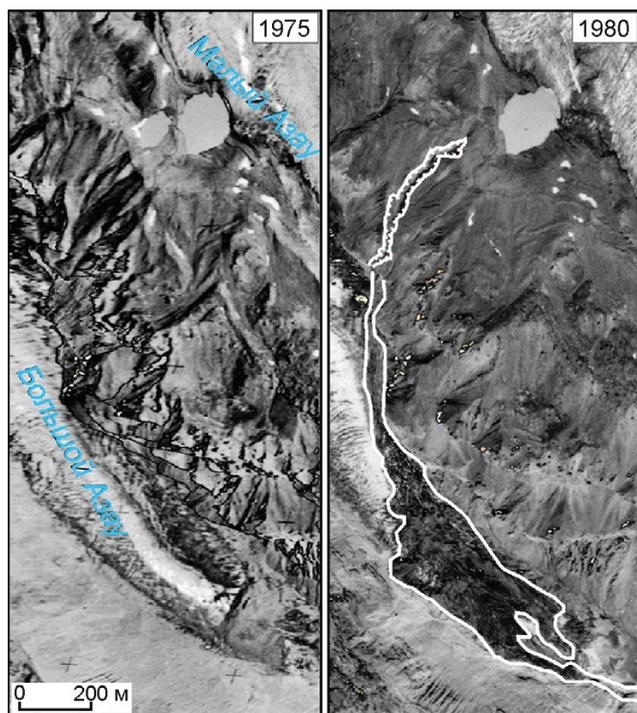
1 – water streams feeding lake; 2 – fresh damp moraine; 3 – upper part of cut, formed as a result of the western lake outburst

обломочного материала был более 100 тыс. м<sup>3</sup>. Язык ледника Большой Азау был завален отложениями селя на площади около 130–140 тыс. м<sup>2</sup> (рис. 3).

Причины и последствия прорыва озера описаны И.Б. Сейновой и Е.А. Золотаревым в ра-

боте [4]. Согласно их данным, прорыв озера был вызван падением блока льда в озеро. Действительно, условия для такого падения блока льда в то время существовали. Северо-восточный участок береговой линии восточного озера на контакте с ледником Малый Азау представлял собой высокий обрыв. Если бы возникла прорывная волна, то скорее всего, была бы прорезана перемычка, разделяющая восточное и западное озёра. Если бы в перемычке образовалась промоина, то на величину её заглубления упал бы уровень восточного озера. Но этого не произошло. Уровень воды в восточном озере не понизился (см. рис. 2). Таким образом, не исключая выплеска части воды из восточного озера, можно сделать вывод, что это – не основная причина прорыва западного озера и формирования вреза.

По нашему мнению, прорыв западного озера в 1978 г. был обусловлен нарушением устойчивости юго-западного участка озёрной котловины. Оно произошло в результате насыщения водой и разжижения массива морены за счёт таяния находящегося в нём льда. Связи с повышением температуры воздуха не обнаружено, так как в сезон 1978 г., по данным [4], температура была ниже нормы. Моренный массив потерял устойчивость и стал сползать с образованием вреза. Объём селевого материала, вынесенный из вновь образовавшегося вреза, не сопоставим с объёмом озера, существовавшего до прорыва. При площа-



**Рис. 3.** Следы прорыва западного озера на аэрофото- снимке

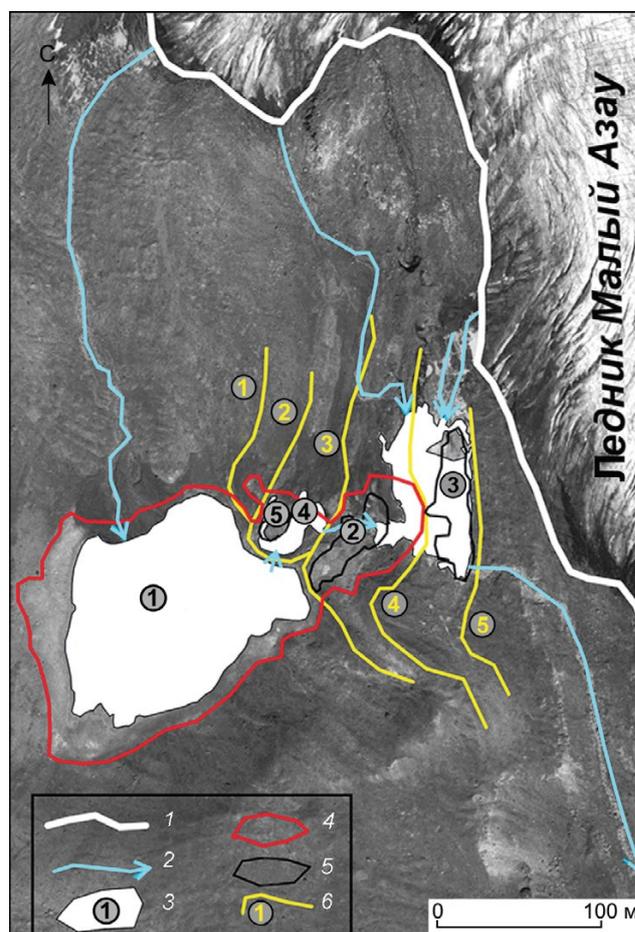
**Fig. 3.** Traces of the western lake outburst on the aerial photo

ди озера около 6,3 тыс. м<sup>3</sup> объём воды не превышал 12 тыс. м<sup>3</sup>, что практически в 10 раз меньше объёма селевых отложений на леднике Большой Азау. Следовательно, перемещение рыхлообломочных масс моренного массива при формировании вреза происходило в результате сползания разжиженных водой масс, а не размыва прорывным паводком. Водный поток лишь способствовал обрушению и сползанию моренных масс. Подобные врезы могут формироваться в специфических моренных формах – пьедесталах – при отсутствии ливней и без наличия озёр [5].

**Динамика озёр в период 1980–2011 гг.** С 1980 по 1988 г. площадь восточного озера практически не изменилась – 22,1 и 22,0 тыс. м<sup>2</sup> соответственно. В 1990-х годах, как и для большого числа других ледников Приэльбрусья [6, 7], произошло наступание ледника Малый Азау. В результате наступания образовалась серия моренных гряд (рис. 4) и уменьшилась площадь восточного озера (№ 1) до 17,5 тыс. м<sup>2</sup> (рис. 5, 1997 г.). Наступание ледника Малый Азау на участке между моренными грядами 2 и 3 составило 40 м. Озеро № 2 (см. рис. 4) в результате таяния мёртвого льда моренных гряд появилось уже к 2006 г. – оно видно на космоснимке IRS 1C/1D 11.08.2006 г. В это время уже существовал залив восточного озера, отчётливо фиксируемый на космоснимках 2007 и 2009 гг. (см. рис. 5).

Наличие октябрьского снимка (16.10.2009 ГеоEye-1) позволило установить колебание уровня воды в восточном озере в течение сезона. Как отмечено в работе [8], озёра, имеющие подземный сток, испытывают значительные колебания уровня воды, во многих случаях вплоть до полного слива озёр в зимний период. Площадь восточного озера за период с 19 сентября по 16 октября 2009 г. уменьшилась с 18,0 до 13,5 тыс. м<sup>2</sup> (см. рис. 5) за счёт наличия подземного стока, который продолжался и после прекращения притока воды в озеро.

До 22 августа 2011 г. площадь восточного озера (№ 1 на рис. 4) увеличивалась за счёт таяния мёртвого льда моренных гряд. Быстрое плавление ледяной гряды № 4 началось в 2007 г., когда озеро № 2 подошло к границам этой гряды. За четыре года стаяло 40 м плотины озера по ширине. Лёд гряды плавился примерно со скоростью 10 м в год вследствие воздействия воды озера по фронту шириной около



**Рис. 4.** Схема моренных гряд и новых озёр, образованных в результате наступания ледника Малый Азау в 1990-х годах (космоснимок 23.08.2015):

1 – граница ледника Малый Азау; 2 – водотоки и их направления; 3 – озёра в границах 2015 г. и их номера; 4 – контур озера 22.08.2011 г.; 5 – контуры озёр и их номера в предыдущие годы (№ 2 – 19.09.2009; № 3 и 5 – 21.09.2011); 6 – моренные гряды и их номера по состоянию до прорыва озера

**Fig. 4.** Scheme of new moraine ridges and new lakes as a result of Malyi Azau Glacier advance in the 1990s.

1 – boundary of Malyi Azau Glacier; 2 – watercourses and their directions; 3 – lakes within the boundaries of 2015 and their numbers; 4 – lake outline on August 22, 2011; 5 – outlines of lakes and their numbers in previous years (№ 2 – 19.09.2009; № 3 and 5 – 21.09.2011); 6 – moraine ridges and their numbers before lake outburst

40–45 м. На снимке SPOT 5 22.08.2011 зафиксировано максимальное значение площади озера – 25,5 тыс. м<sup>2</sup> (рис. 6), что практически совпадает с площадью озера, измеренной В.М. Кидяевой в 2011 г. (см. табл. 1).

22 августа 2011 г. восточная граница озера вплотную подошла к оси ледяной гряды № 4 (см. рис. 4), которая сдерживала воды озера от пере-

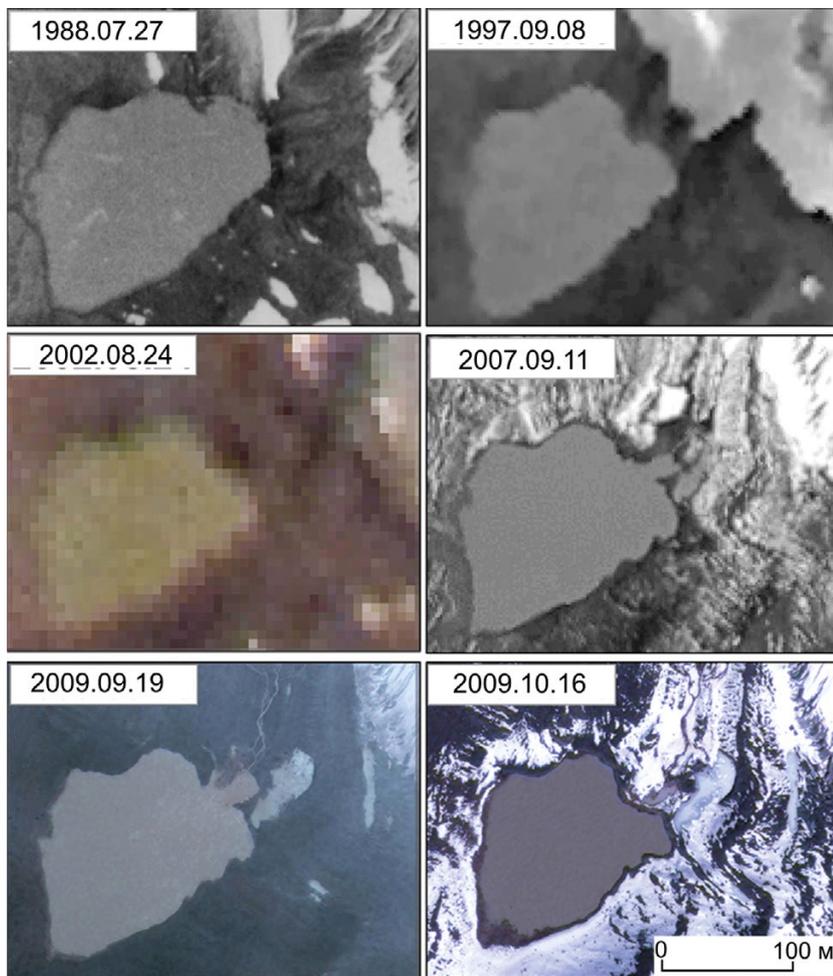


Рис. 5. Динамика озёр в 1988–2009 гг.  
Fig. 5. Dynamics of lakes in 1988–2009.

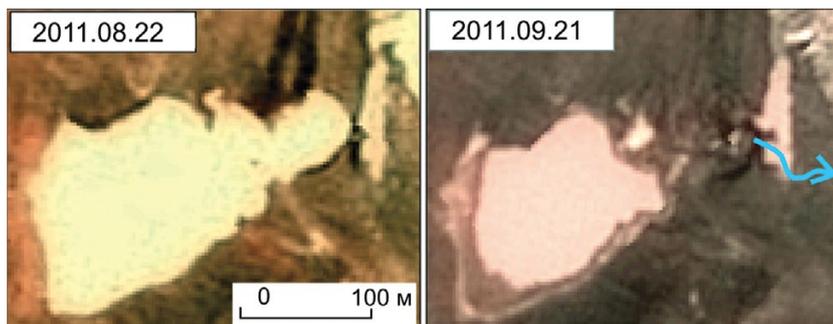


Рис. 6. Восточное озеро (№ 1) до и после прорыва.  
Стрелкой показано направление прорыва озера  
Fig. 6. Eastern lake (№ 1) before and after outburst.  
Arrow shows the direction of the lake outburst

лива. Наличие топоосновы 1:5000 и точных границ береговой линии озера в разные годы позволило определить высоту уровня воды до и после прорыва и высоту ледяной плотины. Современный летний уровень воды в озере практически совпадает с уровнем 28.09.2012, показанным на карте 1:5000 – 3269,5 м. Это меньше уровня озера до прорыва (22.08.2011) на 0,6 м. В 2011 г. озеро № 1 соединилось с озёрами № 2 и 5. Учитывая, что уровень озера оставался практи-

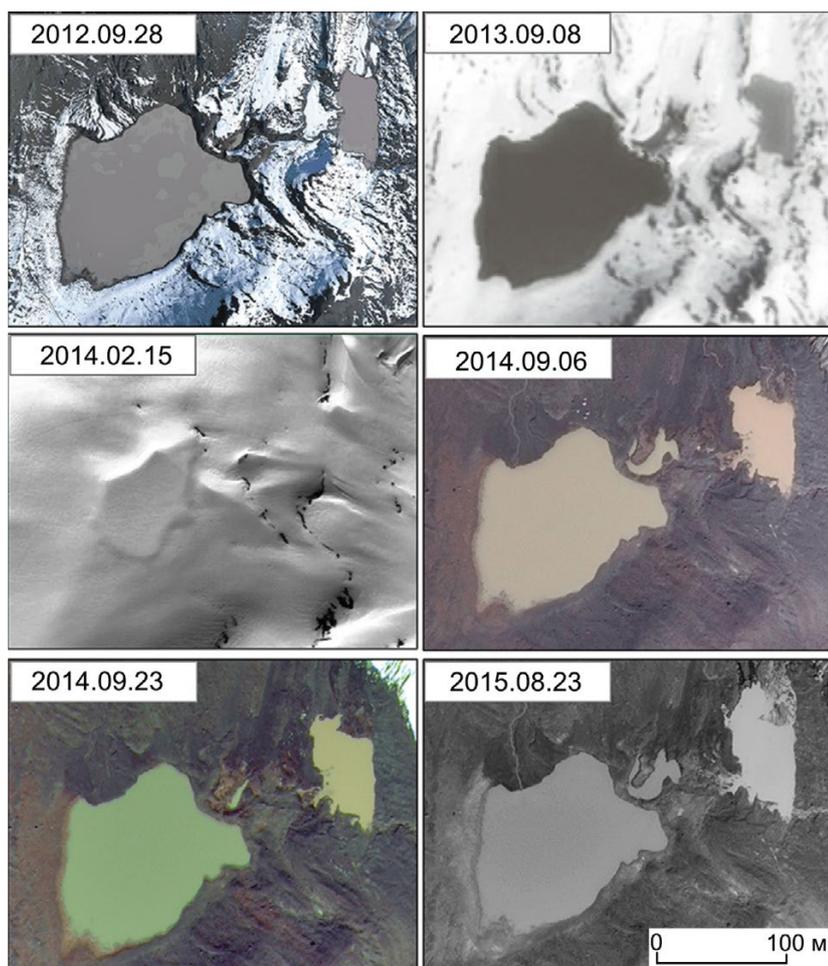
чески неизменным, по разнице отметок уровня озера в 2011 г. (по карте 1:5000) и подножия ледяной гряды № 4 можно вычислить высоту ледяной плотины озера на момент начала прорыва. Она составляла  $3270,1 - 3268,3 = 1,8$  м. Объём прорывного паводка определялся на основе данных о разной величине падения уровня воды в озере, состоящем из нескольких объединённых в один бассейн котловин (озёра № 1, 2 и 5). Для подсчёта объёма воды, слившейся в

результате прорыва, площадь озера № 1 по состоянию на 22.08.2011 г., была разделена на два участка: первый участок соответствует площади озера № 1 в период 2007–2009 гг.; второй участок – остальная часть, где были озёра № 2 и 5. Объём воды, слившейся с площади озера № 1, составил:  $15,8 \text{ тыс. м}^2$  (средняя площадь)  $\times$   $0,6 \text{ м} = 9,5 \text{ тыс. м}^3$ . На остальной площади озера ( $25,5 - 18,0 = 7,5 \text{ тыс. м}^2$ ) падение уровня было в среднем равным  $0,9-1,0 \text{ м}$  (максимальное –  $1,8 \text{ м}$ ). Объём слившейся воды с этой площади составил до  $7,5 \text{ тыс. м}^3$ . Следовательно, общий объём воды, сброшенной при прорыве, равен примерно  $15-17 \text{ тыс. м}^3$ . Это больше, чем слилось при прорыве озера в 1978 г.

С учётом того, что скорость пропиливания ледяной гряды водным прорывным потоком может составлять  $0,6 \text{ м/ч}$  [6], можно предположить, что прорыв озера продолжался около часа. Тогда средний расход прорывного паводка составит порядка  $5 \text{ м}^3/\text{с}$ . Прорыв озера с таким

невысоким расходом воды оказался незамеченным и не принёс негативных последствий. Поскольку при прорыве озера в 2011 г. не происходило существенного врезания русла, объём рыхлообломочного материала, перенесённого водой при паводке и отложенного на конусе выноса в долине Азау, составил немногим более  $10-12 \text{ тыс. м}^3$ , т.е. почти в 10 раз меньше, чем в 1978 г. Прорыв озера в 2011 г. также мог быть спрогнозирован, как и прорыв озера на севере Эльбруса [9], если бы оно вовремя было обследовано и если бы своевременно был получен космический снимок.

**Динамика озёр в период 2011–2015 гг.** После прорыва восточное озеро перед ледником Малый Азау существует в стабильном режиме, который характеризуется сильным падением уровня в зимний период (рис. 7, фрагмент 15.02.2014 г.). Заметим, что зимой уровень озера как до прорыва, так и после него примерно одинаков и соответствует минимальной площади



**Рис. 7.** Динамика озёр в 2012–2015 гг.  
**Fig. 7.** Dynamics of lakes in 2012–2015

Таблица 2. Площади озёр у края ледника Малый Азау в разные годы\*

Дата, год	Площади озёр, тыс. м <sup>2</sup>				
	западное	восточное (№ 1)	№ 2	№ 3	№ 4
16.08.1957	5,79	2,74			
08.09.1973	3,33	18,06			
1975	6,27	18,13			
07.08.1980		22,14			
27.07.1988		22,04			
08.09.1997		17,53			
11.09.2007		18,35	0,35		
19.09.2009		17,96	1,25	0,42	
16.10.2009		13,45	1,10	0,52	0,20
22.08.2011		25,45		1,37	
21.09.2011		12,52		1,52	0,25
28.09.2012		13,10		1,91	0,06
15.02.2014		3,75			
06.09.2014		13,63		3,08	0,63
23.08.2015		13,24		3,96	0,77

\*Нумерация озёр соответствует схеме на рис. 4. Площадь озера № 5 на 21.09.2011 г. составила 0,25 тыс. м<sup>2</sup>. Прочерки означают, что в эти временные отрезки озёр ещё не было или они уже исчезли, объединились, а также их наличие невозможно было определить под снегом.

3,75 тыс. м<sup>2</sup>. Такая же площадь озера наблюдалась на космоснимке WorldView-1 за 11 февраля 2010 г. Уровни озера в начале и конце сентября практически совпадают. Следовательно, падение уровня начинается в период прекращения таяния, возможно в октябре. В конце сентября 2014 г. заметно уменьшилось озеро № 4 – с 0,6 до 0,01 тыс. м<sup>2</sup>, что, вероятно, связано с прекращением перетока воды из озера № 1, в то время как сток воды из озера № 4 продолжался.

В результате сравнения снимков 2012–2015 гг. (см. рис. 7) можно сделать вывод, что моренная гряда № 2, разделяющая озёра № 1 и 4 (см. рис. 4), не подвержена процессам термокарста и эрозии, поэтому уровень воды в восточном озере (№ 1) летом неизменен в течение нескольких лет. Такой же устойчивой можно считать моренную гряду № 5, ограничивающую озеро № 3 (см. рис. 4), так как восточная береговая линия озера не меняется последние шесть лет. Участок истока воды из озера № 3 на протяжении моренной гряды довольно пологий и не подвергается размыву ввиду наличия крупноглыбовой самоотмстки.

## Выводы

1. По результатам измерений на аэрофото- и космоснимках получены значения площадей всех озёр за разные годы (табл. 2).

2. В период 1957–2015 гг. зафиксировано два случая прорывов озёр: озеро западное в 1978 г. и озеро восточное (№ 1) в 2011 г. Первый прорыв связан с процессами оползневых деформаций моренного массива, слагающего часть озёрной котловины, второй – с деградацией ледяной плотины озера и переливом воды поверх неё.

3. Современные плотины озёр – результат наступания ледника Малый Азау в 1990-х годах. Наступание одного из потоков льда ледника достигало 40 м.

4. Существующие в настоящее время моренные плотины озёр и участки поверхностного стока воды из озёр находятся в стабильном состоянии, поэтому угроза прорыва озёр отсутствует. Потенциальная угроза прорыва остаётся в связи с высокой сейсмичностью и возможной вулканической деятельностью в этом районе.

5. Для всех озёр характерно наличие подземного стока в трещиноватые коренные породы. Это необходимо учитывать при организации водоёмов для оснежения горнолыжных трасс.

**Благодарности.** Авторы благодарят А.Х. Аджиева и А.В. Шевченко за организацию работ, С.М. Долова и Н.Х. Боготова – за совместные полевые маршруты, З.И. Дударова – за помощь в получении космоснимков. Работа выполнена при грантовой поддержке Русского географического общества (проект № 5, 2016 г. «Исследование влияния глобального потепления климата на эколого-географическое состояние снежно-ледового покрова горы Эльбрус и на рекреационные комплексы Приэльбрусья»).

**Acknowledgments.** We thank A.K. Adzhiev and A.V. Shevchenko for their organization of work, S.M. Dolov and N.H. Bogotov for our joint field routes, and Z.I. Dudarov for his assistance in obtaining the satellite images. This work was funded by the Russian Geographical Society Grant («Investigation of the effect of global warming on the ecological and geographical condition of the snow/ice cover on Mount Elbrus and recreational complexes in its vicinity», Project 5, May 2016).

## Литература

## References

1. *Зимницкий А.В.* Формирование, распространение и динамика приледниковых озёр Западного и Центрального Кавказа: Дис. на соиск. уч. степ. канд. геогр. наук. Краснодар: Кубанский гос. университет, 2005. 186 с.
2. *Кидяева В.М., Крыленко И.Н., Крыленко И.В., Петраков Д.А., Черноморец С.С.* Колебания уровня воды в горных ледниковых озерах Приэльбрусья // Геориск. 2013. № 3. С. 20–27.
3. Электронный ресурс: *Кидяева В.М.* Гидрологические характеристики прорывоопасных ледниковых озёр Приэльбрусья (Кавказ, Россия) [http://www.untj.org/files/Publications/DRMP/resource\\_page/16.%20Kidyayeva%20V%20rus.pdf](http://www.untj.org/files/Publications/DRMP/resource_page/16.%20Kidyayeva%20V%20rus.pdf)
4. *Сейнова И.Б., Золотарев Е.А.* Ледники и сели Приэльбрусья (Эволюция оледенения и селевой активности). М.: Научный мир, 2001. 203 с.
5. *Докукин М.Д.* Происхождение морен-пьедесталов – очагов формирования гляциальных селей (на примере Северного Кавказа // Тр. ВГИ. 1988. Вып 73. С. 46–58.
6. *Докукин М.Д., Савернюк Е.А., Багов А.М., Маркина А.В.* О перестройке гидрографической сети северо-восточного подножия Эльбруса (бассейны рек Бирджалы-Су и Кара-Кая-Су) // Лёд и Снег. 2012. № 2 (118). С. 23–30. doi: 10.15356/2076-6734-2012-2-23-30
7. *Золотарев Е.А., Харьковец Е.Г.* Оледенение Эльбруса в конце XX в. (цифровая ортофотокарта Эльбруса на 1997 г.) // МГИ. 2000. Вып. 89. С. 175–181.
8. *Докукин М.Д., Шагин С.И.* Особенности динамики ледниковых озёр с подземными каналами стока (анализ разновременной аэрокосмической информации) // Криосфера Земли. 2014. Т. 18. № 2. С. 47–56.
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 года: прогноз, события и последствия // МГИ. 2007. Вып. 102. С. 225–229.
1. *Zimnitsky A.V.* *Formirovanie, rasprostranenie i dinamika prilednikovikh ozer Zapadnogo u Tsentralnogo Kavkaza.* Formation, distribution and dynamics of glacial lakes in the Western and Central Caucasus. PhD Thesis. Krasnodar, 2005:186 p.
2. *Kidyayeva V.M., Krylenko I.N., Krylenko I.V., Petrakov D.A., Chernomorets S.S.* Water level fluctuation in mountain glacier lakes in the Elbrus region. Georisk, 2013, 3: 20–27. [In Russian].
3. *Kidyayeva V.M.* *Gidrologicheskie kharakteristiki proryvoopasnykh lednikovoykh ozer Prielbrus'ya. (Kavkaz, Rossiya).* Hydrological characteristics of outburst glacial lakes in Elbrus region (Caucasus, Russia). [In Russian]. [http://www.untj.org/files/Publications/DRMP/resource\\_page/16.%20Kidyayeva%20V%20rus.pdf](http://www.untj.org/files/Publications/DRMP/resource_page/16.%20Kidyayeva%20V%20rus.pdf)
4. *Seynova I.B., Zolotarev E.A.* *Ledniki i seli Prielbrus'ya (Evolyutsiya oledeneniya i selevoy aktivnosti).* Glaciers and debris flows of Elbrus (The evolution of glaciers and mudflow activity). Moscow: Nauchnyi mir. 2001: 203 p. [In Russian].
5. *Dokukin M.D.* The origin of the moraines-pedestals – centers of formation of glacial debris flows. *Trudy VGI.* Proc. of High-Mountain Geophysical Institute. 1988, 73: 46–58. [In Russian].
6. *Dokukin M.D., Savernyuk E.A., Bagov A.M., Markina A.V.* On the restructuring of drainage network of the base of Mount Elbrus (Birdzhaly-Su and Kara-Kaya-Su river basins). *Led i Sneg.* Ice and Snow. 2012, 2 (118): 23–30. doi: 10.15356/2076-6734-2012-2-23-30 [In Russian].
7. *Zolotarev E.A., Kharkovets E.G.* Elbrus glaciation in the late twentieth century (digital orthophoto of Elbrus at 1997). *Materialy Glyatsiologicheskikh Issledovaniy.* Data of Glaciological Studies. 2000, 89: 175–181. [In Russian].
8. *Dokukin M.D., Shagin S.I.* Features of dynamics of glacial lakes with underground drain channels (analysis of multi-temporal aerospace information. *Kriosfera Zemli.* Earth Cryosphere. 2014, XVIII (2): 47–56. [In Russian].
9. *Chernomorets S.S., Petrakov D.A., Tutubalina O.V., Seynova I.B., Krylenko I.V.* Breakthrough of glacial lake on the northeast slope of Elbrus on August 11, 2006: forecast, events and consequences. *Materialy Glyatsiologicheskikh Issledovaniy.* Data of Glaciological Studies. 2007, 102: 225–229. [In Russian].