

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕДНИКОВ МАЛЫЙ АЗАУ И ГАРАБАШИ

¹Кондратьева Н.В., ²Татаренко Н.В.

¹ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Нальчик, e-mail: kondratyeva_nat@mail.ru;

²ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский университет им. Х.М. Бербекова», Нальчик,
e-mail: tatarenko.nic@yandex.ru

Дана оценка современного состояния ледников Малый Азау и Гарабаши за период с 1957 по 2019 г. на основе анализа аэро- и космоснимков. Изучены основные морфометрические характеристики ледников Малый Азау и Гарабаши: площадь и длина с помощью полигонов изолиний границ ледников для разных временных интервалов (от одного до десяти и более) на основе программного приложения ArcGis и Calculate Geometry. Общие темпы деградации ледника Малый Азау с 1957 по 2015 г. значительно увеличились, достигнув своего максимума в период с 2002 по 2012 г. Сокращение общей площади на леднике Малый Азау за периоды составило: 2002–2007 гг. – 84,6 тыс. м²; 2007–2009 гг. – 52,5 тыс. м²; 2009–2012 гг. – 82,3 тыс. м²; 2012–2015 гг. – 60 тыс. м². Уменьшение общей длины на леднике Малый Азау за периоды составило: 2002–2007 гг. – 112 м; 2007–2009 гг. – 87 м; 2009–2012 гг. – 50 м. Общие темпы деградации ледника Гарабаши с 1957 по 2015 г. незначительно замедлились. Максимальные темпы сокращения площади ледника Гарабаши в XXI в. были отмечены в период с 2007 по 2015 г., а уменьшение длины – в период с 2009 по 2015 г. Сокращение общей площади на леднике Гарабаши за периоды составило: с 2002 по 2007 гг. – 32,8 тыс. м²; 2007–2009 гг. – 21,4 тыс. м²; 2009–2011 гг. – 27,0 тыс. м²; 2011–2012 гг. – 23,7 тыс. м²; 2012–2014 гг. – 25,1 тыс. м²; 2014–2015 гг. – 14,2 тыс. м². Общие темпы отступления ледника Гарабаши замедлились: с 2002 по 2015 г. для западного языка с 41 м до 17 м, а для восточного – с 35 м до 19 м. Геохимический анализ талых проб на ледниках Гарабаши и Малый Азау выявил геохимическую аномалию свинца. Содержание свинца в образцах превышает ПДК от 2,5 до 7,5 раза. Средние значения содержания свинца на ледниках составили: Малый Азау 74±15 мкг/л и Гарабаши 230±50 мкг/л.

Ключевые слова: деградация оледенения, снежный покров, фирн, лед, тяжелые металлы, оледенение Приэльбрусья

GEOECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE CURRENT STATE OF THE MALY AZAU AND GARABASHI GLACIERS

¹Kondrateva N.V., ²Tatarenko N.V.

¹High Mountain Geophysical Institute, Nalchik, e-mail: kondratyeva_nat@mail.ru;

²The Kabardino-Balkarian university of Kh.M. Berbekov, Nalchik, e-mail: tatarenko.nic@yandex.ru

The assessment of the current state of the Maly Azau and Garabashi glaciers for the period from 1957–2019 is based on the analysis of aerial and satellite images. The main morphometric characteristics of the Maly Azau and Garabashi glaciers have been studied: area and length using polygons of isolines of glacier boundaries for different time intervals (from one to ten or more) based on the ArcGIS and Calculate Geometry software application. The overall rate of degradation of the Maly Azau glacier increased significantly from 1957 to 2015, reaching its maximum in the period from 2002 to 2012. The reduction of the total area on the Maly Azau glacier for the periods was: 2002–2007 (84.6 thousand m²); 2007–2009 (52.5 thousand m²); 2009–2012 (82.3 thousand m²); 2012–2015 (60 thousand m²). The decrease in the total length on the Maly Azau glacier for the periods was: 2002–2007 (112 m); 2007–2009 (87 m); 2009–2012 (50 m). The overall rate of degradation of the Garabashi glacier from 1957 to 2015 slowed down slightly. The maximum rate of reduction of the area of the Garabashi glacier in the XXI century was noted in the period 2007–2015, and the decrease in length – 2009–2015. The reduction of the total area on the Garabashi glacier for the periods was: 2002–2007 (32.8 thousand m²); 2007–2009 (21.4 thousand m²); 2009–2011 (27.0 thousand m²); 2011–2012 (23.7 thousand m²); 2012–2014 (25.1 thousand m²); 2014–2015 (14.2 thousand m²). The overall rate of the fall of the Garabashi glacier slowed down: from 2002–2015 for the western language from 41 m to 17 m, and for the eastern from 35 m to 19 m. Geochemical analysis of thawed samples on the Garabashi and Maly Azau glaciers revealed a geochemical anomaly of lead. The lead content in the samples exceeds the MPC by 2.5 to 7.5 times. The average values of lead content on glaciers were: Maly Azau (74±15 mcg/l) and Garabashi (230±50 mcg/l).

Keywords: glaciation degradation, snow cover, firn, ice, heavy metals, glaciation of the Elbrus region

Изучение эволюции и динамики нивально-гляциальных систем, их геохимический мониторинг является важнейшей задачей современных геоэкологических исследований. Современное оледенение Большого Кавказа находится в интенсивной стадии деградации оледенения. Процесс общей де-

градации оледенения обусловлен длительными изменениями гляциологических условий. Интенсивная деградация оледенения сопровождается резким сокращением оледенения, которое сопровождается уменьшением площади и объема льда, отступанием краев ледников и формированием

в перигляциальной зоне больших участков мертвых льдов. Особое значение приобретает вопрос изучения химического состава ледников и его трансформация со временем при метаморфизме.

Цель исследования – изучение современного состояния, морфометрические характеристики и особенности загрязнения ледников Малый Азау и Гарабаши.

Материалы и методы исследования

Изучение основных морфометрических характеристик – площади и длины ледника – проводилось с помощью полигонов изолиний границ ледников, которые составлялись для различных временных интервалов (от одного до десяти и более лет), с использованием программного приложения ArcGis и Calculate Geometry.

Геохимический анализ талых ледниковых проб проведен методом атомно-абсорбционной спектроскопии на спектрофотометре Shimadzu AA-7000 в сертифицированной лаборатории ФГБУ «ЦЛАТИ по ЮФО» – ЦЛАТИ по Ставропольскому краю. Лабораторный анализ воды – вода природная. Методика измерений ПНД Ф 14.1:2.214-06 (2011 г.). Отбор проб – ГОСТ 31861-2012. Предел обнаружения содержания микрокомпонентов: Cr (0,005); Ni (0,005); Mn (0,001); Pb (0,002); Zn (0,001); Kd (0,001); Co (0,005) мг/дм³.

Геоэкологические аспекты и оценка уровня загрязненности ледников Малый Азау и Гарабаши дана на основе геохимического анализа. Для этого были отобраны образцы снеговых и ледниковых проб, в которых определялись концентрации таких опасных загрязнителей, как Cr, Ni, Mn, Pb, Zn, Kd, Co. Отбор проб производился летом 2019 г. к моменту максимального снегонакопления.

Результаты исследования и их обсуждение

Морфометрические характеристики ледников Малый Азау и Гарабаши

Ледник Малый Азау – ледник конической вершины, расположен на южном склоне г. Эльбрус. Площадь ледника – 8,4 км², длина – 6792 м. Высота нижней точки ледника – 3011 м [1], высшей точки – 5610 м [2]. Высота фирновой линии – 3800 м. Площадь абляции – 3,3 км². Объем льда – 0,36 км³ [2]. Питание ледника Малый Азау происходит из небольшого фирнового бассейна, который на востоке ограничен группой лавовых скал «Приют одиннадцати» и «Приют

девяти», на севере ограничен седловиной Эльбруса, а на западе – обрывом Хотютау-Азаусского кратера. Морфологически он имеет вид узкого лога, который имеет крутой подъем ложа на высоте 4800–5000 м, разбитый дугообразными трещинами. Проникающие сюда юго-западные и западные ветры засоряют поверхность ледника пылью, и усиливают его таяние. В результате деградации оледенения в перигляциальной зоне формируются моренно-ледниковые отложения и в рельефе наблюдается наличие мертвых льдов.

Ледник Гарабаши, ледник конической вершины, берет свое начало на южном склоне Эльбруса от восточной вершины [2]. Общая площадь 4,6 км² [1]. Высота нижней точки ледника – 3250 м, высшей – 4300 м, высота фирновой линии – 3700 м, площадь абляции – 1,2 км². Объем льда составляет 0,11 км³ [2]. На конусе Эльбруса ледник Гарабаши соединяется с ледниками Терскол и Малый Азау, ледоразделы между которыми выражены слабо [2]. Растекание льда происходит по межлазовым понижениям. Язык ледника имеет вид висячего ледника, по форме напоминающего широкую лапу, оканчивающуюся на краю ригеля. Во фронтальной части языка ледника четко выражена морена, состоящая в центре из темных среднечетвертичных лав, а по краям – красно-бурых голоценовых лав. Левая боковая морена имеет андезитодацитовый состав.

Оценка современного состояния ледников Малый Азау и Гарабаши за период с 1957 по 2019 г. проведена на основании анализа аэро- и космоснимков. Изменение границ ледников, площади и длины ледника Малый Азау с 1957 по 2015 г. представлено на рис. 1 и 2.

Как видно на рис. 1 и 2, общие темпы деградации ледника Малый Азау с 1957 по 2015 г. значительно увеличились, достигнув своего максимума в начале XXI в., особенно в период с 2002 по 2012 г. Так, установлено, что сокращение общей площади на леднике Малый Азау составило соответственно: 2002–2007 гг. – 84,6 тыс. м²; 2007–2009 гг. – 52,5 тыс. м²; 2009–2012 гг. – 82,3 тыс. м²; 2012–2015 гг. – 60 тыс. м². Вместе с тем выявлено, что уменьшение площади в год на леднике Малый Азау за периоды составило: 2002–2007 гг. – 16,9 тыс. м²; 2007–2009 гг. – 26,2 тыс. м²; 2009–2012 гг. – 27,4 тыс. м², достигнув своих максимальных сокращений площади в год в период с 2007 по 2012 г.



Рис. 1. Изменение границ ледника Малый Азау за 1957–2019 гг. [3]

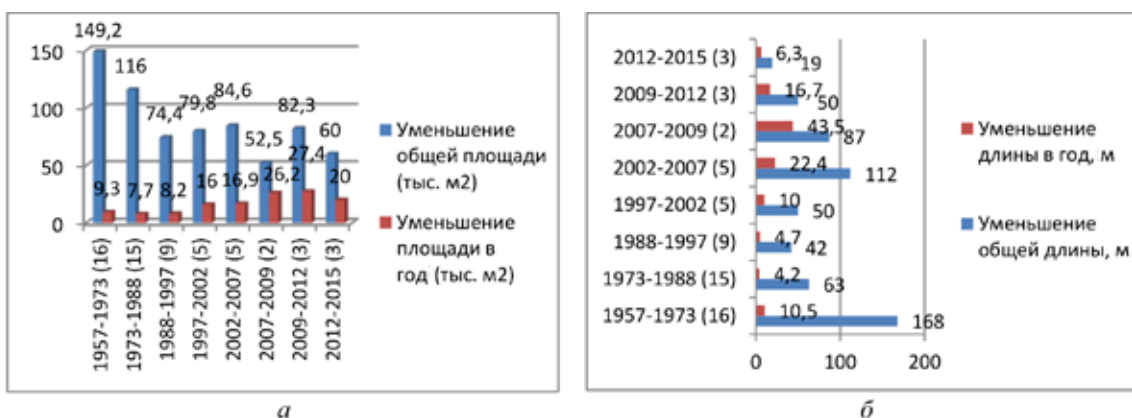


Рис. 2. Изменение площади (а) и длины (б) ледника Малый Азау с 1957 по 2015 г.

Изменение общей длины ледника Малый Азау за период с 1957 по 2015 г. представлено на рис. 2, а. Как видно на рис. 2, а, сокращение длины ледника Малый Азау значительно увеличилось в XXI в., достигнув максимальных значений с 2002 по 2012 г. Так, сокращение общей длины за периоды составило соответственно: 2002–2007 гг. – 112 м; 2007–2009 гг. – 87 м; 2009–2012 гг. – 50 м. Кроме того, за период с 2002 по 2012 г. отмечается также и максимальное сокращение длины ледника Малый Азау в год. Так, сокращение длины в год составило соответственно: 2002–2007 гг. – 112 м; 2007–2009 гг. – 87 м; 2009–2012 гг. – 50 м.

Наряду с общим отступанием ледника Малый Азау, на леднике в 1980–1990-х гг. наблюдалось кратковременное наступание ледника на 20–30 м, вследствие активации мертвых льдов, в результате которого на-

блюдались блокировка части западной части озера Малое Азау и сокращение части поступления талых вод [4].

Сравнение полученных нами данных о темпах деградации оледенения ледника Малый Азау за период с 1957 по 2007 г. довольно хорошо согласуются с ранее полученными данными Е.А. Золотарева [4]. Так, наши данные о линейном отступании ледника Малый Азау составили 435 м, тогда как у Е.А. Золотарева – 404 м.

Что касается уменьшения площади ледника, то по данным Е.А. Золотарева [4] ледник Малый Азау сократился на 681 тыс. м², тогда как по нашим оценкам уменьшение площади составило 504,6 тыс. м². Такое различие данных, вероятно, обусловлено тем, что Е.А. Золотаревым учтены другие участки ледника кроме фронтальной зоны.

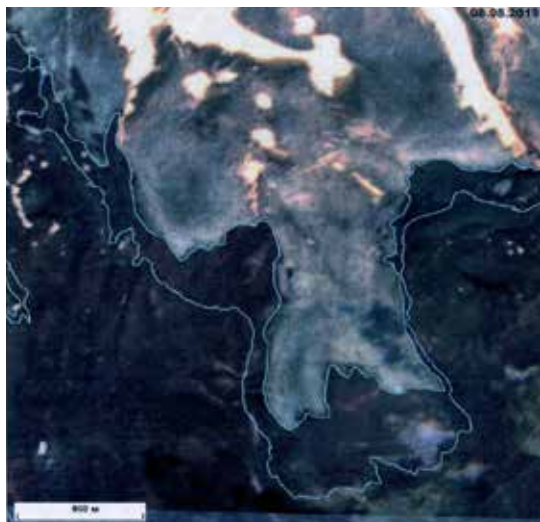


Рис. 3. Изменение границ ледника Гарабаши в 1959–2019 гг. [1]



Рис. 4. Изменение площади (а) и длины (б) ледника Гарабаши с 1957 по 2015 г. [1]

Полученные нами данные о современном состоянии ледника Малый Азау за период с 1957 по 2019 г. характеризуют общую деградацию оледенения ледника, обусловленную сокращением его площади и длины. Сравнение данных аэрофотоснимка 1957 г. с космоснимком Sentinel 2А 08.08.2019 г. свидетельствует об общих темпах деградации ледника Малый Азау (рис. 1). Так, уменьшение общей площади ледника Малый Азау за весь рассматриваемый период с 1957 по 2019 г. составило 823,8 тыс. м² (13,3 тыс. в год), а сокращение общей длины составило 570 м (9,2 м в год).

Таким образом, общие темпы деградации ледника Малый Азау значительно увеличились в XXI в., достигнув максимума в период с 2007 по 2012 г., тогда как в XX в. темпы его сокращения были незначительными. В целом можно сделать вывод о том, что темпы деградации ледника Малый Азау

замедлились, но интенсивное таяние снежно-фирновой толщи в области аккумуляции ледника в последние годы дает основание предполагать усиление процесса деградации ледника в будущем.

Изменение границ, площади и длины ледника Гарабаши за 1957–2015 гг. представлено на рис. 3 и 4. Данные рис. 3 и 4 свидетельствуют о темпах деградации ледника Гарабаши за период с 1957 по 2019 г. Максимальные темпы сокращения площади ледника Гарабаши в начале XXI в. были отмечены в период с 2007 по 2015 г., а уменьшение длины – с 2009 по 2015 г.

Как видно из рис. 4, а, сокращение общей площади на леднике Гарабаши составило соответственно: 2002–2007 гг. – 32,8 тыс. м²; 2007–2009 гг. – 21,4 тыс. м²; 2009–2011 гг. – 27,0 тыс. м²; 2011–2012 гг. – 23,7 тыс. м²; 2012–2014 гг. – 25,1 тыс. м²; 2014–2015 гг. – 14,2 тыс. м².

Таблица 1

Средние значения концентрации микроэлементного состава талых ледниковых проб на ледниках Малый Азау и Гарабаши, лето 2019 (мкг/л)

Место отбора и характер проб	Mn	Zn	Ni	Kd	Pb	Cr	Co
Ледник Малый Азау язык ледника, лед (макс-мин)	8±4	46±9	< 5	< 1	74±15	80±20	< 5
Ледник Гарабаши Снег, (Н = 4000 м) (макс-мин)	< 1	7±3	< 5	< 1	230±50	42±8	< 5
ПДК (мкг/л)	100	5000	100	1	30	500 (Cr3+) 50 (Cr6+)	100

Таблица 2

Средние значения концентрации микроэлементного состава талых ледниковых проб на леднике Шхельда лето 2019 (мкг/л)

Место отбора и характер проб	Mn	Zn	Ni	Kd	Pb	Cr	Co
Ледник Шхельды язык ледника, лед (макс-мин)	6±3	25±7	< 5	< 1	17±5	100-200	< 5
ПДК (мкг/л)	100	5000	100	1	30	500 (Cr3+) 50 (Cr6+)	100

Линейное отступление ледника Гарабаши за период с 1957 по 2015 г. представлено на рис. 4, б. Как видно из рис. 4, б, общие темпы сокращения длины ледника в начале XXI в. замедлились. За период с 2002 по 2015 г. темпы отступления ледника Гарабаши замедлились: для западного языка с 41 м до 17 м с 2002–2007 гг. до 2014–2015 гг., а для восточного языка с 35 м до 19 м соответственно.

Проведенный сравнительный анализ данных аэрофотоснимка 1957 г. с космоснимком Sentinel 2A 08.08.2019 г. позволил получить данные об изменениях и темпах деградации ледника Гарабаши (рис. 3). Уменьшение общей площади ледника Гарабаши за рассматриваемый период с 1957 по 2019 г. составило 760 тыс. м² (12,3 тыс. м² в год), а сокращение общей длины составило 390 м (6,3 м в год).

Геохимические особенности загрязнения ледников Малый Азау и Гарабаши

Изучение геохимических особенностей загрязнения высокогорных ледников Малый Азау и Гарабаши дает возможность провести оценку и выявить степень антропогенного загрязнения тяжелыми металлами. В ходе исследований нами был проведен геохимический анализ снежного покрова и ледникового льда в районе оледенения Приэльбрусья. Средние значения

концентрации микроэлементного состава талых ледниковых проб на ледниках Малый Азау и Гарабаши представлены в табл. 1.

Сравнительный геохимический анализ талых ледниковых проб показал, что наибольший вклад в загрязненность ледниковых отложений вносит эмиссия свинца.

По содержанию свинца выявлена геохимическая аномалия. Содержание свинца в образцах превышает ПДК от 2,5 до 7,5 раза. Средние значения содержания свинца на ледниках составили: Малый Азау (74±15 мкг/л) и Гарабаши (230±50 мкг/л) (табл. 1).

Средние значения концентрации тяжелых металлов в талых ледниковых пробах ледника Малый Азау составили: Mn (8±4 мкг/л); Zn (46±9 мкг/л); Cr (80±20 мкг/л). Содержание таких микроэлементов, как Ni, Kd, Co, в пробах не обнаружено. Порог их определения находится ниже порога их определения, а также ниже их ПДК.

Средние значения концентрации тяжелых металлов в талых ледниковых пробах ледника Гарабаши составили: Zn (7±3 мкг/л); Cr (42±8 мкг/л). Содержание марганца, никеля, кадмия в пробах не обнаружено.

Средние значения концентрации микроэлементного состава талых ледниковых проб на леднике Шхельда представлены в табл. 2.

Ледник Шхельда – долинный ледник, расположенный к юго-востоку от г. Эльбрус, вне вулканического массива. Ледник расположен в долине р. Адыл-Су и относится к правому притоку р. Баксан.

Анализ табл. 2 показал низкое содержание тяжелых металлов в пробах, не имеющих превышение ПДК по каждому микроэлементу. Средние значения концентрации микроэлементного состава талой воды льда на языке ледника Шхельда составили соответственно: Mn – 6 ± 3 мкг/л, Zn – 25 ± 7 мкг/л, Pb – 17 ± 5 мкг/л, Cr – 100–200 мкг/л. Содержание Ni, Kd, Co в пробах не обнаружено. Порог их определения находится ниже порога их обнаружения.

Сравнительный анализ табл. 1 и 2 наглядно показывает, что наличие выявленной геохимической аномалии свинца на ледниках Малый Азау и Гарабаши и их отсутствие на леднике Шхельда показывают наличие связи с вулканическим массивом и литологическим составом г. Эльбрус. Повышенные концентрации содержания свинца в ледниковых отложениях в Приэльбрусье отмечались нами и ранее [5], а также в ряде других работ [6, 7]. Аномалии свинца связаны с локальной геохимической аномалией цинка и свинца Кюкюртлинской рудно-магматической системы.

Выводы

1. Современное состояние и динамика ледника Малый Азау за период с 1957 по 2019 г. характеризуется общей деградацией оледенения, обусловленной сокращением площади и длины. Деградация оледенения значительно увеличилась, достигнув своего максимума в начале XXI в. в период с 2002 по 2012 г. Сокращение общей площади ледника Малый Азау за период с 1957 по 2019 г. составило 823,8 тыс. м² (13,3 тыс. м² в год),

а сокращение общей длины составило 570 м (9,2 м в год).

2. Общие темпы деградации ледника Гарабаши за период с 1957 по 2019 г. составили 760 тыс. м² (12,3 тыс. м² в год), а сокращение общей длины составило 390 м (6,3 м в год).

3. Геохимический анализ проб на ледниках Малый Азау (74 ± 15 мкг/л) и Гарабаши (230 ± 50 мкг/л) выявил геохимические аномалии содержания свинца, превышающего ПДК от 2,5 до 7,5 раза. Выявленная геохимическая аномалия свинца связана с литологическим составом Кюкюртлинской рудно-магматической системы. Содержание никеля, кадмия, кобальта в пробах не обнаружено. Концентрации хрома, марганца и цинка в пробах не превышают ПДК.

Список литературы

1. Роготаева О.В., Носенко Г.А., Хмелевской И.Ф., Тарасова Л.Н. Балансовое состояние ледника Гарабаши (Эльбрус) в 80-х и 90-х годах XX столетия // МГИ. 2003. Вып. 95. С. 111–121.
2. Каталог ледников СССР. Т. 8. Северный Кавказ. Ч. 5. Бассейн рек Малки, Баксана. Л.: Гидрометеониздат, 1970. 145 с.
3. Аджиев А.Х., Беккиев М.Ю., Докукин М.Д., Кондратьева Н.В., Юрченко Н.В. Современное состояние ледников Большого Кавказа. Нальчик: ФГБУ «ВГИ», 2020. 132 с.
4. Золотарев Е.А., Харьковец Е.Г. Эволюция оледенения Эльбруса после малого ледникового периода // Лед и снег. 2012. № 2 (118). С. 15–22.
5. Татаренко Н.В. Концентрации тяжелых металлов в сезонных слоях ледника Гарабаши на южном склоне Эльбруса // Успехи современного естествознания. 2022. № 1. С. 49–55.
6. Керимов А.М., Курашева О.А. Сравнительный анализ концентраций тяжелых металлов в истоках реки Баксан и леднике Гарабаши (южный склон Эльбруса) // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2018. Т. 12. № 1. С. 49–56.
7. Всесезонный туристско-рекреационный комплекс «Эльбрус», Кабардино-Балкарская Республика. Пассажирская подвесная канатная дорога ЕЛ3: Технический отчет по результатам инженерно-экологических изысканий для подготовки проектной документации ООО «Мегаполис». Книга 1. СПб., 2019. 91 с.