

СТАТЬИ

УДК 551.324.63

**ДЕГРАДАЦИЯ ОЛЕДЕНЕНИЯ БОЛЬШОГО КАВКАЗА  
ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ**

<sup>1</sup>Аджиев А.Х., <sup>2</sup>Шевченко А.В., <sup>1</sup>Кондратьева Н.В., <sup>1</sup>Юрченко Н.В.

<sup>1</sup>ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Нальчик, e-mail: adessa1@yandex.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»,  
Нальчик, e-mail: avkbsu@rambler.ru

В связи с масштабными планами России по освоению рекреационного потенциала ледников Северного Кавказа и потребностью интенсивного использования их водных ресурсов в хозяйственной деятельности, особо востребованными в настоящее время стали данные о динамике ледниковых образований. Статья посвящена изучению деградации основных ледников ледникового массива Большого Кавказа и выявлению причин роста темпов уменьшения их площади. Оценка пространственного распространения, масштабов изменения границ площадей ледников Большого Кавказа выполнена на примере динамики ледников южного склона г. Эльбрус и Козидон, Земегондон, Цахвоа, Чугуш, Большой Фиштинский, Джаловчат, Муркар, Когутай. Собранные данные показывают, что темпы деградации исследуемых ледников в последние три года значительно превысили ранее наблюдаемые. Это произошло и за счёт сокращения ледников по ширине и деградации крайних потоков льда, которые уменьшаются быстрее, так как уменьшилась толщина льда в области питания этих потоков. Некоторые части потоков льда ледников сократились за три года по длине на 100 и более метров. Выявлено, что исследованные ледники отступают из-за увеличения скорости роста летних температур до 0,4 °С/10 лет в период глобального потепления с 1976 г. по настоящий период. Скорости уменьшения площади ледников значительно выросли в последние годы и достигали максимальных значений: ледники Малый Азау и Терскол – 25–27 тыс. м<sup>2</sup> в год, а ледник Гарабаши – 23 тыс. м<sup>2</sup> в год.

**Ключевые слова:** оледенение, Большой Кавказ, динамика деградации, ледник, термический режим, площадь ледников, изменение климата

**GLACIATION DEGRADATION OF THE GREATER CAUCASUS  
UNDER THE IMPACT OF CLIMATE CHANGES**

<sup>1</sup>Adzhiev A.Kh., <sup>2</sup>Shevchenko A.V., <sup>1</sup>Kondrateva N.V., <sup>1</sup>Yurchenko N.V.

<sup>1</sup>High-Mountain Geophysical Institute, Nalchik, e-mail: adessa1@yandex.ru;

<sup>2</sup>Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov, Nalchik, e-mail: avkbsu@rambler.ru

In connection with the large-scale plans of Russia to develop the recreational potential of the glaciers of the North Caucasus and the need for the intensive use of their water resources in economic activities, data on the dynamics of glacial formations have now become especially in demand. The article is devoted to the study of the degradation of the main glaciers of the Greater Caucasus glacial massif and to the identification of the reasons for the increase in the rate of decrease in their area. An assessment of the spatial distribution, the scale of changes in the boundaries of the areas of glaciers in the Greater Caucasus was made on the example of the dynamics of glaciers on the southern slope of Elbrus and Kozidon, Zemegondon, Tsakhvoa, Chugush, Bolshoy Fishtinsky, Dzhalogchat, Murkar, Kogutai. The collected data show that the rates of degradation of the studied glaciers in the last three years have significantly exceeded those previously observed. This happened also due to the reduction of glaciers in width and the degradation of the extreme ice flows, which decrease faster, since the thickness of the ice in the area where these flows are fed has decreased. Some parts of the ice flows of glaciers have decreased in length by 100 meters or more over three years. It was revealed that the investigated glaciers are retreating due to an increase in the rate of increase in summer temperatures up to 0.4°C/10 years during the period of global warming from 1976 to the present. The rate of decrease in the area of glaciers has increased significantly in recent years and reached maximum values: the Maly Azau and Terskol glaciers – 25–27 thousand m<sup>2</sup> per year, and the Garabashi glacier – 23 thousand m<sup>2</sup> per year.

**Keywords:** glaciation, Greater Caucasus, degradation dynamics, glacier, thermal regime, glacier area, climate change

Деградация оледенения Большого Кавказа происходит ускоренными темпами и создаёт условия для активизации разрушительных процессов горных образований.

В XXI в. на Северном Кавказе произошел ряд чрезвычайных ситуаций, связанных с ледниками: сход ледника Колка (РСО-Алания) в 2002 г., прорывы ледниковых озёр (в 2006, 2011 и 2017 гг.), гляциальные сели (в 2000, 2011 и 2017 гг.), крупные ледово-каменные обвалы (в 2006, 2014, 2019 гг.), наводнения и селевые потоки.

Одним из наиболее характерных символов изменения климата является таяние ледников. По данным работы [1], за последние 30 лет исчезло более 20% европейских ледников.

В XXI в. увеличились скорости уменьшения площади горного оледенения на Кавказе из-за роста среднесуточных летних температур. Скорости роста летних температур с 1976 г. по настоящий период составили 0,04 °С в год.

Наибольшие темпы деградации ледников прослеживаются на Западном Кавказе.

На территории Краснодарского края есть несколько участков с развитым оледенением, темпы отступления которых выше, чем среднее отступление ледников на Северном Кавказе.

Особую озабоченность специалистов вызывает изменение площади и объема ледового образования на г. Эльбрус, где сформировалось около 25 ледников. Темпы сокращения площадей ледников на г. Эльбрус (особенно южно-ориентированных) значительно выросли в последние годы и достигали максимальных значений. Например, ледники Малый Азау и Терскол сократились на 25–27 тыс. м<sup>2</sup> в год, а ледник Гарабаша – на 23 тыс. м<sup>2</sup> в год.

В связи с масштабными планами России по освоению рекреационного потенциала ледников Северного Кавказа и потребностью интенсивного использования их водных ресурсов в хозяйственной деятельности, особо востребованными в настоящее время стали данные о динамике ледниковых образований.

Целью работы являлось изучение деградации основных ледников ледникового массива Большого Кавказа и выявление основных причин ускоряющегося уменьшения их площади.

Задачами исследований были:

- оценка пространственного распространения, масштабов изменения границ ледников на территориях склонов Большого Кавказа, уточнение местоположения их катастрофического проявления;
- оценка параметров сокращения отдельных ледников на Северном Кавказе.

#### **Материалы и методы исследования**

Глобальное потепление способствует уменьшению площади оледенения в горных районах, однако степень такого воздействия различна в разных горных регионах мира. Значительная угроза такого влияния наблюдается для ледникового массива Большого Кавказа. Система ледников Большого Кавказа является важным фактором для жизнедеятельности и для формирования горного ландшафта. Ледниковые комплексы не только формируют горные ландшафты, но и оказывают существенное влияние на климат и растительный покров Северного Кавказа.

По данным нового каталога ледников [2] по результатам обработки космоснимков Sentinel-2 2017–2018 гг. на Кавказе обнаружено 2046 ледников общей площадью 1067 км<sup>2</sup>. В том числе больше половины горного оледенения Большого Кавказа (более 70% от площади оледенения) находится на территории Центрального Кавказа. Лед-

ники значительной площади сосредоточены на г. Эльбрус и на Безенгийской стене (ледник Безенги – наибольший ледник Большого Кавказа длиной около 17 км). Ледниковый массив Эльбруса состоит из 25 ледников, имеющих одну поверхность, у них разные условия питания, разная толщина, и они изменяются по-разному.

История изучения ледников Большого Кавказа начинается с работ Г. Абиха, посетившего этот район в середине XIX в. [3], и продолжается по настоящее время [4, 5]. Учитывая, что ледники обеспечивают основную воду для орошения в июле-августе, их деградация под воздействием изменения климата может иметь тяжелые последствия для производства продовольствия, экономики и населения.

В данной работе представлены результаты совместного исследования многолетней динамики южноориентированных ледников склона г. Эльбрус, а также ледников Козидон, Земегондон, Цахвоа, Чугуш, Большой Фиштинский, Джаловчат, Муркар, Когутай (всего 11 ледников) и сезонных климатических факторов. Указанные ледники являются наиболее типичными ледниками Большого Кавказа, и они характеризуют общую динамику их состояния на этапе глобальных климатических изменений. Оценка динамики изменения площади указанных ледников выполнена по результатам обработки:

- материалов инженерно-гидрометеорологических изысканий и исследований на территории оледенения Большого Кавказа за многолетний период времени;
- полученных данных при маршрутных обследованиях языков исследуемых ледников;
- разновременных космоснимков, сделанных в период максимального снеготаяния.

Для определения климатических характеристик на территории южноориентированных ледников г. Эльбрус и прилегающей территории в качестве основных источников информации использовались:

- ряды наблюдений на метеостанции «Терскол» (2144 м);
- ряды наблюдений на метеостанции «Чегет» (3040 м);
- ряды наблюдений на метеостанции «Пик Терскол» (3150 м);
- справочники по климату СССР;
- метеорологический ежемесячник.

Формирование архива данных для данной территории начато с 1957 г. И с этого времени выполнен анализ изменения площади исследуемых ледников.

Таблица 1

Изменения площади и длины ледников Терскол, Малый Азау и Гарабаши с 1957 по 2019 г.

Период времени, гг., (количество лет)	Уменьшение площади, тыс. м <sup>2</sup> (в год)	Уменьшение длины, м (в год)	
1	2	3	
Малый Азау			
1957-1997 (40)	339,7 (8,4)	273 (6,8)	
1997-2009 (12)	216,9 (18,0)	249 (20,7)	
2009-2015 (6)	142,3 (23,7)	69 (11,5)	
1957-2019 (62)	960,6 (15,5)	575 (9,3)	
Гарабаши		восточная часть	западная часть
1957-1997 (40)	102,1 (2,5)	111 (2,8)	77 (1,9)
1997-2009 (12)	101,2 (8,4)	107 (8,9)	131 (10,9)
2009-2015 (6)	90 (15)	115 (19,2)	95 (15,8)
1957-2019 (62)	760,6 (12,3)	390 (6,3)	390 (6,3)
Терскол (правый язык)			
1957-1997 (40)	128,4 (3,2)	85 (2,1)	
1997-2009 (12)	200,6 (16,7)	88 (7,3)	
2009-2015 (6)	120,8 (20,1)	130 (21,6)	
1957-2019 (62)	640,0 (10,3)	560 (9,03)	

### Результаты исследования и их обсуждение

Для оценки современного состояния ледников и выявления тенденции их изменения было использовано более 20 аэро- и космоснимков.

На рис. 1 показана схема ледников Малый Азау, Гарабаши, Терскол на территории исследований с контурами ледников в 1957 и 2015 г. Основную трудность в определении границ ледников представляла идентификация ледников и мёртвых льдов. В изучении динамики ледников это одна из серьёзных проблем [6].

Чтобы избежать ошибочных оценок сокращения ледников при дешифрировании космоснимков и аэрофотоснимков, такие участки не включались в контуры ледников. Контуры ледников обрисовывались с учётом анализа динамики поверхности мёртвых льдов. Граница ледника проводилась по линии ложбины, отделяющей ледник от мёртвого льда.

Для определения изменения площади ледника за разные периоды времени (от 1 до 10 и более лет) составлялись полигоны изолиний границ ледников с использованием ГИС технологий и программного инструмента Calculate Geometry.

В результате анализа размера площади ледников, находящихся на южном скло-

не горы Эльбрус за различные периоды с 1957 по 2019 г. получены следующие данные, представленные в табл. 1.

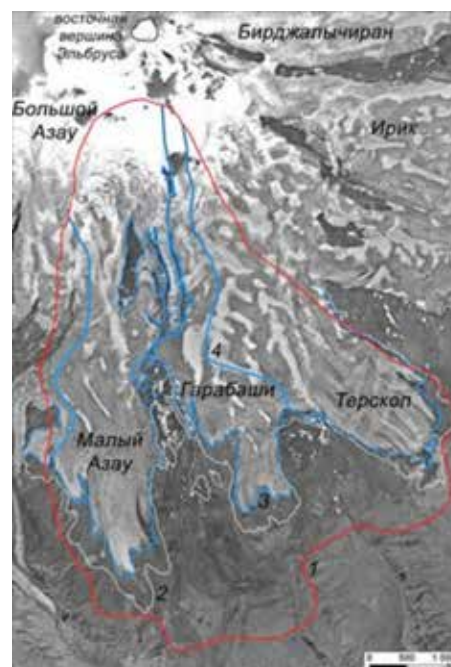
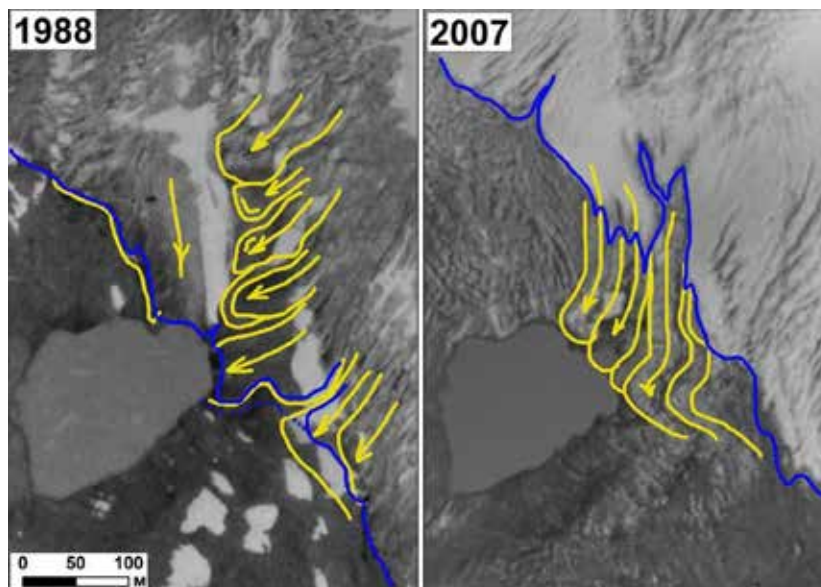


Рис. 1. Схема ледников Терскол, Гарабаши и Малый Азау на космоснимке спутника Pleiades от 23 августа 2015 г.: 1 – участок исследования, 2 – границы ледников в 1957 г., 3 – границы ледников в 2015 г., 4 – ледоразделы



*Рис. 2. Изменение морфологии рельефа на участке восточной окраины озера ледника Малый Азау вследствие его наступания в 1990-х гг. Жёлтыми линиями показаны направления движения потоков ледника с грядами поверхностных морен*

По данным Е.А. Золотарёва [7, 8] за период с 1957 по 2007 г. ледник Малый Азау сократился на 681 тыс. м<sup>2</sup>. Наша оценка составила 504,6 тыс. м<sup>2</sup>, что значительно меньше данных Золотарёва. Возможно, при оценке площади Е.А. Золотарёвым учтены другие участки ледника, вне фронтальной зоны. Наши результаты касаются исчезнувшей площади ледника только во фронтальной части. Что касается линейного отступления, то наши данные отличаются незначительно: 435 м и 404 м у Е.А. Золотарёва.

Как было отмечено в работах [9–12], в период с конца 1980-х до второй половины 1990-х гг. наблюдалось наступание большого количества ледников и на северном и южном склонах Эльбруса и в других районах Кавказа. Например, наступание ледника Бирджалычиран по данным Е.А. Золотарёва [8] составило 160 м.

Наступания не избежал и ледник Малый Азау. На рис. 2 показано значительное изменение морфологии его морен и мёртвых льдов после 1988 г.

В целом в результате анализа динамики ледника Малый Азау можно констатировать то, что скорость уменьшения его площади в последние два-три года замедлилась, но аномально теплое лето 2015 г. привело к интенсивному таянию снежного покрова ледника на значительных абсолютных высотах.

Наибольшие скорости уменьшения площади ледника Гарабаши также наблюдались

в период с 2007 по 2015 г. Более высокие темпы уменьшения длины данного ледника наблюдались в 2009–2015 гг. В XX в. скорость сокращения площади ледника Гарабаши составляла около 2–3 тыс. м<sup>2</sup> в год. В сравнении – Малый Азау в этот период отступал со скоростью 8–9 тыс. м<sup>2</sup> в год. Это можно объяснить параметрами самого ледника. Его ширина в начале выводного языка была примерно на 1000 м меньше, чем у ледника Малый Азау.

В результате сравнения аэрофотоснимка 1957 г. и космоснимка 08.08.2019 г. Sentinel 2A получены данные об изменении общей площади ледника Гарабаши (рис. 3). Значительные изменения произошли не только во фронтальной части, но и с боков и на границе с ледниками Терскол и Малый Азау.

Уменьшение площади составило 760 тыс. м<sup>2</sup> (12,3 тыс. м<sup>2</sup> в год). Длина ледника уменьшилась на 390 м (6,3 м в год).

В целом общее сокращение площади ледника Терскол составило около 640 тыс. м<sup>2</sup>, а левого языка (выше ригеля) – около 200 тыс. м<sup>2</sup>. В среднем за 62 года площадь ледника Терскол уменьшалась на 10,3 тыс. м<sup>2</sup> в год (рис. 4). На современном этапе (XXI в.) ледник сокращается на 19,2 тыс. м<sup>2</sup> в год. При этом в период с 2009 г. темпы сокращения площади ещё более увеличились и доходили до 25–27 тыс. м<sup>2</sup> в год, т.е. в 3 раза выше среднееголетних значений. Вследствие значительного утончения языка

ледника в ближайшие несколько лет ледник Терскол покинет участок ригеля, и основная масса льда будет располагаться на широкой поверхности с углом наклона 4–6°.

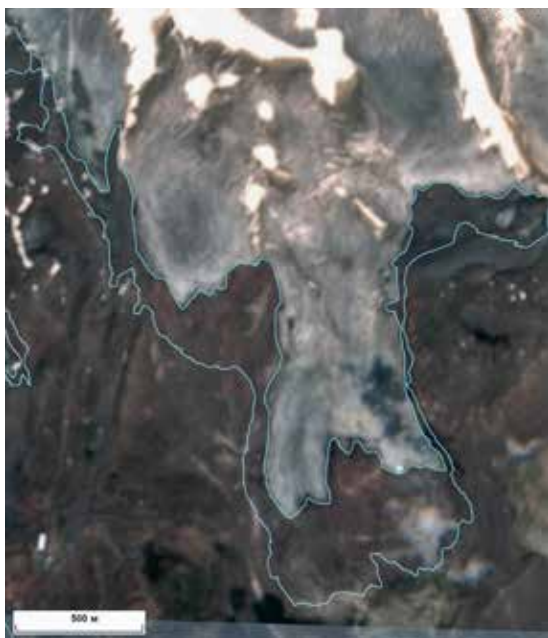


Рис. 3. Изменение границ ледника Гарабаши в 1957–2019 гг.



Рис. 4. Изменение границ ледника Терскол за 1957–2019 гг.

Аналогичный анализ был выполнен и для других вышеуказанных ледников Большого Кавказа. Изменения площади ледников Козыдон и Земегондон представлены в табл. 2 и на рис. 5.

Таблица 2

Площади ледников Козыдон и Земегондон в разные годы

Номер ледника	Площадь, кв. км	Год
<b>Бассейн р. Козыдон</b>		
269	0,59	1888
269	0,2	1969
269 а	0,215	2014
269 б	0,095	2014
269б	0,089	2019
317 (Козыдон)	1,22	1888
317	0,4	1969
317	0,936	1957
317	0,804	1975
317	0,728	2010
317	0,692	2014
317	0,439 (два ледника)	2019
<b>Итого:</b>	<b>0,838</b>	<b>2019</b>
<b>Бассейн р. Земегондон</b>		
270 (Земегондон)	1,18	1888
270	0,9	1969
270	1,005	1957
270	0,852	1975
270	0,681	2010
270	0,555,4 и 0,023 (0,578)	2019
271	0,46	1888
271	0,3	1969
271	0,412	2014
271	0,365	2019
272	0,39	1888
272	0,3	1969
272	0,238	2014
272	0,189	2019
б/н (273)	0,091	1888
б/н (273)	0,04	2014
274	0,56	1888
274	0,189	2019
275	0,19	1888
275	0,1	1969
275	0,087 и 0,020 (0,107)	2019
276	0,38	1888
276	0,1	1969
276 а	0,056	2014
276 б	0,087	2014
278	0,75	1888
278	0,3	1969
278	0,150	2014
278	0,103	2019
<b>Итого:</b>	<b>1,714</b>	<b>2019</b>

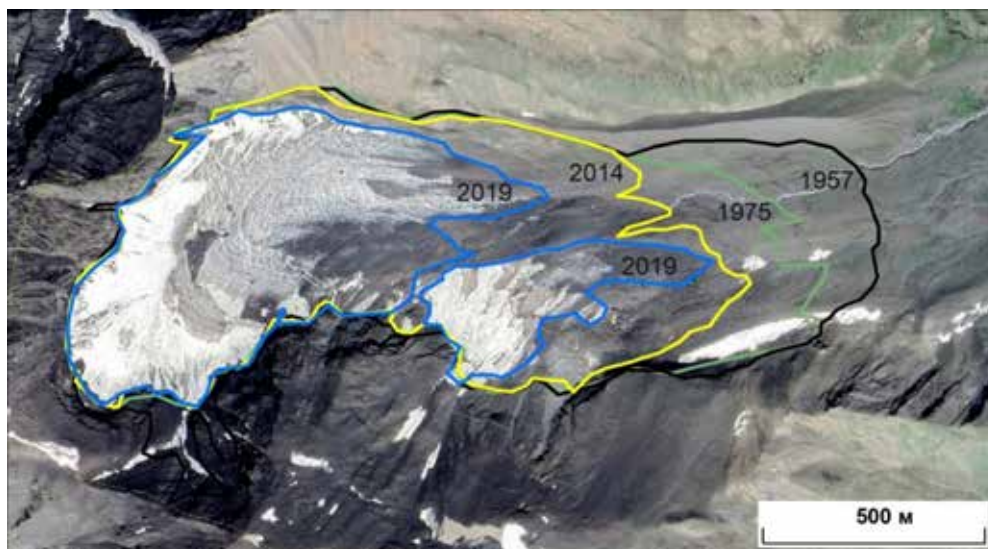


Рис. 5. Схема динамики ледника Козыдон

Таблица 3

Изменения площади и длины отдельных характерных ледников  
на Северном Кавказе с 1957 по 2019 г.

№	Ледники	Площадь по каталогу, км <sup>2</sup>	Уменьшение площади, тыс. м <sup>2</sup> (в год)	Уменьшение длины, м (в год)
1	Малый Азау	9,7	823,8,0 (13,3)	570 (9,2)
2	Гарабаши	2,8	760,0 (12,3)	390 (6,3)
3	Терскол	7,7	640,0 (10,3)	585 (9,4)
4	(№ 18) Р. Козидон	0,4	497 (8,0)	697 (11,2)
5	(№ 20) Р. Зедегондон	0,9	427 (6,9)	464 (7,5)
6	Цахвао	0,7	334 (7,6) 1975–2019	250 (5,7) 1975–2019
7	Чугуш	1,2	487,0 (7,6) 165 (23,5) 2012–2019	160 (22,8) 2012–2019
8	Большой Фиштинский	0,9	324,0 (5,2) 54(9,0) 2013–2019	292 (4,7) 90 (15) 2013–2019
9	Джаловчат	6,8	2599 (59,0) 1975–2019 Ледник разделился на 4 ледника	693 (15,7) 1975–2019
10	Муркар	1,0	38,0 (0,6)	130 (2,3)
11	Когутай	1,6	533,0 (9,2)	307 (5,0)

Как видно из табл. 3, из рассмотренных ледников наибольшие темпы уменьшения площади оледенения имеют место у ледника Большой Фиштинский, расположенного на территории Краснодарского края.

Для отдельных ледников за последние 20 лет темпы отступления составили от 4,7 до 15 м в год, а скорость сокращения площади оледенения доходила до 0,129 км<sup>2</sup> в год (ледник Джикиганкез). В долине реки Зедегондон (республика Северная Осетия – Алания) отдельные ледники потеряли 65–71 % площади.

#### *Термический режим территории исследования*

Среднесуточные температуры воздуха в теплый период года оказывают значительное влияние на таяние ледников Большого Кавказа. Общеизвестным фактом является потепление климата, которое для юга европейской части России по разным оценкам составляет от 0,5 до 1 °С. При этом наблюдаются значительные положительные аномалии среднесуточных температур в летний период года.

В работе [1] отмечено, что в последние годы на территории России среднегодовая температура воздуха на  $1,35\text{ }^{\circ}\text{C}$  превысила климатическую норму (среднее значение за период 1961–1990 гг.). Согласно докладу [1] средняя скорость увеличения среднегодовой температуры воздуха на территории России в 1976–2021 гг. составила  $+0,49\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  лет (вклад в общую изменчивость 54%). Эти данные значительно больше скорости роста глобальной температуры за тот же период –  $0,18\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  лет и более чем в полтора раза больше средней скорости потепления приземного воздуха над сушей земного шара. В работе [1] отмечено, что в 2015–2020 гг. ледники Эльбруса сокращались в 5 раз быстрее, чем в XX в. (данные подготовлены М.Д. Докукиным).

В различных климатических зонах юга России в изменениях температуры и осадков за последние 60 лет наблюдаются следующие особенности:

1. Наблюдается рост скорости увеличения среднегодовых температур: от наименьшей скорости роста среднегодовой температуры на побережье Черного моря –  $0,16\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  лет до наибольших значений в предгорьях Большого Кавказа –  $0,31\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  лет.

2. На всей территории, прилегающей к Большому Кавказу, наблюдается общая закономерность – устойчивый рост температуры в летний сезон с максимальными значениями вклада объясненной дисперсии в тренд ( $D, \%$ ): от прикаспийской зоны  $0,33\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  лет ( $D = 28,2\%$ ) до степной зоны  $0,41\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  лет ( $D = 31,3\%$ ). Такая же тенденция статистически значимого роста средней летней температуры (единственной из сезонных температур) на  $0,32\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  лет ( $D = 35,6\%$ ) наблюдалась в Терсколе.

Из анализа динамики абсолютных максимумов температур за 2006–2019 гг. следует, что в этот период происходит значительное увеличение максимальных зимних на  $0,96\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{год}$  ( $D = 71\%$ ) и максимальных летних на  $0,65\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{год}$  ( $D = 37\%$ ). Десятилетие 2006–2019 гг. характеризуется также ростом средних зимних и весенних температур, с наиболее значимым вкладом за счет увеличения абсолютных максимумов температур. Темпы роста летних температур увеличились с  $0,32\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  лет до  $0,44\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  лет в 1976–2019 гг., что привело к росту темпов отступления исследуемых ледников в XXI в.

В районах Большого Кавказа по данным высокогорных станций имеет место рост среднегодовых значений количества осад-

ков с трендом  $+2,3$  мм в год. Данный факт является крайне благоприятным для сохранения суммарной массы ледника. Таким образом, осадки не являются негативным фактором в отступании ледников.

По нашему мнению, деградация (отступление) рассматриваемых ледников связана с такой динамикой летних температур.

### Выводы

1. Выполнена оценка пространственного распространения, масштабов изменения границ оледенения некоторых ледников Большого Кавказа, уточнены местоположения их катастрофического проявления.

Выполнена оценка параметров сокращения южноориентированных ледников склона г. Эльбрус, а также ледников Козидон, Земегондон, Цахвоа, Чугуш, Большой Фиштинский, Джаловчат, Муркар, Когутай на Северном Кавказе.

Собранные данные показывают, что темпы деградации исследуемых ледников в последние три года значительно превысили ранее наблюдаемые. Это произошло и за счёт сокращения ледников по ширине и деградации крайних потоков льда, которые уменьшаются быстрее, так как уменьшилась толщина льда в области питания этих потоков. Некоторые части потоков льда ледников сократились за три года по длине на 100 и более метров.

2. Проведенные математические расчеты по оценке воздействия основных климатических характеристик на изменения площади рассмотренных ледников показали:

– Причиной уменьшения площади оледенения является значительный рост средних летних температур. Среднегодовой рост летних температур составляет  $0,04\text{ }^{\circ}\text{C}$  в год. Такие темпы роста температуры наблюдаются с 1976 г. по настоящее время. Этот период признан периодом глобального и регионального потепления климата.

– Скорости уменьшения площади ледников выросли за последние пять-шесть лет и достигли максимальных значений. Для ледника Малый Азау и Терскол она составила 25–27 тыс.  $\text{m}^2$  в год, а для ледника Гарбаши – 23 тыс.  $\text{m}^2$  в год.

3. Для отдельных ледников за последние 20 лет темпы отступления составили от 4,7 м до 15 м в год, а скорость сокращения площади оледенения доходила до  $0,129\text{ км}^2$  в год (ледник Джикиуганкез). В долине реки Земегондон (Республика Северная Осетия – Алания) отдельные ледники потеряли 65–71% площади.

## Список литературы

1. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2021 год. М., 2022. 104 с.
2. Хромова Т.Е., Носенко Г.А., Глазовский А.Ф., Муравьев А.Я., Никитин С.А., Лаврентьев И.И. Новый каталог ледников России по спутниковым данным (2016–2019 гг.) // Лёд и снег. 2021. Т. 61. № 3. С. 341–358. DOI: 10.31857/S2076673421030093.
3. Abich H. Geologische Beobachtungen auf Reisen im Kaukasus um Jahre 1873. H. Abich. Moskau. 1875. 138 p.
4. Оледенение Эльбруса (под ред. Г.К. Тушинского). М.: Изд-во МГУ, 1968. 345 с.
5. Васильчук Ю.К., Чинова Ю.Н., Буданцева Н.А., Мухина Ю.С. Быстрое сокращение ледника Большой Азау в Приэльбрусье на фоне стабильных климатических условий и возникающие при этом риски // Геориск. 2010. № 2. С. 16–29.
6. Frank Paul, Andreas Bauder, Christoph Marty, Jeannette Notzli. Schnee, Gletscher und Permafrost. Kryosphärenbericht für die Schweizer Alpen. DIE ALPEN. 2015. P. 46–52.
7. Золотарёв Е.А. Эволюция оледенения Эльбруса. Картографо-аэрокосмические технологии гляциологического мониторинга. М.: Научный мир, 2009. 258 с.
8. Золотарев Е.А., Харьковец Е.Г. Эволюция оледенения Эльбруса после малого ледникового периода // Лед и снег. 2012. № 2 (118). С. 15–22.
9. 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.
10. Докукин М.Д., Савернюк Е.А. Наступание ледников в конце XX века как фактор активизации гляциальных селевых процессов (Центральный Кавказ) // Труды Второй конференции «Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита», посвященной 100-летию С.М. Флейшмана (Москва, 17–19 октября 2012 г.). / Ответственный редактор С.С. Черноморец. М.: Географический факультет МГУ, 2012. С. 31–32.
11. Аджиев А.Х., Беккиев М.Ю., Докукин М.Д., Залиханов М.Ч., Ташилова А.А., Юрченко Н.В. Мониторинг деградации горных ледников Приэльбрусья в условиях изменения климата // Материалы IV Всероссийской научной конференции «Экология и космос» имени академика К.Я. Кондратьева: посвящается 100-летию со дня рождения академика К.Я. Кондратьева (Санкт-Петербург, 16–18 сентября 2020 г.). СПб.: Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, 2020. С. 6–24.
12. Беккиев М.Ю., Докукин М.Д., Калов Р.Х., Ташилова А.А. Современная деградация долинных ледников Центрального Кавказа // Фундаментальная и прикладная климатология. 2021. Т. 8. № 3. С. 113–141. DOI: 10.21513/2410-8758-2021-3-113-141.