

УДК 551.321

## ГЛЯЦИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНСТИТУТА ГЕОГРАФИИ РАН НА ЭЛЬБРУСЕ В 2023 Г.

© 2023 г. И. И. Лаврентьев<sup>1,\*</sup>, А. М. Смирнов<sup>1</sup>, П. А. Торопов<sup>1,2</sup>,  
Н. Э. Елагина<sup>1</sup>, Т. Д. Киселёва<sup>1</sup>, Е. Д. Дроздов<sup>1,2</sup>, А. И. Дегтярёв<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт географии РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

\*e-mail: lavrentiev@igras.ru

Поступила в редакцию 29.08.2023 г.

После доработки 04.09.2023 г.

Принята к публикации 02.10.2023 г.

В июне 2023 г. были расширены масс-балансовые и метеорологические наблюдения на Эльбрусе: к постоянным наблюдениям на южном склоне (ледник Гарабаши) добавлен мониторинг ледника Микельчиран на северном склоне вулкана. Ранее подобных синхронных наблюдений на противоположных макросклонах Эльбруса не проводилось.

**Ключевые слова:** Эльбрус, баланс массы, горная метеорология

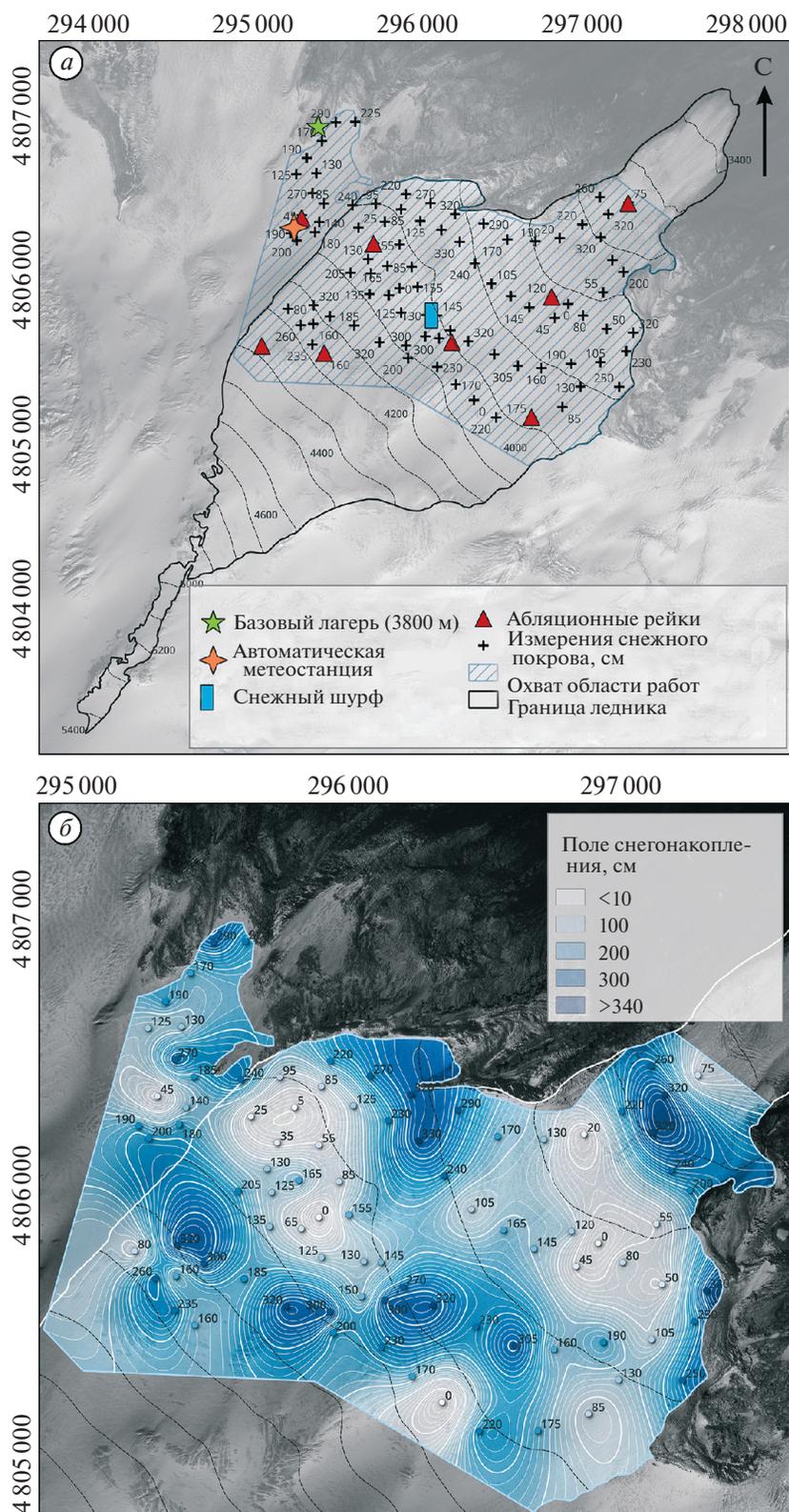
**DOI:** 10.31857/S2076673423040099, **EDN:** IBTCAZ

Исследования ледников Эльбруса традиционно ведутся сотрудниками отдела гляциологии ИГ РАН с конца 60-х годов прошлого века, как в рамках палеогеографических задач, так и в целях мониторинга баланса массы и динамики ледников в условиях меняющегося климата (Ледники и климат Эльбруса..., 2022). Мониторинг ледников Эльбруса, во-первых, представляет собой часть глобальной программы гляциологических наблюдений по международной программе Всемирной службы мониторинга ледников (далее — ВСМЛ, WGMS), под эгидой ИРСС, во-вторых — необходим для количественной оценки снежно-ледовой составляющей питания основных рек Кавказа, в-третьих — для валидации численных моделей горного оледенения и методов дистанционного зондирования ледников, и в четвертых — в рамках задачи мониторинга и прогноза опасных гляциальных явлений, связанных с деградацией оледенения (прежде всего, речь идёт о прорыве ледниковых озёр) (Лаврентьев и др., 2020). Кроме того, постоянный мониторинг оледенения Эльбруса позволяет выполнять оценку рекреационной привлекательности этого популярного высокогорного объекта.

Наиболее изучен на Эльбрусе ледник Гарабаши, он отражает типичные нивально-гляциальные условия южного макросклона Эльбруса. Масс-балансовые наблюдения на этом леднике ведутся около 40 лет, регулярные метеорологические измерения на протяжении сезона абляции — с 2013 г. (Ледники и климат Эльбруса..., 2022). В

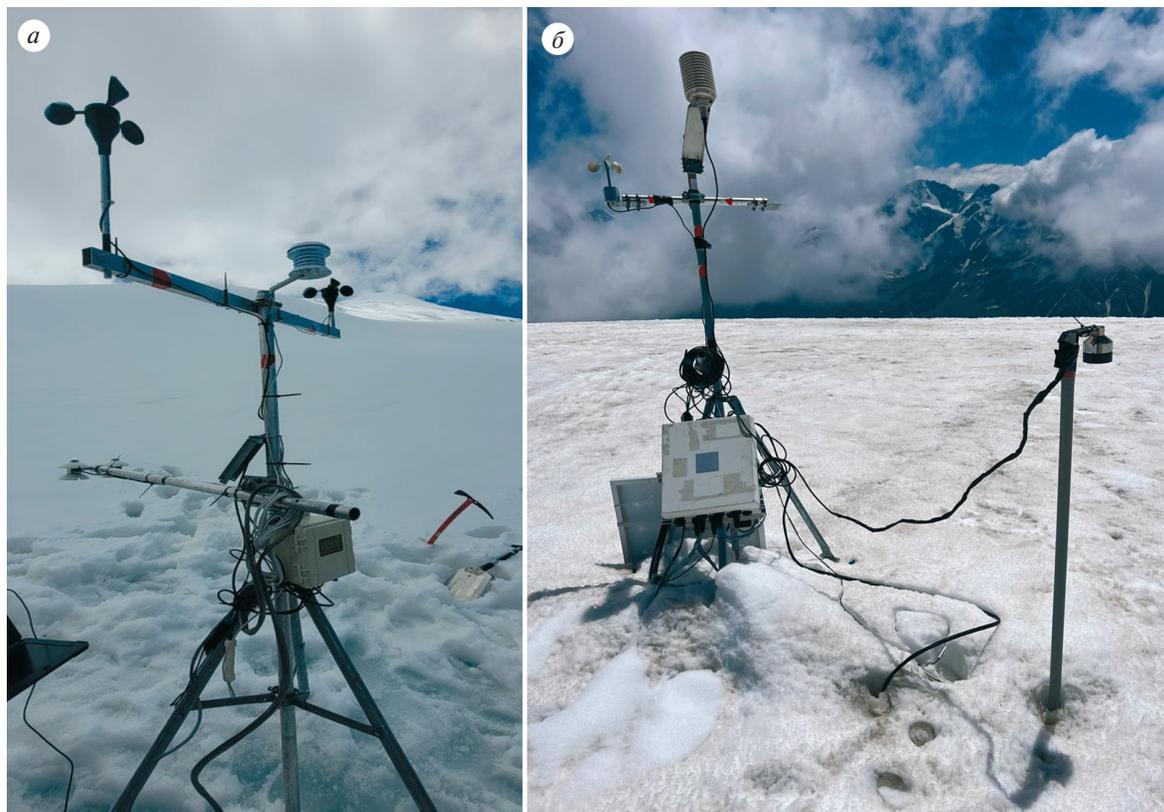
2018 г. ледник Гарабаши был включён в список репрезентативных объектов ВСМЛ, поэтому отдел гляциологии ИГ РАН не планирует прекращать работы на своём “домашнем” леднике. Однако возрастающая антропогенная нагрузка на ледник Гарабаши, связанная с бурным развитием горнолыжной инфраструктуры и ростом числа отдыхающих, нарушает естественный снежный покров на леднике, что идёт вразрез с требованиями к опорному объекту масс-балансового мониторинга. Кроме того, северные макросклоны Эльбруса до сих пор не были охвачены гляциологическими и метеорологическими наблюдениями, хотя ледники этих склонов существуют в иных климатических условиях и их физические параметры и динамика могут существенно отличаться от ледников южного макросклона. По этим причинам в течение летнего полевого сезона 2023 г. к ежегодным измерениям на леднике Гарабаши был добавлен ещё один объект на северновосточном склоне вулкана — ледник Микельчиран. Ранее масс-балансовые наблюдения на леднике Микельчиран не проводились, однако в рамках общей работы по изменению ледникового покрова Эльбруса в 2019 г. была выполнена оценка понижения его поверхности за период 1997–2017 гг. Рассчитанное по этим данным среднегодовое значение баланса массы ледника за 1997–2017 гг. составило –510 мм в.э./год.

В рамках последней экспедиции в период с 8 по 17 июня 2023 г. на леднике Микельчиран в высотном диапазоне 3800–4300 м была проведена



**Рис. 1.** Ледник Микельчиран: Карта фактического материала масс-балансовых работ на леднике в июне 2023 г. (а); Предварительная оценка снегонакопления на леднике по результатам снегомерной съёмки (б). В основе схем – космический снимок Pleiades от 09.2017 г.

**Fig. 1.** Glacier Mikelchiran. Map of mass balance fieldwork on the glacier in June 2023 (a); Preliminary estimation of snow accumulation on the glacier (b). Background – satellite image Pleiades from 09.2017.



**Рис. 2.** Автоматические метеостанции, установленные на леднике Микельчеран (а), и на леднике Гарабаши (б).  
**Fig. 2.** Automatic weather stations installed on the Mikelchiran (a) and Garabashi (b) glaciers.

стандартная снегомерная съёмка с помощью шупа (измерения выполнены в 90 точках в нижней и средней частях ледника), забурены 8 абляционных реек, измерена плотность снега в шурфе и описана структура снежной толщ. Также, над базовым лагерем “Лакколит” на высоте 3900 м была установлена автоматическая метеостанция (АМС) (рис. 1, а; 2, а), которая функционировала в период с 17 июня по 24 августа 2023 г. Важно отметить, что на леднике Гарабаши метеорологические измерения проводились примерно на той же высоте (3950 м над ур. моря) и синхронно (с 21 июня по 31 августа 2023 г.) (см. рис. 2, б). Обе АМС работали с дискретностью 1 мин и включали в себя измерения нисходящего и отражённого потоков коротковолновой и длинноволновой радиации на высоте 1–1.5 м над поверхностью ледника (с помощью радиометров HUKSFLUX на леднике Микельчиран и Kipp&Zonen на леднике Гарабаши), основных метеорологических параметров (температуры воздуха, характеристик влажности и скорости ветра с помощью АМС Ново на леднике Микельчиран и Campbell на леднике Гарабаши) на уровне 2–2.5 м над поверхностью, слоя стаивания с помощью акустического датчика Sonic Ranger на леднике Гарабаши, а также температурного профиля с помощью термоко-

сы GeoPrecision в двухметровой снежной толще с вертикальным шагом 10 см.

Результат снегомерных работ выявил значительную пространственную неоднородность высоты снежного покрова на поверхности ледника Микельчиран. Отмечены участки с нулевым снегонакоплением, при этом буквально в 300 м расположены очаги с максимальной толщиной снега, превышающей 3.2 м (см. рис. 1, б). Выявить какие-либо закономерности пространственного распределения снежной толщ сложно: на леднике не выражено лавинное питание, не выявлено увеличение толщины снежного покрова с высотой, как это бывает на многих горных ледниках (Cuffey, Paterson, 2010). По всей видимости, пространственная неоднородность снежной толщ — это результат уникального сочетания сложного рельефа поверхности с ветровым воздействием, определяющим метелевый перенос.

Сравнение параметров снегонакопления в июне 2023 г. с результатами наблюдений на леднике Гарабаши, где съёмка проводилась с 1 по 5 июня, показывает, что на южном макросклоне годовая аккумуляция в среднем на 1 м больше, чем на северном. В период с октября по май включительно (типичная продолжительность сезона аккумуляции) средняя величина снегона-

копления на леднике Микельчеран составляет 1.8 м, а на леднике Гарабаши – 2.8 м. Принимая условную плотность слежавшегося снега 450 кг/м<sup>3</sup>, можно заключить, что в приближённом пересчёте на осадки это даёт 810 и 1260 мм за сезон аккумуляции, соответственно, т.е. осадков на южном макросклоне выпадает в 1.6 раза больше, чем на северном. Это неплохо согласуется с результатами моделирования орографических осадков на Эльбрусе, согласно которому на южном макросклоне годовая сумма осадков в 1.7 раза выше, чем на северном (Торопов и др., 2022). Массив Эльбруса расположен на границе двух климатических провинций Кавказа (Ледники и климат Эльбруса..., 2022), которые проявляются в различиях условий увлажнения, что сказывается на характере распределения снежного покрова, и, соответственно, на величине баланса массы ледников.

Синхронное измерение гляциологических и метеорологических параметров на противоположных склонах Эльбруса важно для сравнения динамики компонентов баланса массы общего ледникового кластера, а также для оценки физических механизмов формирования аномалий баланса массы, определяемых в основном метеорологическим режимом. Кроме того, синхронные наблюдения позволят выполнить относительную оценку влияния антропогенного воздействия на поверхность ледника, что является актуальной задачей как в научно-фундаментальном, так и в прикладном ключе. Ледник Микельчиран отвечает условиям типичности масс-балансовых измерений и использования метеорологических данных для параметризации ледниковых бассейнов в климатических моделях (Østrem, Brugman, 1991): его площадь – около 4 км<sup>2</sup>, высотный диапазон – 3800–4500 м над ур. моря, угол наклона –

12 градусов. Кроме того, он характеризуется неплохой логистической доступностью, что позволяет проводить там регулярные наблюдения (см. рис. 1, а). В связи с этим в ближайшие годы масс-балансовые наблюдения на ледниках Гарабаши и Микельчиран планируется проводить параллельно.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность сотруднику Института географии РАН В.И. Мицкевичу за помощь в логистическом обеспечении экспедиционных работ. Исследования проводились в рамках проекта РНФ № 23-17-00247.

**Acknowledgments.** The authors are grateful to V.I. Mickiewicz for help in logistical support of expeditionary work. The research was carried out within the framework of the RSF project No. 23-17-00247.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Лаврентьев И.И., Петраков Д.А., Кутузов С.С., Коваленко Н.В., Смирнов А.М. Оценка потенциала развития ледниковых озёр на Центральном Кавказе // Лёд и Снег. 2020. Т. 60 № 3. С. 343–360. <https://doi.org/10.31857/S2076673420030044>
- Торопов П.А., Шестакова А.А., Ярынич Ю.И., Кутузов С.С. Моделирование орографической составляющей осадков на примере Эльбруса // Лёд и Снег. 2022. Т. 62 № 4. С. 485–503. <https://doi.org/10.31857/S2076673422040146>
- Ледники и климат Эльбруса / В.Н. Михаленко, С.С. Кутузов, И.И. Лаврентьев и др. СПб: Нестор-История, 2020. 372 с.
- Cuffey K.M., Paterson W.S. The physics of glaciers. Amsterdam: Academic Press, 2010. 704 с.
- Østrem G., Brugman M. Glacier mass-balance measurements. A manual for field and office work // NHRI Science Report. 1991. № 4. 224 p.

Citation: Lavrentiev I.I., Smirnov A.M., Toropov P.A., Elagina N.E., Kiseleva T.D., Drozdov E.D., Degtyarev A.I. Glaciological studies of the Institute of Geography, RAS, on the Elbrus Mount in 2023. *Led i Sneg. Ice and Snow*. 2023, 63 (4): 553–557 [In Russian]. doi 10.31857/S2076673423040099

## Glaciological Studies of the Institute of Geography, RAS, on the Elbrus Mount in 2023

I. I. Lavrentiev<sup>a, #</sup>, A. M. Smirnov<sup>a</sup>, P. A. Toropov<sup>a, b</sup>, N. E. Elagina<sup>a</sup>,  
T. D. Kiseleva<sup>a</sup>, E. D. Drozdov<sup>a, b</sup>, and A. I. Degtyarev<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>b</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>#</sup>e-mail: lavrentiev@igras.ru

Received August 29, 2023; revised 4, September 2023; accepted October 2, 2023

In June 2023, mass-balance and meteorological observations on Elbrus were expanded: monitoring of the Mikelchiran glacier on the northern slope of the volcano was added to the permanent observations on the

southern slope (Garabashi glacier). Such synchronized observations on the opposite macro-slopes of Elbrus have not been carried out before.

**Keywords:** Elbrus, mass balance, mountain meteorology

#### REFERENCES

- Lavrentiev I.I., Petrakov D.A., Kutuzov S.S., Kovalenko N.V., Smirnov A.M.* Assessment of glacier lakes development potential in the Central Caucasus. *Led i Sneg*. Ice and Snow. 2020, 60 (3): 343–360 [In Russian].  
<https://doi.org/10.31857/S2076673420030044>
- Toropov P.A., Shestakova A.A., Yarynich J.I., Kutuzov S.S.* Simulation of orographic precipitation's component on the Mount Elbrus example. *Led i Sneg*. Ice and Snow. 2022, 62 (4): 485–503 [In Russian].  
<https://doi.org/10.31857/S2076673422040146>
- Ledniki i klimat El'brusa*. Glaciers and climate of Elbrus. Saint Petersburg: Nestor-History, 2020: 372 p.
- Cuffey K.M., Paterson W.S.* The physics of glaciers. Amsterdam: Academic Press, 2010: 704 p.
- Østrem G., Brugman M.* Glacier mass-balance measurements. A manual for field and office work. HRI Science Report. 1991, 4: 224 p.